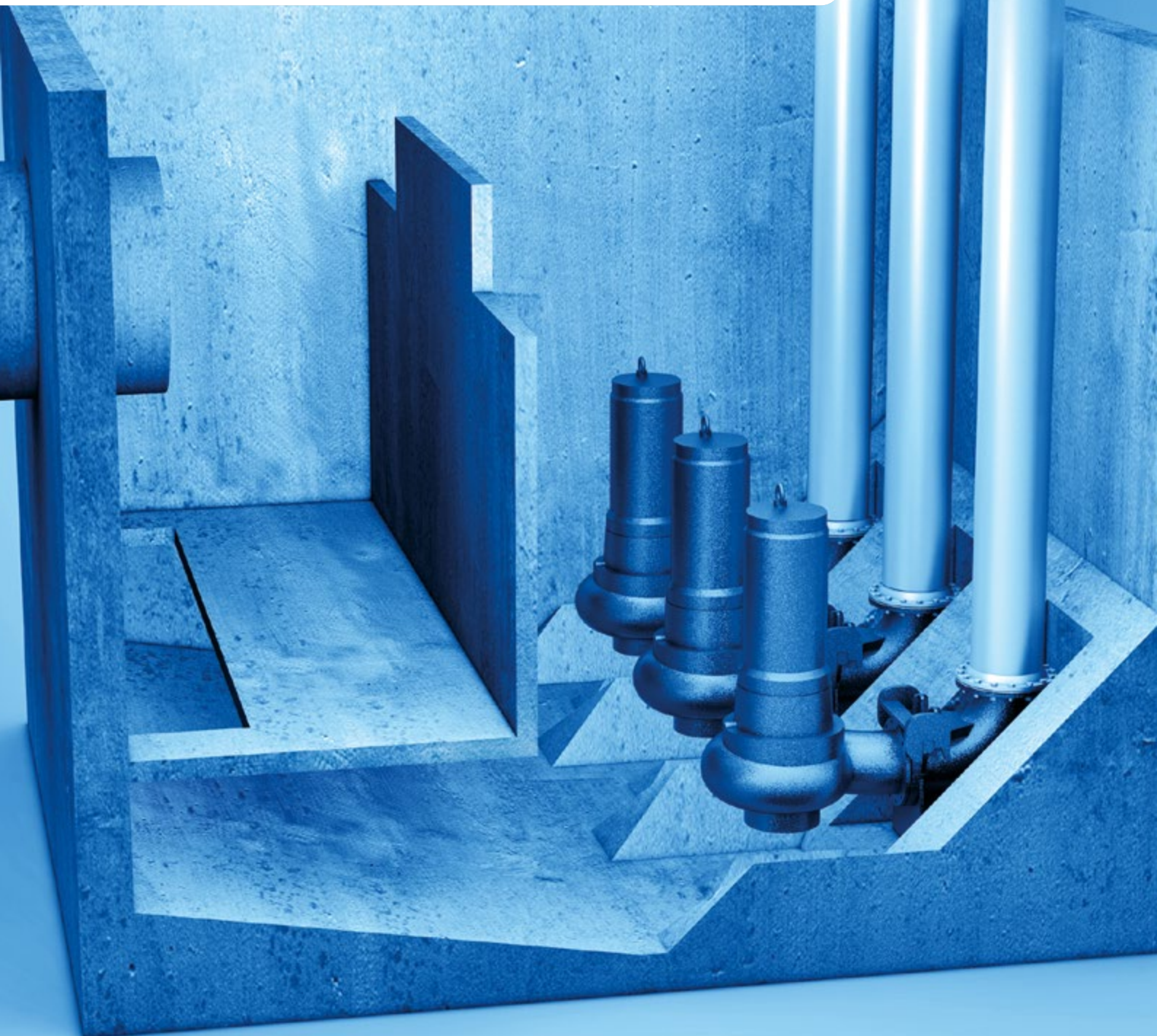


## **Recommandations pour l'installation des pompes submersibles Amarex KRT**





## Sommaire

	Page
Introduction	3
1. Sélection générale des pompes	4
1.1 Paramètres d'étude et caractéristiques de dimensionnement	4
1.2 La hauteur manométrique	6
1.3 Le NPSH	8
1.4 La puissance absorbée	10
1.5 Utilisation	11
1.6 Sélection de la pompe	13
1.6.1 Courbes caractéristiques	13
1.6.2 Courbe caractéristique de la pompe	15
1.6.3 Courbe de réseau	15
1.7 Limites de fonctionnement des pompes	16
1.7.1 Point de fonctionnement	16
1.7.2 Limites de fonctionnement $Q_{\min}$ et $Q_{\max}$	16
1.7.3 Spécificités du transport des eaux usées	17
1.8 Mode de fonctionnement des pompes	19
1.8.1 Fonctionnement en pompe simple	19
1.8.2 Réglage par laminage	19
1.8.3 Adaptation du diamètre de la roue	20
1.8.4 Régulation de la vitesse	20
1.9 Fonctionnement en parallèle de tailles de pompes identiques	21
1.10 Fonctionnement en parallèle de tailles de pompes différentes	22
1.11 Fonctionnement en série	22
1.12 Échelonnement des pompes	23
1.13 Pompes en installation noyée	24
2 Technique des machines et installation	27
2.1 Sélection de la géométrie de roue optimale	27
2.2 Choix des matériaux en adéquation avec les applications	29
2.3 Étanchéité d'arbre	31
2.4 Rotor et paliers	33
2.5 Installation	34
3. Description générale du moteur	36
3.1 Tailles de moteur	37
3.2 Forme de construction	37
3.3 Mode de fonctionnement	38
3.4 Classe de protection	38
3.5 Protection antidéflagrante et classes de température	38
3.6 Caractéristiques nominales électriques	38
3.7 Fonctionnement du moteur KRT avec variateur de fréquence	40
3.7.1 Dimensionnement des variateurs de fréquence	40
3.7.2 Moteurs protégés contre l'explosion	40

3.8	Conception du moteur	40
3.9	Refroidissement	41
3.10	Dispositifs de surveillance	41
3.11	Raccordement et description des dispositifs de surveillance	44
3.12	Câbles de puissance et de commande avec passage de câble	48
3.13	Câbles d'alimentation	49
3.14	Câble Tefzel (TEHSITE)	50
3.15	Câble blindé sous gaine caoutchouc	51
3.16	Assurance de la qualité et procès-verbaux d'essais	52
4.	Tuyauteries et robinets	53
4.1	Étude du réseau de tuyauteries	53
4.1.1	Tuyauteries	53
4.1.1.1	Dimensionnement	53
4.1.1.2	Tracé de la tuyauterie	56
4.1.1.3	Fixation et support de la tuyauterie	59
4.1.1.4	Traversées murales	61
4.1.1.5	Matériaux des tuyauteries	61
4.1.1.6	Piquages de mesure sur les tuyauteries	62
4.2	Sélection des robinets	63
4.2.1	Généralités	63
4.2.2	Critères de sélection	63
4.2.2.1	Liquides pompés	63
4.2.2.2	Types de construction	63
4.2.2.3	Position d'installation et sens d'écoulement	64
4.2.2.4	Matériaux	64
4.2.2.5	Diamètre nominal	64
4.2.3	Tableau de sélection des types de robinets en fonction des eaux usées	65
4.2.4	Installation	66
4.2.4.1	Position de montage	66
4.2.4.2	Choix de l'emplacement	66
4.2.4.3	Solutions techniques pour la pose et dépose de robinets	67
5.	Conception de l'ouvrage	69
5.1	Généralités	69
5.2	Installations de dégrillage	71
5.3	Formation de boues de surface dans les stations de relevage des eaux usées	74
5.4	Formes de pente dans les bâches de pompage	75
5.5	Diviseurs d'écoulement prévenant les vortex immergés	77
5.6	Dimensions pour la bêche de pompage et l'installation des pompes	77
5.7	Bâches de pompage à charge polluante élevée	79
5.8	La nécessité d'essais sur modèle réduit	80
5.9	Montage d'essai	81
5.10	Évaluation des résultats	82
5.11	L'importance des simulations MFN	82
	Diagrammes	88

## Introduction

Ce document a été réalisé dans l'objectif d'assister les concepteurs et exploitants dans la sélection, le dimensionnement et l'exploitation de la pompe submersible Amarex KRT la mieux adaptée à leurs besoins.

KSB a conçu ces pompes submersibles dans l'optique de mettre à la disposition de ses clients une solution sûre et fiable à haute efficacité énergétique pour toutes les applications dans le secteur des eaux usées communales et industrielles. Une polyvalence maximale grâce à un grand choix de matériaux, des capteurs robustes et plusieurs possibilités d'installation de la pompe : tel a été l'objectif poursuivi. Des hydrauliques spéciales offrant une grande sécurité de fonctionnement grâce à leurs larges sections de passage assurent un pompage optimisé et économique de fluides très divers. En exécution anti-déflagrante, les pompes peuvent être utilisées en zone à risque d'explosion. La protection contre l'échauffement excessif du bobinage, l'étanchéité absolue de tous les passages de câbles, l'étanchéité spéciale au passage de l'arbre et les paliers dimensionnés pour une grande durée de vie garantissent un fonctionnement sans incident pendant longtemps.

## 1. Sélection générale des pompes

### 1.1 Paramètres d'étude et caractéristiques de dimensionnement

La détermination du débit et de la hauteur manométrique correspondante est essentielle pour l'étude et le dimensionnement d'une pompe ou d'une station de relevage. Lors de la définition de la hauteur manométrique, nous pouvons quantifier assez concrètement les pertes auxquelles il faut s'attendre. Le débit requis, en revanche, dépend de toute une série de facteurs que nous aborderons ci-après.

#### Le débit

Le débit (appelé aussi débit volumique  $Q$ ), exprimé le plus souvent en [l/s] ou [m<sup>3</sup>/h], est défini comme étant le volume utile évacué par l'orifice de refoulement de la pompe par unité de temps. Bien entendu, les débits volumiques internes tels que les fuites ou les liquides de barrage n'entrent pas dans le débit volumique utile. La détermination du débit requis ou du débit à évacuer doit être réalisée avec la plus grande précision possible pour un dimensionnement correct de la (des) pompe(s) et de la station de

relevage. Le volume quotidien d'eaux usées arrivant à une station de relevage dépend de plusieurs facteurs :

- du type du système d'évacuation (système unitaire ou séparatif),
- de la taille et de la structure du bassin versant,
- du nombre des bâtiments raccordés au réseau d'évacuation (et du nombre d'habitants),
- du nombre et de la typologie des zones d'activité commerciale et industrielle raccordées au réseau d'évacuation (pris en compte à travers le dimensionnement par-équivalents-habitant).

Ce volume d'eaux usées peut être visualisé dans une courbe de variation journalière. Celle-ci représente le volume d'eaux usées moyen et typique sur 24 heures.

*Agrandi en annexe*

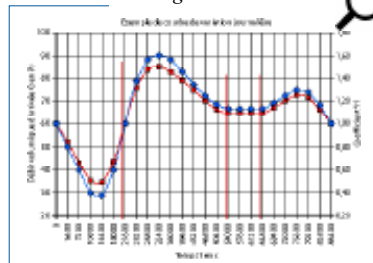


Fig. 1: Courbe de variation journalière du débit d'arrivée pour la modélisation mathématique (exemple)

Des différences considérables peuvent apparaître entre les courbes de jours ouvrables et de jours fériés ou de fins de semaine en ce qui concerne la répartition de la charge et les débits journaliers. En cas de précipitations, il faut s'attendre à l'augmentation des débits d'eaux. Ceci est particulièrement important pour le système d'évacuation unitaire où les eaux usées et les eaux pluviales sont acheminées vers la station d'épuration dans un réseau commun.

La courbe de variation journalière constitue donc une base importante pour le choix du type de construction de l'ouvrage et du nombre des pompes, la détermination des régimes et plages de débit des pompes et leur mode d'entraînement (vitesse fixe ou variable, par exemple) sans oublier la définition des points de fonctionnement requis pour les différents groupes.

En raison des fortes variations du débit d'eaux usées  $Q_{arr}$  qui ressortent de la courbe de variation journalière, le facteur temps doit être pris en compte dans le calcul. La courbe de variation journalière représentée en fig. 1 est exprimée par la formule (1), les états de charge

pouvant être calculés par laps de temps  $t$  individuels de 20 s. Pour notre calcul, nous présumons que cette courbe de variation journalière se répète cycliquement depuis la mise en service du matériel jusqu'à la fin du cycle de vie. La grandeur  $Y1$  est la variable qui permet de

faire varier l'allure de la courbe. Cette variable multipliée par 1,5 correspond au point culminant de la courbe de variation journalière qui sert à déterminer les équivalents-habitant selon la norme EN 752-6.

$$Q_{arr}(t) = Y1 + \frac{1}{2} \cdot Y1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{21600} \cdot (t-21600)\right) \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 54000 \text{ ou } t \geq 64800$$

$$Q_{arr}(t) = 1,1 \cdot Y1 \quad \text{pour } 54000 < t < 64800$$

(1)

Pour la détermination du débit nominal d'une pompe ( $Q_N$  = le débit contractuel qu'une pompe doit être capable de fournir pour un liquide pompé spécifique à la vitesse de rotation nominale  $n_N$  et la

hauteur manométrique nominale  $H_N$ ) il est préférable de continuer le calcul sur la base de volumes. Partant du calcul du débit-volume d'arrivée selon la formule (1), nous calculons le volume d'arrivée

$V_{arr}$  pour un laps de temps défini. On obtient ainsi :

$$V_{arr}(t) = \frac{\left(Y1 + \frac{1}{2} \cdot Y1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{21600} \cdot (t-21600)\right)\right)}{3600} \cdot dt \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 54000 \text{ v } t \geq 64800$$

$$V_{arr}(t) = \frac{1,1 \cdot Y1}{3600} \cdot dt \quad \text{pour } 54000 < t < 64800$$

(2)

Connaissant le volume d'arrivée  $V_{arr}$  et le volume  $V_p$  refoulé par la pompe dans le laps de temps donné ainsi que la géométrie de la bache de pompage, nous pouvons calculer le nouveau niveau à partir de l'ancien niveau plus la différence de volume par rapport à la surface de section de la bache de pompage :

$$\text{Niveau} = \text{Niveau}_{ant} + \frac{(V_{arr} - V_p)}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{bache}^2} \quad (3)$$

Pour la variation du volume pompé  $V_p$ , il convient de respecter les valeurs limites prédéfinies pour la profondeur d'immersion minimale et le niveau d'eau max. autorisé. Nous pouvons

désormais calculer le volume pompé VP [1.5] :

$$V_p = \frac{Q}{3600} \cdot dt \quad [1.6] \quad (4)$$

## 1.2

### La hauteur manométrique

La hauteur totale de charge, communément appelée hauteur manométrique totale  $H$  d'une pompe (exprimée en [m], par exemple) est l'énergie par unité de masse du fluide divisée par l'accélération due à la pesanteur.

La densité  $\rho$  du liquide pompé ( $\rho = m / V$  [kg/m<sup>3</sup>], rapport de la masse  $m$  dans un volume donné  $V$  du liquide pompé) n'a aucune influence sur la hauteur manométrique d'une pompe centrifuge. Elle se répercute seulement sur la puissance absorbée par la pompe.

La viscosité cinématique  $\nu$  du liquide pompé ( $\nu = \eta / \rho$  [m<sup>2</sup>/s] ou [cSt], à savoir le rapport entre la viscosité dynamique ou le coefficient de proportionnalité  $\eta$  entre les contraintes de cisaillement et le changement de vitesse, d'une part, et la densité  $\rho$  du liquide pompé, d'autre part) influe, à partir d'une certaine valeur, sur la hauteur manométrique, le débit et la puissance absorbée par la pompe. Une viscosité cinématique supérieure à 40 m<sup>2</sup>/s du liquide pompé exerce une influence sur les caractéristiques hydrauliques. Il s'agit alors de liquides dits visqueux. Dans le secteur des eaux usées, nous rencontrons les liquides visqueux uniquement dans le

domaine du pompage des boues de stations d'épuration.

Afin de pouvoir déterminer la hauteur manométrique totale  $H$  d'une station de relevage ou d'une pompe, il est essentiel de connaître les paramètres suivants :

- le niveau du fil d'eau du canal d'alimentation ou du radier de la bache de pompage, exprimé en altitude au-dessus du niveau de la mer,
- les niveaux de démarrage et d'arrêt des pompes (correspondant à la profondeur d'immersion minimale et au niveau de liquide maxi. autorisé dans la bache de pompage), exprimés en altitude au-dessus du niveau de la mer,
- le profil en long (longueur et dénivelé) entre la pompe et l'exutoire de refoulement
- les robinets, raccords, pièces façonnées et tuyauteries installés, avec indication de leurs diamètres nominaux DN et coefficients de perte de charge  $\zeta$ ,
- le niveau de liquide de l'exutoire de refoulement exprimé en altitude au-dessus du niveau de la mer.

La corrélation entre la pression et la vitesse d'écoulement d'un fluide dans une tuyauterie est exprimée dans l'équation de Bernoulli.

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p = \text{const} \quad (5)$$

Selon le théorème de Bernoulli :

La pression totale, qui est la somme de la pression statique et de la pression dynamique dans un tuyau traversé par un fluide sans perte de charge, est égale en tous points. [1.8].

Ce théorème est valable pour un écoulement non tourbillonnaire, sans perte de charge, d'un fluide incompressible. Dans la pratique, cependant, nous avons affaire à un écoulement tourbillonnaire d'un fluide incompressible soumis à des pertes de charge. Par conséquent, les pertes de charge et les changements de vitesse doivent être introduits dans l'équation de Bernoulli. Il est d'usage d'exprimer la pression en hauteur manométrique  $H$  en mètres de colonne liquide du fluide véhiculé.

Dans le cas des pompes submersibles, seules les différences d'altitude, appelées  $H_{\text{géo}}$ , et la somme de toutes les pertes de charge  $\Sigma H_v$  sont à prendre en considération. La hauteur manométrique totale  $H$  peut donc s'exprimer au moyen de l'équation simplifiée (6) [1.9] :



$$H = H_{\text{GEO}} + \Sigma H_{\text{V}}$$

(6)

$$\text{avec } \Sigma H_{\text{V}} = H_{\text{VS}} + H_{\text{VE}} + H_{\text{VD}}$$

**Légende :**

$H_{\text{GEO}}$  = hauteur de refoulement statique, dénivelé mesurable entre les niveaux d'eau à l'aspiration et au refoulement (ou les altitudes au-dessus du niveau de la mer)

$H_{\text{V}}$  = hauteur de perte de charge totale ; elle correspond à la hauteur manométrique  $H_{\text{man}}$

$H_{\text{VS}}$  = hauteur de perte de charge dans les robinets, les raccords, les pièces façonnées et la tuyauterie à l'aspiration de la pompe. Elle est nulle pour les pompes à installation noyée

comme l'Amarex KRT et l'Amacan

$H_{\text{VE}}$  = hauteur de perte de charge dans les robinets, les raccords, les pièces façonnées et la tuyauterie au refoulement de la pompe ; pertes de charge dans les conduites individuelles jusqu'au collecteur de refoulement pour les installations multi-pompes

$H_{\text{VD}}$  = hauteur de perte de charge dans les robinets, les raccords, les pièces façonnées et la tuyauterie au refoulement de la pompe dans le collecteur de refoulement

La hauteur de perte de charge  $H_{\text{V}}$  est calculée pour les tuyauteries droites [1.10] :

$$H_{\text{V}} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

(7)

Pour les robinets et les pièces façonnées, la hauteur de perte de charge  $H_{\text{V}}$  est calculée selon la

$$H_{\text{V}} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

(8)

**Remarque :**

Dans son programme de sélection, KSB met à disposition un logiciel de calcul des hauteurs manométriques requises, appelé « Calculateur de réseau ».

Celui-ci permet de combiner et de calculer tous les robinets, pièces façonnées et tuyauteries avec leurs diamètres nominaux et coefficients de perte de charge pour déterminer la hauteur manométrique nominale du système de pompage en cours d'étude [1.12]. Document de référence publié par KSB : Détermination des pompes centrifuges [1.10].

## 1.3

## Le NPSH

Le NPSH (Net Positive Suction Head) est un paramètre important pour l'évaluation de la capacité d'aspiration d'une pompe centrifuge. Il exprime la pression minimale à l'aspiration dont chaque pompe centrifuge a besoin pour fonctionner de manière fiable et sans cavitation [1.13].

Il y a lieu de distinguer entre la cavitation admissible entraînant une perte de hauteur manométrique de 3 %, la valeur  $NPSH_{3\%}$  de la pompe (NPSH requis ou charge nette absolue requise à l'aspiration: l'acronyme utilisé est  $NPSH_R$ ) et le NPSH de l'installation (NPSH disponible: l'acronyme utilisé est  $NPSH_A$ ).

La condition à respecter pour assurer un fonctionnement de la pompe sans dommage lié à la cavitation est la suivante :

$$NPSH_A \geq NPSH_R, \quad NPSH_R = NPSH_{3\%} + \text{Marge de sécurité} \quad (9)$$

La valeur de la marge de sécurité est fixée suivant la norme ANSI/HI 9.6.1.:1998 à 30 % de la valeur  $NPSH_{3\%}$  de la pompe, sans être inférieure à 1,50 m [1.37]. Le NPSH disponible peut être calculé avec la formule (10a).

$$NPSH_A = z_c + \frac{p_e + p_b - p_D}{\rho \cdot g} + \frac{v_c^2}{2 \cdot g} - H_{vs} \quad (10a)$$

Dans le cas d'un circuit ouvert, d'une altitude au-dessus du niveau de la mer inférieure à 1000 m et d'une température du fluide de 20°C, la formule peut être simplifiée :

$$NPSH_A = z_c + 10 \text{ m} \quad (10b)$$

Le  $NPSH_{3\%}$  de la pompe est déterminé par le constructeur lors d'un essai sur plate-forme en installation spéciale en fosse sèche et indiqué dans les documents de vente. Il est pratiquement impossible de

mesurer le NPSH en installation noyée. Vu que le  $NPSH_{3\%}$  évolue en fonction du débit, il est indiqué comme fonction du débit  $NPSH_R = f(Q)$ . Il indique la hauteur manométrique requise en mètres qui doit être disponible au-dessus de la tension de vapeur du liquide pompé à l'entrée de la roue (point de référence pour le NPSH = point d'intersection de l'arbre de la pompe et du plan perpendiculaire à celui-ci passant par les points extérieurs des bords d'entrée d'aube, voir fig. 1.3).

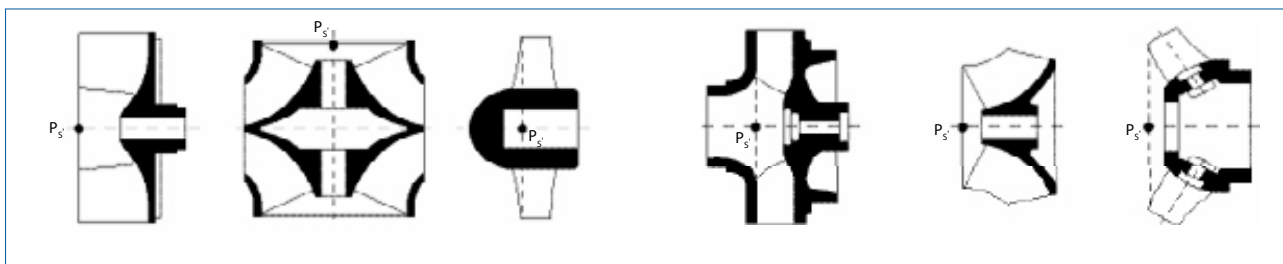


Fig. 1.3 : Position du point de référence  $P_s$ , pour différentes roues (source : Détermination des pompes centrifuges, KSB)

Le constructeur de la pompe peut influencer la valeur  $NPSH_{3\%}$  par le choix de la forme de roue, la construction de la roue (diamètre d'œillard, nombre d'aubes et géométrie des arêtes à l'entrée de la roue) et la vitesse nominale de la pompe.

L'entrée du canal entre les aubes de la roue constitue la zone critique. En effet, c'est ici que se trouve la section la plus réduite parcourue par le liquide après la tuyauterie d'aspiration (pour les pompes de surface) et l'orifice d'aspiration (pour les pompes à installation noyée).

L'écoulement du fluide autour des bords d'entrée des aubes entraîne inévitablement une chute de pression locale. Si la pression tombe ainsi en dessous de la tension de vapeur, des bulles de vapeur se forment.

Celles-ci sont entraînées par le fluide et implosent brusquement quand la pression dans le canal entre les aubes remonte (voir fig. 1.5 pour les dommages pouvant être causés). Le phénomène de formation et d'implosion brusque de bulles de vapeur est appelé cavitation.

La cavitation peut avoir des conséquences néfastes graves et doit par conséquent être limitée. Elle peut se traduire par une perte de hauteur manométrique et de rendement jusqu'à la rupture de débit, une marche irrégulière, des vibrations et des bruits à force d'érosion de la roue ou des pièces internes de la pompe. Cas par cas, l'intensité admissible de la cavitation dépend :

- des conditions de service,
- de la durée de fonctionnement de la pompe hors de la plage autorisée du liquide pompé et

particulièrement des matériaux mis en œuvre pour les composants en contact avec le liquide pompé (notamment la roue).

Le dépassement de l'intensité admissible de la cavitation ressort de la fig. 1.4. Au point d'intersection entre les courbes de  $NPSH_{disponible}$  et  $NPSH_{requis}$ , la condition de la formule (9) n'est plus remplie. À droite du point d'intersection, le débit n'augmente plus et la hauteur manométrique chute rapidement. Ce type de courbe est appelé « branche de décollement ». Un fonctionnement prolongé dans ces conditions cause des dommages aux composants de la pompe (roue, paliers, étanchéité d'arbre, etc.). L'augmentation du  $NPSH_{disponible}$  (par un niveau de liquide plus élevé en amont, par exemple) permet d'atteindre à nouveau le point de fonctionnement.

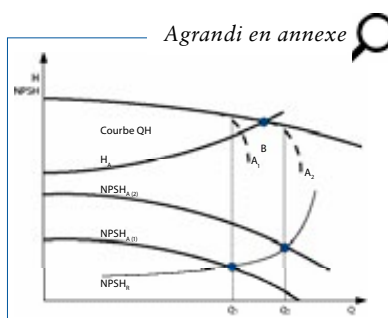


Fig. 1.4 : Influence du  $NPSH_{disponible}$  sur la courbe débit-hauteur de la pompe (source : KSB Kreiselpumpen-Lexikon).



Fig. 1.5 : Roue endommagée par cavitation (source : KSB Kreiselpumpen-Lexikon).

## 1.4

### La puissance absorbée

La puissance absorbée  $P_2$  d'une pompe centrifuge est la puissance mécanique fournie par le moteur, absorbée à l'arbre ou l'accouplement de la pompe. Elle peut être calculée avec la formule (11) [1.15] :

$$P_2 = \frac{Q \cdot H \cdot g \cdot \rho}{1000 \cdot \eta_p} \quad [\text{kW}] \quad (11)$$

$\eta_p$  = rendement de la pompe ou de l'accouplement

La teneur en matière sèche et les particules contenues dans le liquide pompé font augmenter la puissance absorbée à l'arbre de pompe. Il faut en tenir compte en prévoyant une réserve de puissance lors de la sélection du moteur [1.7]. La puissance absorbée  $P_2$  ne doit pas être confondue avec la puissance fournie par le moteur (puissance nominale du moteur  $P_N$ ). Celle-ci est indiquée par le constructeur du moteur sur la plaque signalétique.

Pour les pompes submersibles, seule la puissance  $P_1$  absorbée par le moteur peut être mesurée. Celle-ci inclut les pertes internes du moteur exprimées par le rendement du moteur  $\eta_M$ . Ainsi la puissance absorbée à l'arbre

de la pompe peut être calculée avec la formule (12) :

$$P_2 = \frac{P_1}{\eta_M} \quad [\text{kW}] \quad (12)$$

$\eta_M$  = rendement du moteur

Lors de la détermination de la puissance d'entraînement nécessaire à la pompe, il faut prévoir des réserves de puissance conformément à la norme EN ISO 9908. Celles-ci sont en général suffisantes pour couvrir les tolérances de fabrication et les variations des caractéristiques des eaux usées. Pour plus d'informations sur les moteurs, se reporter au chapitre « Description générale du moteur ».

## 1.5

### Utilisation

La désignation de la pompe selon son utilisation est très répandue. Le mode de fonctionnement (pompe principale, pompe booster, pompe de charge normale ou charge de pointe, etc.), le domaine d'emploi (pompe d'irrigation, de relevage, de circulation, pompe chimie, pompe process, pompe de temps sec, pompe de temps de pluie etc.) ou le fluide véhiculé (pompe à eau potable, eau de mer, eau propre, eaux usées, eaux vannes, lisier, boues, matières solides) sont fréquemment utilisés pour caractériser la pompe de manière facilement compréhensible.

Les pompes utilisées dans le secteur des eaux usées sont presque exclusivement de type centrifuge ou volumétrique. Alors que les pompes volumétriques sont essentiellement utilisées pour le pompage des boues (p. ex. dans le digesteur où des fluides à teneur élevée en matière sèche (> 10 %) doivent être transportés), les pompes centrifuges sont employées dans presque tous les secteurs du transport des eaux usées et des stations d'épuration.

En général, les pompes centrifuges sont classées selon leurs caractéristiques de construction,

à savoir la forme de roue, la direction du flux et le mode d'installation. La vitesse spécifique  $n_s$  constitue un paramètre important pour décrire le comportement de différents types de roues.

Ce nombre caractéristique repris de la similitude en mécanique des fluides permet de comparer des roues de tailles de pompes différentes pour des caractéristiques différentes (Q et H au point de meilleur rendement et la vitesse de rotation de la roue) et de classer leur construction optimale et la forme caractéristique des courbes correspondantes. Il est calculé avec la formule suivante :

$$n_q = n \cdot \frac{\sqrt{Q_{opt}}}{H_{opt}^{3/4}} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (13)$$

Les fig. 1.6 et 1.7 montrent le rapport entre la vitesse spécifique et la construction de la roue ainsi que les courbes caractéristiques correspondantes.

La vitesse spécifique  $n_s$  des roues utilisées pour le pompage des eaux usées est comprise entre 45 et 200 t/min. Les roues à vitesse spécifique comprise entre 45 et 90 t/min sont principalement utilisées pour le transport des eaux usées vers la

station d'épuration et à l'intérieur de celle-ci (p. ex. stations de relevage principales et intermédiaires, zone d'entrée de la station d'épuration, boues recirculées jusqu'à la sortie de la station d'épuration). Tout ce domaine est couvert par les pompes submersibles Amarex KRT équipées de différents types de roue.

Les bassins d'activation des stations d'épuration nécessitent plutôt des pompes adaptées aux forts débits et faibles hauteurs manométriques (hélices à  $n_s$  de 160 à 200 t/min). Par ailleurs, les pompes à hélice sont souvent utilisées pour le captage d'eau dans les rivières, le transport d'eau de refroidissement et la protection contre les crues. Elles servent aussi de pompes de circulation dans les parcs d'attraction.

#### Remarque :

KSB a publié un document dédié à la sélection des pompes à hélice et l'étude des ouvrages de prise d'eau, intitulé « Pompes submersibles Amacan pour installation en tube » (Savoir-faire KSB, volume 6, réf. 0118.55-20).

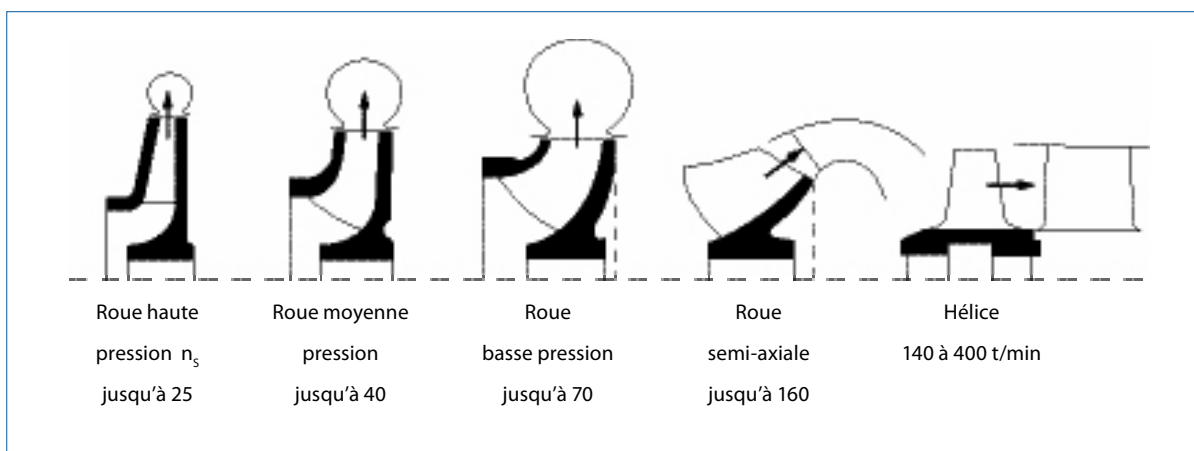


Fig. 1.6 : Différents types de roues et leurs vitesses de rotation spécifiques  $n_s$  (t/min)  
Source : KSB Kreiselpumpen-Lexikon

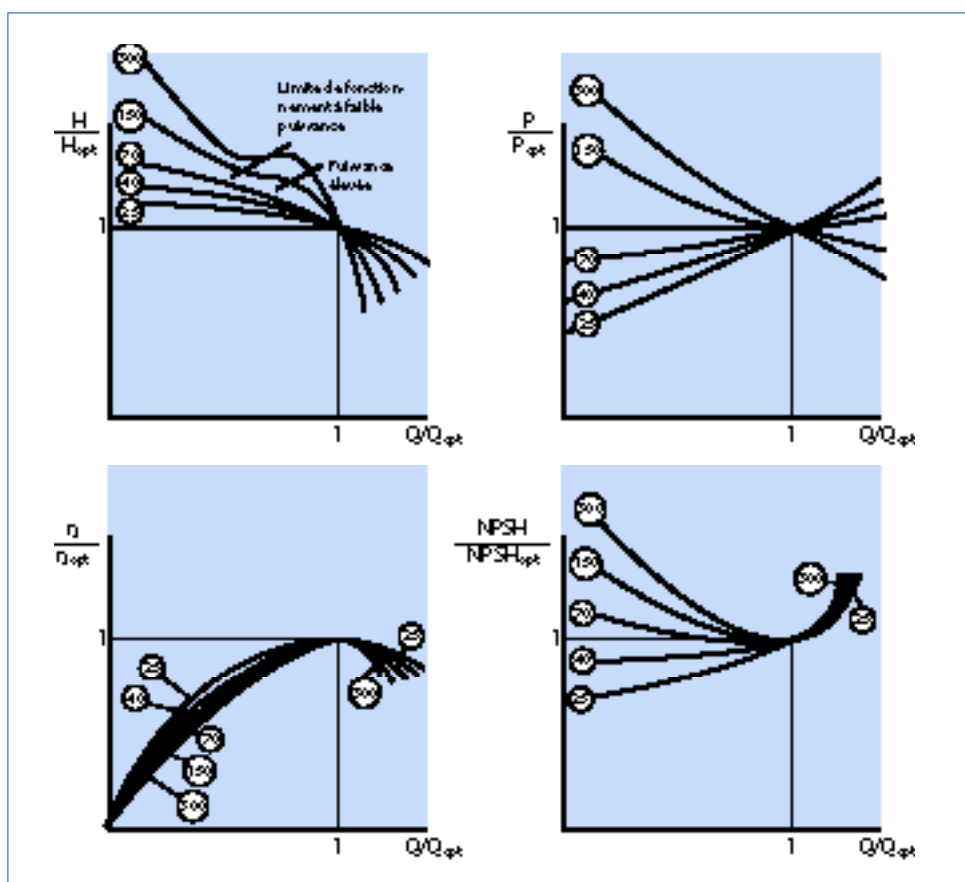


Fig. 1.7 : Courbes caractéristiques de pompes centrifuges à différentes vitesses spécifiques. Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum (source : Détermination des pompes centrifuges, KSB).

## 1.6 Sélection de la pompe

La sélection des pompes dépend essentiellement des conditions de fonctionnement définies ou, autrement dit, des caractéristiques spécifiées par le client et que la pompe doit être capable de remplir. Par les conditions de fonctionnement, nous entendons avant tout les caractéristiques du liquide pompé (p. ex. température, densité, viscosité, teneur en matière sèche, teneur en sable ou autres particules), le débit attendu et de la hauteur manométrique requise, du comportement d'aspiration et la vitesse de rotation de la pompe centrifuge. En plus, il faut disposer d'informations sur la taille et les caractéristiques des moteurs, le mode de fonctionnement, la fréquence de démarrage attendue et les influences exercées par l'installation ou l'environnement telles que le niveau de bruit maximal autorisé, les vibrations admissibles, les efforts sur la tuyauterie et les risques d'explosion potentiels (indication des zones ATEX).

Équipées de roues développées spécialement pour les eaux usées (roue dilacératrice, roue vortex, roues à un, deux ou trois

canaux et roue monocanal ouverte), les pompes submersibles KRT sont parfaitement adaptées aux exigences spécifiques du transport des eaux usées, leurs conditions d'utilisation et la composition des fluides.

Pour des informations détaillées sur l'utilisation des roues pour les différents fluides et les limites d'utilisation des roues, se reporter au chapitre « Technique des machines et installation ».

### 1.6.1 Courbes caractéristiques

Lorsqu'une pompe centrifuge fonctionne à vitesse de rotation constante, son débit augmente au fur et à mesure que sa hauteur manométrique décroît. La courbe de débit-hauteur ou courbe Q/H est la courbe qui passe par la hauteur manométrique H et le débit Q correspondant. Chaque pompe est caractérisée non seulement par la courbe QH, mais aussi par la courbe de rendement, la courbe NPSH<sub>R</sub> ou NPSH<sub>3%</sub> et la courbe de puissance absorbée qui dépendent également du débit. Toutes ces courbes doivent être prises en compte lors de la sélection d'une pompe.

La fig. 1.8 présente à titre d'exemple les courbes caractéristiques d'une pompe à trois canaux à vitesse spécifique  $n_s \sim 80$  t/min (roue basse pression). Toutes les caractéristiques hydrauliques ont été déterminées suivant la norme EN ISO 9906 pour un fonctionnement en eau claire. L'allure caractéristique des courbes dépend de la vitesse spécifique (voir aussi fig. 1.6). Les courbes peuvent être plates ou plongeantes. Dans la courbe plongeante, la variation du débit est inférieure à celle d'une courbe plate pour la même différence de hauteur manométrique. Les pompes à courbe plongeante présentent des avantages pour la régulation du débit.

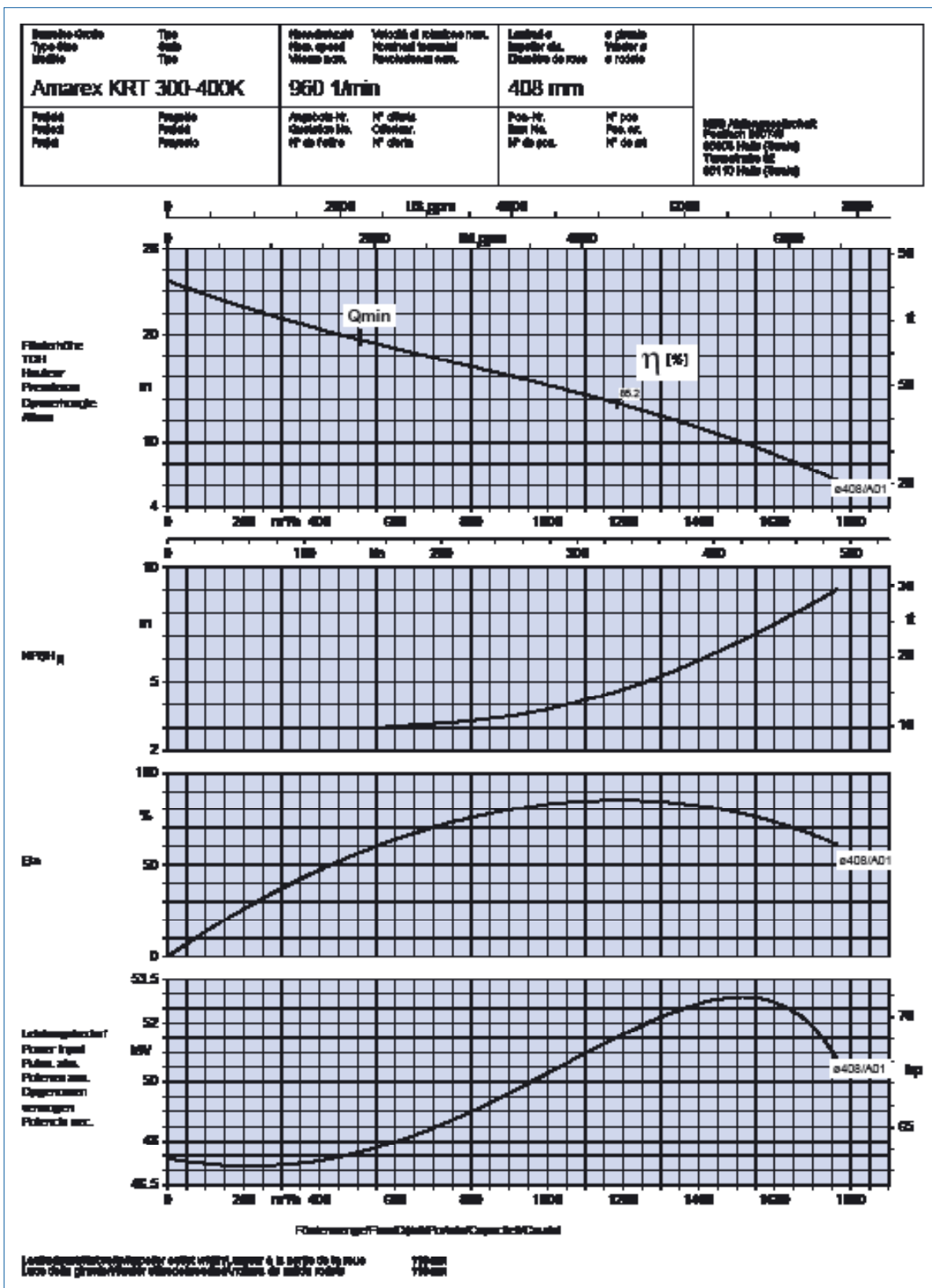


Fig. 1.8 : Courbes caractéristiques d'une pompe avec roue à trois canaux  $n_s \sim 80$  t/min, vitesse de la pompe  $n = 960$  t/min (source : logiciel de sélection KSB)



### 1.6.2 Courbe caractéristique de la pompe

En général, la courbe de débit-hauteur (courbe Q/H) est considérée comme la courbe caractéristique de la pompe. Comme chaque pompe est soumise à des pertes, il convient de soustraire de la courbe de dimensionnement débit-hauteur théorique sans perte, les pertes hydrauliques internes de la pompe. Les pertes hydrauliques internes sont la somme des pertes par frottement et par choc. Ces deux types de pertes peuvent être définis en fonction du débit.

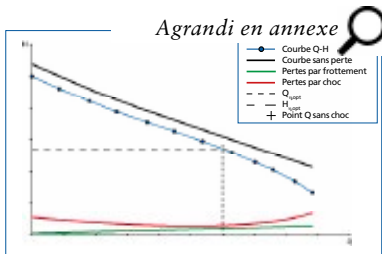


Fig. 1.9 : Courbe débit-hauteur et courbe diminuée des pertes hydrauliques internes. Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

Tandis que les pertes par frottement augmentent de façon continue avec le débit croissant, les pertes par choc augmentent quand le débit devient inférieur ou supérieur au débit nominal de la pompe (appelé  $Q_{sans\ choc}$ ). La fig. 1.9 propose une représentation proportionnelle des pertes hydrauliques.

La courbe de rendement (courbe Q- $\eta$ ) monte depuis le point de débit nul jusqu'au point Q  $\eta_{opt}$  ( $\sim Q_{sans\ choc}$ ) pour retomber ensuite. La courbe de rendement reflète les pertes internes de la pompe et indique la plage de fonctionnement dans laquelle la

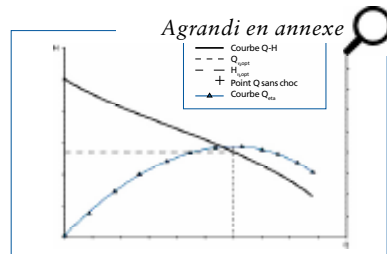


Fig. 1.10 : Courbe de rendement  $\eta = f(Q)$ . Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

pompe doit de préférence être utilisée pour éviter au mieux le gaspillage d'énergie. La fig. 1.10 présente le tracé de la courbe.

Les fig. 1.11 et 1.12 donnent les courbes de  $NPSH_{3\%}$  et de puissance absorbée  $P_2$  à l'arbre de la pompe. Tandis que la courbe de  $NPSH_{3\%}$  indique la capacité d'aspiration de la pompe (cf. chapitre « Le NPSH »), la courbe de puissance absorbée est importante pour le dimensionnement de la puissance nominale requise du moteur.

### 1.6.3 Courbe de réseau

La courbe de réseau est également tracée en fonction du débit. Comme le montre la fig. 1.13, la courbe de réseau comprend une part statique constante et une composante dynamique qui évolue proportionnellement au carré du débit (remarque : ceci est seulement valable quand il est fait abstraction de la dépendance du coefficient de frottement dans la tuyauterie du au nombre de Reynolds Re).

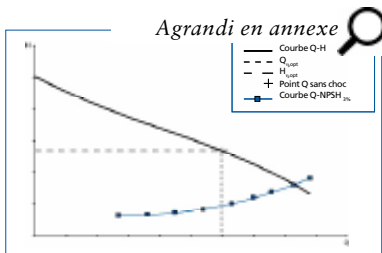


Fig. 1.11 : Courbe  $NPSH_{3\%}$ ,  $NPSH_{3\%} = f(Q)$ . Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

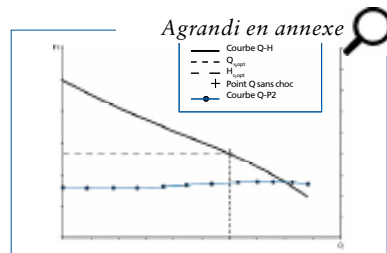


Fig. 1.12 : Puissance électrique absorbée  $P_2 = f(Q)$ . Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

Dans le cas des pompes submersibles en installation noyée, la part correspondant à la hauteur manométrique statique  $H_{\text{géo}}$  est la différence de hauteur mesurable entre les niveaux d'eau à l'aspiration et au refoulement. La part correspondant à la hauteur manométrique dynamique se compose de l'ensemble des pertes de charge occasionnées par les robinets, pièces façonnées et conduites prévus ou installés au refoulement de la pompe jusqu'au point d'écoulement du liquide vers le plan d'eau de refoulement. Pour plus de détails, se reporter au chapitre « La hauteur manométrique ».

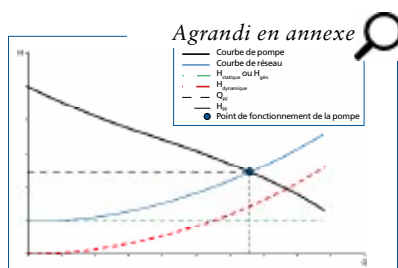


Fig. 1.13 : Courbe de réseau – somme des parts de hauteur manométrique statique et dynamique

## 1.7 Limites de fonctionnement des pompes

Chaque pompe centrifuge a des limites d'application ou de fonctionnement recommandées. Celles-ci définissent la limite d'utilisation de la pompe pour des raisons de construction, d'installation et d'entraînement.

Le respect de ces limites est une condition préalable importante pour assurer le fonctionnement correct de la pompe pendant la durée d'utilisation prévue. Les principales limites d'application ou de fonctionnement sont abordées ci-dessous.

### 1.7.1 Point de fonctionnement

Le point de fonctionnement d'une installation de pompage est situé à l'intersection (fig. 1.13) de la courbe de réseau et de la courbe de pompe (la courbe débit-hauteur de la pompe est communément appelée courbe de pompe). Il définit la hauteur manométrique et le débit correspondant fourni. Par conséquent, si le point de fonctionnement doit être modifié, il faut modifier soit la courbe de réseau soit la courbe de pompe. Des informations plus concrètes sont disponibles ci-après au paragraphe « Mode de fonctionnement des pompes ».

### 1.7.2 Limites de fonctionnement $Q_{\text{min}}$ et $Q_{\text{max}}$

Le comportement en fonctionnement d'une pompe centrifuge (caractéristiques hydrauliques, mécaniques et acoustiques) est déterminé dans

une large mesure par la position du point de fonctionnement par rapport au point  $Q_{\eta \text{opt}}$ . Lors de la sélection de la pompe, il convient de veiller à ce que le point de fonctionnement soit situé si possible à proximité du point optimum ( $Q_{\text{PF}}$  env. 0,8 à  $1,2 \times Q_{\eta \text{opt}}$ ). C'est dans cette plage de fonctionnement que les frais d'énergie et de maintenance ainsi que les forces de poussée hydrauliques sont les plus bas. Dans la pratique de tous les jours, le process peut exiger le fonctionnement du groupe en régime de charge partielle ou de surcharge. Plus le point de fonctionnement s'éloigne du point optimum, plus l'écoulement du fluide dans la zone des aubes et de l'organe diffuseur (corps) est défavorable. Au cas où l'écoulement relatif n'arrive plus à suivre les contours de l'aube côté aspiration (en régime de charge partielle) ou côté refoulement (en régime de surcharge), des zones de décollement se forment qui perturbent de plus en plus le transfert de l'énergie au liquide pompé. Les forces hydrauliques (forces de poussée radiales et axiales) augmentent et les vibrations mécaniques, les bruits et la cavitation s'intensifient rapidement : ce sont les phénomènes perceptibles de l'extérieur. Les constructeurs de pompes définissent la plage de fonctionnement continu de leurs

pompes en indiquant les limites  $Q_{min}$  et  $Q_{max}$  (à défaut d'une indication, la fin de la courbe de pompe tracée correspond à la limite  $Q_{max}$ ). En général, la plage de fonctionnement autorisée est comprise entre  $0,3$  et  $1,4 \times Q_{\eta_{opt}}$ .

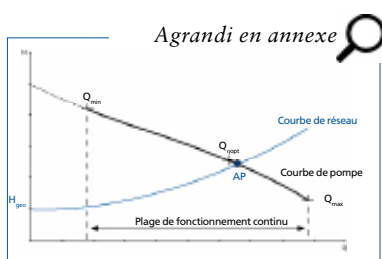


Fig. 1.14 : Limites de fonctionnement  $Q_{min}$  et  $Q_{max}$  – représentation de la plage de fonctionnement continu d'une pompe centrifuge ( $Q_{min} = env. 0,3 * n_q * n_s$  et  $Q_{max} = env. 1,4 * Q_{\eta_{opt}}$ )

Pour les pompes centrifuges à vitesse spécifique  $n_q$  élevée, égale ou supérieure à  $140 \text{ t/min}$ , la limite  $Q_{min}$  peut être nettement supérieure ( $0,6$  à  $0,7 \times Q_{\eta_{opt}}$ ).

L'utilisation des pompes hors de la plage de fonctionnement admissible peut entraîner une sollicitation accrue et l'usure prématurée des pièces de pompe. Les problèmes éventuels en découlant ne sont pas pris en garantie par les constructeurs.

### 1.7.3 Spécificités du transport des eaux usées

La pompe centrifuge n'est qu'une composante de l'installation globale pour eaux usées. Sa sécurité de fonctionnement n'est assurée que si les systèmes périphériques de l'installation, le liquide pompé (caractéristiques et composition), la régulation et le mode de fonctionnement sont en adéquation avec les caractéristiques de la pompe centrifuge et de son hydraulique. Notons dans ce contexte que le terme souvent utilisé d'« hydraulique imbouchable » est impropre. Toute hydraulique se bouchera si elle surchargée. Il faudra donc préférer le terme d'« hydraulique à faible risque de colmatage » qui est une description plus réaliste.

Nous avons rassemblé ci-dessous quelques spécificités du transport des eaux usées, puisées dans nos expériences pratiques. Celles-ci devront être prises en compte lors de l'étude d'une installation pour eaux usées afin d'assurer une sécurité d'utilisation maximale (« fonctionnement minimisant le risque de colmatage »).

Point de fonctionnement proche

du point optimum. La plage  $Q_{PF} \sim 0,8$  à  $1,2 \times Q_{\eta_{opt}}$  ne correspond pas seulement à la plage de fonctionnement optimale en termes de consommation d'énergie, mais aussi à la plage où les matières solides contenues dans le liquide pompé sont le plus rapidement entraînées. Cette plage est indiquée en fig. 1.15. C'est notamment dans la zone de charge partielle comprise entre  $Q_{min}$  et  $0,8 \times Q_{\eta_{opt}}$  que l'entraînement des matières solides est plus ou moins fortement limité dû aux faibles débits (vitesse d'écoulement réduite). Le fonctionnement en continu des pompes dans ces conditions peut entraîner des engorgements au niveau du canal de roue ou des dépôts incrustés dans la chambre latérale de la roue. Cette spécificité des pompes centrifuges est importante pour la définition de la plage de régulation et de fonctionnement, et du déplacement du point de fonctionnement qui y est lié. Notons les mots-clés suivants : variation de la vitesse, modification de la hauteur manométrique statique entre les niveaux de démarrage et d'arrêt dans la bâche de pompage et fonctionnement en parallèle.

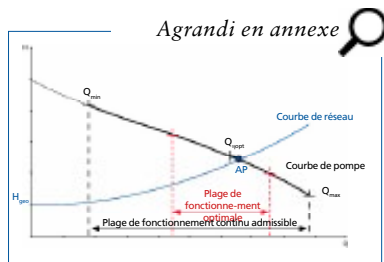


Fig. 1.15 : Plage de fonctionnement préférée ou optimale pour le transport des eaux usées

- Prévoir une réserve de puissance suffisante du moteur. Toutes les caractéristiques hydrauliques des pompes indiquées par les constructeurs ont été déterminées suivant la norme EN ISO 9906 pour un fonctionnement en eau claire. Aucun prescripteur ne peut prévoir de manière fiable les caractéristiques réelles des eaux usées. La teneur en matières solides et en fibres dans les eaux usées a tendance à augmenter. La sécurité d'utilisation devra avoir la priorité sur les frais d'investissement (voir réserve recommandée suivant ISO 9908).

- Sélection de la roue adéquate. Les pompes submersibles KRT sont parfaitement adaptées aux exigences spécifiques du transport des eaux usées, à ses conditions d'utilisation et à la composition des fluides grâce aux divers types de roue développés spécialement pour les eaux usées (roue dilacératrice, roue vortex, roues à un, deux ou trois canaux et roue monocanal ouverte). Pour plus de détails, se

reporter au chapitre « Technique des machines et installation ».

- Vitesses d'écoulement dans les tuyauteries et régime de régulation pour le fonctionnement avec variateur de fréquence. De plus en plus de pompes sont régulées par l'intermédiaire d'un variateur de fréquence. Ceci présente des avantages en termes de consommation d'énergie et permet d'assurer la continuité des process de traitement des eaux usées. En général, les plages de régulation ne dépendent pas de la construction et des caractéristiques techniques des pompes ou des machines d'entraînement, mais doivent être déterminées individuellement en prenant en compte la vitesse d'entraînement minimale des matières solides et des fibres. Les expériences montrent que la vitesse d'écoulement des eaux usées doit être au minimum de 2 m/s pour les tuyauteries de refoulement verticales. Pour les tuyauteries horizontales, une vitesse supérieure à 1 m/s est en général suffisante. Il convient d'assurer que toutes les particules soient éliminées de la pompe et de la tuyauterie de refoulement, même à basse vitesse de rotation. La vitesse périphérique au diamètre extérieur de la roue  $D_2$  (pour les roues à un ou plusieurs canaux) ne doit pas être inférieure à 15 m/s pour les roues à eaux

usées. Au démarrage, la rampe d'accélération des pompes centrifuges doit être la plus courte possible afin qu'elles atteignent rapidement la vitesse maximale. Ce n'est qu'après que la vitesse peut être réduite pour atteindre le point de fonctionnement exigé. Les plages de fréquences propres de l'installation (massif de fondation / pompe / tuyauterie) sont à occulter au niveau du variateur de fréquence. Elles doivent être évitées en service continu. En fonctionnement en parallèle, toutes les pompes doivent tourner sensiblement à la même fréquence pour éviter que le débit de certains groupes ne chute en dessous de la limite minimale autorisée. Les clapets de non-retour doivent être complètement ouverts à chaque point de fonctionnement de la pompe pour éviter de freiner le passage des matières solides et prévenir les engorgements.

- Conditions d'écoulement en amont des pompes et conception de l'ouvrage d'aspiration. Il est impératif d'optimiser les conditions d'écoulement en amont des pompes pour assurer un fonctionnement sans incident des pompes et la réalisation des caractéristiques hydrauliques contractuelles (pour plus de détails, se reporter au chapitre « Conception de l'ouvrage »). Dans le cas des pompes submersibles Amarex KRT, des

bâches de pompage de dimensions relativement faibles comportant des plans inclinés sur le radier assurent l'aspiration continue de la charge polluante. Ceci permet d'éviter la concentration de dépôts avec des fréquences de démarrage assez élevées, et les bâches de pompage restent propres.

## 1.8 Mode de fonctionnement des pompes

Le mode de fonctionnement des pompes dépend de nombreux facteurs. Le point de fonctionnement peut être modifié par un changement du diamètre de la roue, par la variation de la vitesse ou par un fonctionnement en parallèle ou en série. Dans ce contexte, il est important de tenir compte des conditions de l'installation telles que le niveau d'eau en amont, les conditions d'écoulement à l'aspiration de la pompe, le NPSH disponible et les caractéristiques du liquide pompé telles que la composition, la densité, la viscosité, la température, etc. Nous traiterons ces points en détail aux paragraphes suivants.

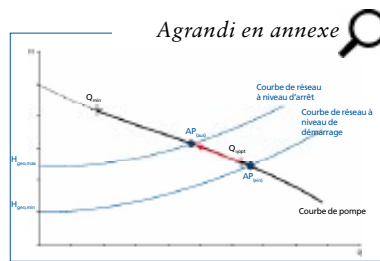


Fig. 1.16 : Évolution du point de fonctionnement de la pompe à vitesse fixe et variation de la hauteur manométrique statique entre le niveau de démarrage et le niveau d'arrêt à l'aspiration

### 1.8.1 Fonctionnement en pompe simple

La courbe de réseau peut être modifiée par une variation de la hauteur manométrique statique, à travers la modification du niveau de liquide dans la chambre d'aspiration, par exemple, comme le montre la fig. 1.16. La plage de fonctionnement de la pompe est comprise entre les deux points de fonctionnement « marche pompe » et « arrêt pompe » sur la courbe QH.

Remarque : il faut s'assurer que le point de fonctionnement soit proche du point optimum, i.e. dans la plage de fonctionnement optimale.

### 1.8.2 Réglage par laminage

Il existe en principe deux possibilités pour modifier la courbe de réseau. La première consiste à augmenter ou réduire les pertes de charge dans la tuyauterie.

Ceci peut s'effectuer de manière volontaire, par modification du réglage d'un organe de laminage ou modification du parcours du liquide pompé (changement du diamètre nominal et de la longueur de la tuyauterie) ou de manière involontaire par des dépôts, incrustations ou par corrosion.

Le laminage d'une pompe centrifuge équivaut à une « destruction » d'énergie absorbée et transformée en hauteur manométrique (ou, plus correctement, à un gaspillage d'énergie non utilisée). Ceci est, énergétiquement parlant, la solution de régulation la moins efficace. En plus, elle doit être évitée dans le domaine des eaux usées (exception faite des phases de démarrage et d'arrêt) pour éviter d'augmenter le risque de colmatage dans et en aval des robinets.

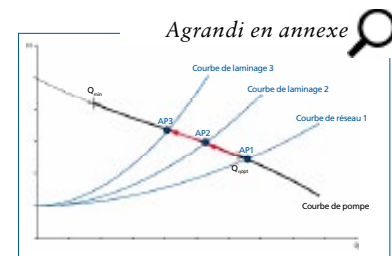


Fig. 1.17 : Évolution du point de fonctionnement de la pompe entraînée par une modification des pertes de charge dans la tuyauterie suite, par exemple, au changement du diamètre nominal de la tuyauterie, au changement du parcours ou de la longueur de tuyauterie ou à des dépôts et incrustations dans la tuyauterie.

### 1.8.3

#### Adaptation du diamètre de la roue

Une solution relativement simple et en même temps très efficace sur le plan hydraulique (mais irréversible) pour réduire simultanément le débit et la hauteur manométrique à vitesse de rotation fixe consiste à adapter le diamètre de roue  $D_2$  par rognage de la roue ou rognage limité aux aubes (fig. 1.18). Étant donné que la longueur des aubes ainsi que la largeur et l'angle de sortie des aubes changent, l'effet (i.e. la modification du débit, de la hauteur manométrique et du rendement) varie en fonction du type de roue (vitesse de rotation spécifique  $n_s$ ). En simplifiant beaucoup, on peut dire que plus la vitesse de rotation spécifique  $n_s$  est petite, plus la roue peut être rognée sans que l'on doive s'attendre à des pertes de rendement significatives.

Les constructeurs de pompes indiquent la plage de rognage possible de leurs roues sous la forme d'une grille dans la documentation technique / les courbiers. Dans ces limites, la corrélation entre le diamètre de roue, le débit et la hauteur manométrique peut être exprimée par la formule (14).

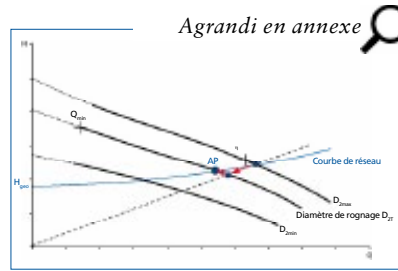


Fig. 1.18 : Rognage ou adaptation du diamètre de roue au point de fonctionnement exigé de la pompe

$$\frac{Q_{2T}}{Q_{2\max}} = \frac{H_{2T}}{H_{2\max}} = \left( \frac{D_{2T}}{D_{2\max}} \right)^2 \quad (14)$$

Les couples de valeurs  $Q$  et  $H$  correspondants sont situés sur une ligne droite imaginaire passant par l'origine du système de coordonnées  $QH$  (fig. 1.18). Le nouveau point de fonctionnement du groupe est situé à l'intersection entre la courbe de la pompe avec roue rognée et la courbe de réseau inchangée.

Remarques : le point de fonctionnement devra être proche du point optimum, c'est-à-dire dans la plage de fonctionnement optimale.

La vitesse périphérique à la sortie de la roue ne devra pas être inférieure à 15 m/s dans la mesure du possible.

### 1.8.4

#### Régulation de la vitesse

Une pompe centrifuge réglée ne fournit que le débit et la hauteur manométrique effectivement requis. C'est donc la solution de régulation la plus efficace en termes de consommation d'énergie. En même temps, elle minimise l'usure des composants de la pompe. Par ailleurs, la réduction de la vitesse de rotation augmente la sécurité en termes de NPSH disponible à l'aspiration. La loi de similitude valable pour les pompes centrifuges exprime la corrélation entre la vitesse, le débit et la hauteur manométrique dans l'hypothèse d'une densité inchangée et d'un rendement constant de la pompe.

$$\begin{aligned} \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{n_1}{n_2} \\ \frac{H_1}{H_2} &= \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \\ \frac{P_1}{P_2} &= \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \end{aligned} \quad (15)$$

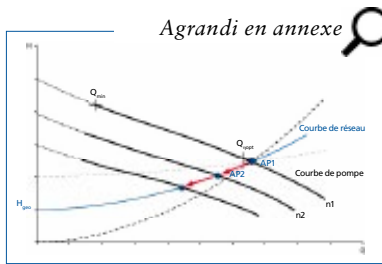


Fig. 1.19 : Évolution du point de fonctionnement d'une pompe centrifuge en cas de variation de la vitesse

Les couples de valeurs  $Q$  et  $H$  correspondants sont situés sur une parabole imaginaire passant par l'origine du système de coordonnées  $QH$ , indiquée en traits pointillés en fig. 1.19. Le nouveau point de fonctionnement du groupe est situé à l'intersection entre la courbe de pompe à vitesse réduite et la courbe de réseau inchangée. Dans le cas d'une courbe de réseau à faible composante statique, le nouveau point de fonctionnement reste proche du point optimum. Plus la composante statique de la courbe de réseau est grande, plus le rendement de la pompe diminue en cas de réduction de la vitesse (faible débit, charge partielle) et en cas d'augmentation de la vitesse (fort débit, surcharge).

#### Remarques :

Prendre garde à ce que le point de fonctionnement soit proche du point optimum, c'est-à-dire situé dans la plage de fonctionnement optimale.

Respecter la vitesse d'écoulement dans les tuyauteries en cas de fonctionnement régulé par variateur de fréquence.

La vitesse périphérique à la sortie de la roue ne doit pas être inférieure à 15 m/s dans la mesure du possible.

Prévoir une réserve de puissance suffisante du moteur en cas de fonctionnement avec variateur de fréquence.

### 1.9 Fonctionnement en parallèle de pompes de taille identiques

Le fonctionnement en parallèle de deux ou plusieurs pompes centrifuges avec une tuyauterie de refoulement commune (collecteur) est particulièrement indiqué dans le cas de courbes de réseau plates. Plus la part de hauteur manométrique dynamique de la courbe de réseau, qui varie proportionnellement au carré du débit, est petite, plus l'augmentation réalisable du débit est grande. Cette corrélation est indiquée en fig. 1.20. Pour les groupes identiques, le débit total se compose des débits identiques de chacune des pompes, correspondant à la hauteur manométrique donnée. À la hauteur manométrique des pompes individuelles, il faut ajouter la part dynamique des

pertes de charge dans les tuyauteries individuelles jusqu'au début du collecteur. La courbe de réseau du collecteur ne comporte que les pertes de charge à partir du point de réunion des tuyauteries individuelles.

#### Remarques :

Prendre garde à ce que le point de fonctionnement soit proche du point optimum, c'est-à-dire situé dans la plage de fonctionnement optimale.

Respecter la vitesse d'écoulement dans les tuyauteries.

En cas de sélection de la station de relevage avec fonctionnement en parallèle de deux ou plusieurs groupes identiques, il convient d'exclure le cas échéant le pompage d'un groupe seul vers le collecteur. Ceci est le cas quand aucun point de fonctionnement autorisé ne peut être atteint comme point d'intersection entre la courbe de réseau et la courbe de pompe fonctionnant en solo.

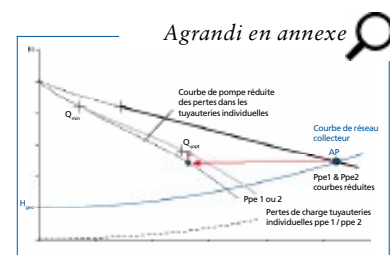


Fig. 1.20 : Fonctionnement en parallèle de deux pompes centrifuges identiques. Les pertes dans les tuyauteries individuelles (pertes de charge jusqu'au début du collecteur) sont prises en compte dans la courbe de pompe réduite.

### 1.10

#### Fonctionnement en parallèle de pompes de tailles différentes

Le fonctionnement en parallèle de deux ou plusieurs pompes centrifuges de taille différente est soumis aux mêmes principes que le fonctionnement en parallèle de taille identique (fig. 1.21). Aucun problème ne se pose lorsqu'il s'agit de groupes à courbe Q-H stable (hauteur manométrique à débit nul supérieure à la hauteur manométrique à  $Q_{\min}$ ) ayant si possible la même hauteur manométrique à débit nul.

Le débit total se compose des débits de chacune des pompes correspondant à la hauteur manométrique donnée. De la hauteur manométrique des pompes individuelles, il faut défalquer la part dynamique des pertes de charge dans les tuyauteries individuelles jusqu'au raccordement au collecteur. La courbe de réseau du collecteur ne comporte que les pertes de charge à partir du point de raccordement des tuyauteries individuelles.

#### Remarques :

Prendre garde à ce que le point de fonctionnement soit proche du point optimum, c'est-à-dire situé dans la plage de fonctionnement optimale. Pour le groupe ayant la hauteur

manométrique à débit nul la plus petite, il y a un risque de fonctionnement à faible débit quand la hauteur manométrique totale change ( $H_{g_{eo\ max}}$ , laminage, etc.). Respecter la vitesse d'écoulement dans les tuyauteries individuelles. En cas de sélection de la station de relevage avec fonctionnement en parallèle de deux ou plusieurs groupes différents, il convient d'exclure le cas échéant le pompage d'un groupe seul vers le collecteur. Ceci est le cas quand aucun point de fonctionnement autorisé ne peut être atteint comme point d'intersection entre la courbe de réseau et la courbe de pompe fonctionnant en solo.

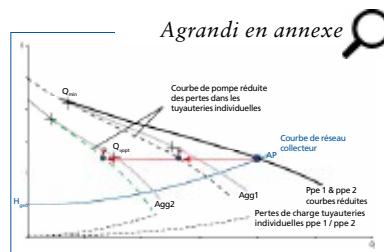


Fig. 1.21 : Fonctionnement en parallèle de deux pompes centrifuges différentes. Les pertes dans les tuyauteries individuelles (pertes de charge jusqu'au début du collecteur) sont prises en compte dans la courbe de pompe réduite.

### 1.11

#### Fonctionnement en série

Le fonctionnement en série de deux pompes centrifuges identiques avec une tuyauterie de refoulement commune est particulièrement indiqué dans le cas de courbes de réseau plongeantes. Avec des pompes à

courbes caractéristiques plates, le débit ne varie que très modérément même en cas de forte variation de la hauteur manométrique (p. ex. changement de la part de hauteur manométrique statique  $H_{g_{éo}}$ ). La hauteur manométrique totale se compose des hauteurs manométriques de chacune des pompes, correspondant au débit donné. Cette corrélation est indiquée en fig. 1.22.

Ce mode de fonctionnement est très rarement utilisé pour le transport des eaux usées.

#### Remarques :

Prendre garde à ce que le point de fonctionnement soit proche du point optimum, c'est-à-dire situé dans la plage de fonctionnement optimale.

Respecter la vitesse d'écoulement dans les tuyauteries.

Le deuxième groupe dans le sens d'écoulement ne doit pas seulement être capable de résister à l'augmentation de la pression, mais aussi à la pression fournie par le premier groupe. Tenir compte de la solidité des corps (Pression de service).

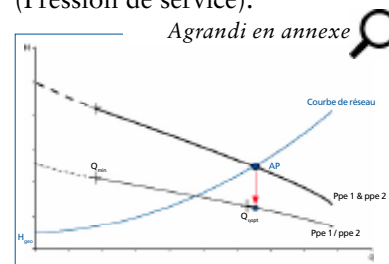


Fig. 1.22 : Fonctionnement en série de deux pompes centrifuges identiques



## 1.12

## Échelonnement des pompes

Pour les stations de relevage intégrées dans de larges réseaux, devant temporairement fonctionner sur des circuits de pompage différents et soumises à de fortes variations hydrauliques, la plage de fonctionnement et les possibilités de régulation d'une ou plusieurs pompes centrifuges identiques ne sont en général pas suffisantes. La fig. 1.23 présente le schéma d'un échelonnement possible de pompes différentes. La totalité des circuits de pompage et courbes de réseau est subdivisée en trois secteurs : fonctionnement par temps de pluie, de jour et de nuit.

Toutes les pompes peuvent être

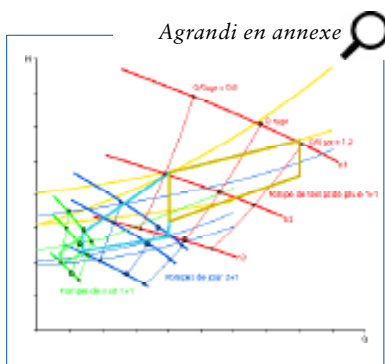


Fig. 1.23 : Échelonnement des pompes destinées au fonctionnement par temps de pluie, de jour et de nuit en réponse aux besoins des différents circuits de pompage, niveaux d'eau et événements.

adaptées aux conditions instantanées de débit et de circuits de pompage par régulation de la vitesse de rotation. Pour chaque pompe, une pompe de secours identique est installée. Les pompes assurant le fonctionnement de jour sont prévues en double. Elles peuvent fonctionner en parallèle. Pour le fonctionnement de jour et par temps de pluie, on peut s'attendre à ce que les eaux usées soient suffisamment diluées. Il est donc possible d'utiliser des pompes centrifuges de taille correspondante équipées de roues multicanaux (nombre d'aubes  $z = 2$  ou  $3$ ). Les pompes assurant le fonctionnement de nuit sont équipées de roues monocanal ou bien de roues vortex étant donné que la concentration des matières

solides dans le liquide pompé augmente en général de par les faibles débits.

**Remarques :**

Prendre garde à ce que le point de fonctionnement soit proche du point optimum, c'est-à-dire situé dans la plage de fonctionnement optimale.

Tenir compte de la vitesse d'écoulement dans les tuyauteries en cas de fonctionnement régulé par variateur de fréquence.

La vitesse périphérique à la sortie de la roue ne doit pas être inférieure à 15 m/s dans la mesure du possible.

Prévoir une réserve de puissance suffisante du moteur en cas de fonctionnement avec variateur de fréquence.

### 1.13 Pompes en installation noyée

Les pompes en installation noyée constituent la solution technique la plus simple pour une station de relevage : les pompes sont directement installées dans le réservoir de collecte et complètement ou partiellement immergées dans les eaux usées, en fonctionnement. La pompe peut être à arbre vertical, entraînée par un moteur installé au dessus du niveau d'eau, ou le groupe entier peut être noyé dans l'eau (pompe submersible).

Sur le terrain, les pompes en installation noyée sont principalement utilisées pour les installations de petite taille (débit max. 100 l/s environ). Il s'agit souvent de stations de relevage préfabriquées [1.17 ; 1.18].

Les vertus de l'installation noyée sont de plus en plus souvent mises à profit dans les grandes stations de relevage (débit max. jusqu'à 16 000 l/s). Les avantages et inconvénients de ce type d'installation sont présentés au tableau 1.1 [1.19].

Pour éviter les engorgements, les rétrécissements de la section de tuyauterie dans le sens d'écoulement doivent être impérativement évités et le diamètre intérieur des

tuyauteries de refoulement doit correspondre au minimum au diamètre intérieur de l'orifice de refoulement [1.20]. Les raccords de tuyauterie ne doivent pas présenter de rétrécissement et les robinets ouverts ne doivent pas entraver l'écoulement [1.21 ; 1.22]. Le diamètre optimal est à calculer à partir de la vitesse d'écoulement minimale et le diamètre de tuyau le plus proche devra être utilisé. Pour les tuyauteries de refoulement longues, les mesures de réduction des coups de bélier ont priorité sur les mesures visant à respecter la vitesse d'écoulement minimale. Pour les tuyauteries de refoulement jusqu'à 500 m de long, la vitesse maximale est de 2,5 m/s [1.23].

Le matériau de la tuyauterie doit être compatible avec les eaux chargées et résister à la corrosion (sulfure d'hydrogène !). Ceci vaut également pour les supports de tuyauterie à prévoir avec de faibles espacements. La tuyauterie doit être fixée de telle sorte que la pompe ne soit soumise à aucune contrainte. Elle doit présenter une surface intérieure lisse, résister aux contraintes cycliques et être dimensionnée pour une pression de service comprise entre 6 et 10 bar. La tuyauterie de refoulement de la pompe doit être raccordée horizontalement à la tuyauterie principale. Les

changements de direction brusques sont à éviter. Les raccords de tuyauterie et pièces façonnées doivent répondre aux normes de produit pertinentes.

Les robinets à papillon sont des organes d'isolement peu appropriés. Sont recommandés les robinets-vannes à étanchéité souple avec filetage extérieur, corps en fonte à graphite sphéroïdal (FGS), tige en acier inoxydable 1.4571, écrou de tige et bagues de siège en acier 2.1060. Pour les actionneurs, il faut que le couple maxi. possible ne puisse pas endommager la vanne [1.24].

Les clapets de non-retour à battant avec levier à contrepoids sont particulièrement adaptés pour servir de dispositif de non-retour. Les matériaux du corps recommandés sont la fonte à graphite lamellaire (FGL) ou la fonte à graphite sphéroïdal (FGS) [1.25]. Des clapets de non-retour à boule peuvent être utilisés en cas de vitesse d'écoulement faible [1.26]. Le dispositif de non-retour doit être installé verticalement, le plus haut possible au-dessus de la pompe, pour que le niveau d'eau montant puisse évacuer l'air de la pompe. Aucun dispositif de purge d'air n'est alors nécessaire [1.27].

Les pompes (au moins deux) [1.28] doivent être installées de manière à ce qu'elles soient alimentées en eau par écoulement gravitaire (fonctionnement en charge) [1.29]. Le fonctionnement en zone instable doit être évité. Le degré admissible de cavitation ne doit pas être dépassé ( $NPSH_A / NPSH_R \geq 1,3$ ) [1.30 & 1.37]. Les pompes doivent être appropriées pour les eaux usées et les conditions d'utilisation [1.31]. Selon les normes européennes, la protection contre l'explosion des moteurs n'est pas imposée. Des dispositions locales (par l'exploitant ou les autorités) peuvent cependant imposer la protection contre l'explosion, (par exemple en Allemagne: niveau de protection requis Ex dII B T3) étant donné que les chambres d'aspiration des stations de relevage des eaux usées sont supposées être des zones explosibles [1.32].

Une signalisation visuelle des messages de service et de défaut individuels ainsi qu'une signalisation sonore groupée des messages de défaut doivent être assurées. L'installation de dispositifs de détection du niveau, de mesure de la pression manométrique et du débit est recommandée [1.34].

### Remarques sur le nombre de Reynolds

La vitesse d'écoulement  $v$  n'est pas constante sur toute la section de tuyauterie A. Un fluide newtonien (visqueux) adhère à la paroi de la tuyauterie où la vitesse d'écoulement est égale à zéro. À l'axe de la tuyauterie, la vitesse d'écoulement est maximale. En considérant la vitesse d'écoulement sur la section de tuyauterie, nous distinguons entre l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent (fig. 1.24) [1.35].

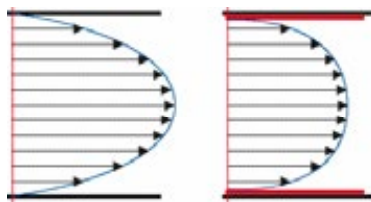


Fig. 1.24 : Écoulement laminaire et turbulent

La forme de l'écoulement dépend de la vitesse d'écoulement moyenne  $v$ , du diamètre de tuyau  $d$  et de la viscosité cinématique  $\nu$  du fluide. Ces paramètres sont exprimés par le nombre de Reynolds  $Re$ . Chez KSB, nous considérons que le nombre de Reynolds  $Re = 2320$  constitue la limite entre l'écoulement turbulent et l'écoulement laminaire.

### Remarques sur le volume de la chambre d'aspiration

Pour les pompes fonctionnant à vitesse fixe, le volume utile de la chambre d'aspiration est calculé avec la formule suivante :

$$V_u = 0,9 \cdot \frac{Q_p}{Z} \quad (16)$$

$V_u$  en  $m^3$   
 $Q_p$ : débit unitaire de la pompe en l/s  
 $Z$ : nombre de démarrages horaires admissibles par le moteur

Des valeurs hypothétiques ont été définies dans les normes pour les débits d'eaux usées domestiques.

Pour la France, on se base sur un débit des eaux usées de 150 à 200 l par habitant et par jour et un débit de pointe  $Q_p$  calculé conformément à l'Instruction Technique de 1977 :

$$Q_p = C_p Q_m$$

Avec:  
 $Q_m$ : débit moyen journalier en l/s  
 $C_p$ : coefficient de pointe ( $\leq 4$ ) donné par la formule

$$C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}}$$

Avantages	Inconvénients
Peu de travaux de terrassement et de génie civil requis (stations de relevage préfabriquées disponibles)	Dépôts dans la chambre d'aspiration favorisés par des structures internes
Encombrement réduit	Accès difficile
Faible investissement	Maintenance dans des conditions insalubres
Technique simple	
NPSH <sub>A</sub> élevé	

Tableau 1.1 : Avantages et inconvénients des pompes en installation noyée (source : présentation par l'auteur basée sur Weismann, D. (1999), p.104 et 105).

## Bibliographie

- [1.1] Document pour approfondir : ATV-DVWK –A 134
- [1.2] Document pour approfondir : ATV-DVWK –A 118
- [1.3] Document pour approfondir : ATV-DVWK –A 134
- [1.4] Expression mathématique de la présentation de Turk, W.I. (1954), p. 144
- [1.5] Voir code source PWSIM 02, ligne 353
- [1.6] Expression mathématique de la présentation de Turk, W.I. (1954), p. 144
- [1.7] Document pour approfondir : KSB Kreiselpumpen-Lexikon
- [1.8] Hahne, E. (2000), p. 397
- [1.9] Document pour approfondir : Détermination des pompes centrifuges, KSB
- [1.10] Document pour approfondir : Détermination des pompes centrifuges, KSB
- [1.11] Document pour approfondir : Détermination des pompes centrifuges, KSB
- [1.12] Document pour approfondir : Calculateur de réseau KSB, logiciel de sélection
- [1.13] Document pour approfondir : Brochure Europump 1974 « NPSH: importance, méthodes de calcul, méthodes d'essai »
- [1.14] Document pour approfondir : Brochure Europump 1974 « NPSH: importance, méthodes de calcul, méthodes d'essai »
- [1.15] Document pour approfondir : KSB Kreiselpumpen-Lexikon
- [1.16] Voir KSB AG (1989)
- [1.17] Voir ATV e.V. (éditeur) (1982), p. 443 et 444
- [1.18] Voir Weismann, D. (1999), p. 100 et suivantes
- [1.19] Weismann, D. (1999), p. 104 et 105
- [1.20] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 20
- [1.21] Voir EN 752:2008, p. 107
- [1.22] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 23
- [1.23] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 10
- [1.24] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 21 et suivantes
- [1.25] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 24
- [1.26] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 24
- [1.27] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 24
- [1.28] Voir EN 752:2008, p. 107
- [1.29] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 7
- [1.30] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 15
- [1.31] Voir EN 752:2008, p. 112
- [1.32] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 18
- [1.33] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 30
- [1.34] Voir ATV-DVWK-A 134 (2000), p. 30
- [1.35] Voir Hahne, E. (2000), p. 395 et suivantes
- [1.36] Voir EN 752:2008, p. 103 et 104
- [1.37] Voir Hydraulic Institute, American National Standard for centrifugal and vertical pumps NPSH margin, ANSI/HI 9.6.1- 1998

## 2. Technique des machines et installation

### 2.1 Sélection de la géométrie de roue optimale

Pour le transport des eaux usées, il existe un très grand choix de types de roues que l'on ne retrouve dans aucune autre application des pompes centrifuges (voir fig. 2.1). Tous ces types de roue ont leur raison d'être.

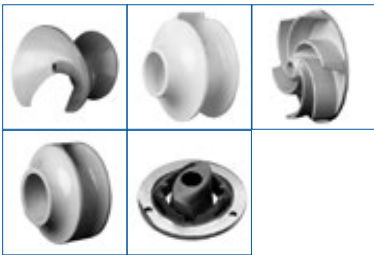


Fig. 2.1 : Types de roue

La sécurité d'utilisation constitue le principal critère de choix pour le type de roue. Par exemple, en Allemagne, la directive ATV (DVWK-A 134) exige un passage libre de 100 (76) mm. Le rendement de la pompe est un autre paramètre qui a gagné en importance au cours des dernières années.

En matière de sécurité d'utilisation, il convient de prendre en compte notamment :

- la teneur en gaz,
- la teneur en fibres longues,
- le diamètre des corps solides
- la teneur en matière sèche TMS

- la teneur en sable.  
Le tableau 2.1 reprend les valeurs approximatives prises pour base par KSB pour les fluides courants dans les applications des eaux usées.

Les limites des différents types de roues sont assez clairement définissables en ce qui concerne la teneur en gaz, sable et matière sèche, tandis que la teneur en fibres et autres particules est moins facilement quantifiable. En plus, la composition des eaux usées peut changer dans le temps. Le retour d'expériences de l'exploitant doit être pris en considération lors de la sélection.

Les limites d'utilisation des différents types de roue ressortent du tableau 2.2.

Les roues ouvertes et notamment la roue F sont adaptées aux teneurs élevées en gaz et aux teneurs relativement élevées en fibres. Pour les eaux dégrillées, en revanche, les roues K fermées sont recommandées pour leur rendement excellent. Pour les petites et moyennes tailles de pompes, seules les roues vortex et les roues monocanal conviennent en présence de gros solides car elles présentent le passage libre requis.

En ce qui concerne les roues fermées (avec flasque de roue), la sécurité d'utilisation n'est plus

garantie en présence de matières solides à fibres longues (textiles, produits de nettoyage et d'hygiène, végétaux) qui présentent un danger au niveau du bord d'attaque de l'aube et de la partie de la volute entre corps et flasque de roue côté aspiration.

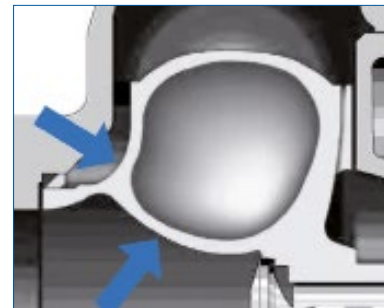


Fig. 2.2 : Zones menacées en présence de fibres

En raison du débit volumique de fuite passant dans le jeu entre la roue et le corps de pompe, cette zone est exposée à un risque de concentration de fibres (fig. 2.2) pouvant entraîner des dépôts incrustés (fig. 2.3). Ce risque est réduit par un jeu étroit dont la valeur reste constante grâce à des matériaux résistants à l'usure. Ceci présente par ailleurs l'avantage d'un rendement constant.



Fig. 2.3 : Dépôts incrustés

Tableau 2.1 : caractéristiques courantes des fluides dans le secteur des eaux usées

	Teneur en gaz vol%	Teneur en fibres	Taille des corps solides	TMS (%)	Teneur en sable (g/l)
Eaux pluviales et de surface	-	élevée	petite	-	0 - 3
Eaux usées					
- communales					
- domestiques	0 - 2	faible	faible	-	0 - 3
- artisanales	0 - 2	moyenne	moyenne	-	0 - 3
- industrielles	0 - 2	moyenne	moyenne	0 - 5	0 - 3
Eau sablonneuse	-	-	-	-	8 - 10
Boues					
- Boues activées	2 - 4	élevée	petite	1 - 2	-
- Boues primaires	2 - 4	élevée	petite	2 - 6	-
- Boues secondaires	2 - 4	élevée	petite	2 - 3,5	-
- Boues d'épaississeur	3 - 6	élevée	petite	2 - 5	0 - 2
- Boues stabilisées	-	élevée	petite	5 - 10	-
- Boues déshydratées	-	élevée	petite	20 - 30	-
- Boues séchées	-	élevée	petite	30 - 50	-

Tableau 2.2 : limites d'utilisation de différents types de roue

	Teneur en gaz	Teneur en fibres	Taille des corps solides	TMS (%)	Teneur en sable (g/l) *
Roue dilacératrice	-	faible	-	2	-
Roue vortex (roue F)	≤ 8	élevée	moyenne	< 8	≤ 10
Roue monocanal fermée (roue E)	≤ 2	faible	moyenne	≤ 6	≤ 6
Roue monocanal ouverte (roue D)	≤ 4	élevée	moyenne	≤ 13	≤ 4
Roue bicanaux fermée (roue K)	-	élevée	faible	≤ 3	≤ 4
Roue bicanaux ouverte	4	élevée	faible	6	≤ 6
Roue multicanaux (roue K)	-	sans	petite	≤ 5	≤ 6

\* sous condition d'un matériau approprié

Pour évaluer le rendement, il ne suffit pas de comparer le rendement optimum de différentes pompes. Il convient plutôt de considérer le rendement aux points de fonctionnement effectifs. De plus, la durée de fonctionnement probable d'une pompe doit être prise en considération pour l'évaluation de la consommation

d'énergie. Dans certaines applications, les pompes tournent plus de 4000 h par an tandis que les pompes pour l'assainissement sous pression des eaux usées domestiques ou les pompes de bassins d'orage ont souvent une durée de fonctionnement très inférieure à 100 h par an. Ainsi, à part le critère général de

sécurité de fonctionnement, les facteurs clé pour la sélection d'une pompe pour eaux usées diffèrent :

- pour les pompes en fonctionnement continu, c'est le rendement,
- pour l'assainissement sous pression, ce sont les frais d'investissement de la pompe qui jouent un rôle majeur.

## 2.2 Choix des matériaux en adéquation avec les applications

La fonte grise, en particulier le JL1040, est un matériau éprouvé pour les principales pièces des pompes submersibles en installation noyée utilisées pour le transport des eaux propres et usées communales.

Ce matériau présente plus d'un avantage.

La résistance chimique de la fonte grise dans les milieux neutres ou alcalins est aussi bonne que sa résistance à l'usure hydroabrasive. La peau de fonderie riche en carbone, oxydes de fer et oxyde de silicium présente une résistance remarquable à l'usure et à la corrosion. Par conséquent, les constructions modernes se contentent d'un minimum d'usinage pour conserver au maximum la peau de fonderie.

L'amortissement efficace des vibrations qui s'explique par le faible module d'élasticité du matériau est avantageux pour les éléments du corps et le pied d'assise. Par ailleurs, le prix au kilo relativement bas de la fonte permet au constructeur de réaliser une construction solide et sûre qui ne comporte aucun risque de désolidarisation de la pompe du pied d'assise en cas de pression élevée.

L'utilisation de la fonte grise pour la carcasse moteur offre l'avantage d'une meilleure conductivité thermique comparé à la tôle d'acier inox, par exemple. La fonte grise est donc le matériau de choix pour plus de 90 % des applications.

### Liquides pompés abrasifs

Pour l'utilisation de la pompe dans le dessableur ou dans des zones où les eaux pluviales

entraînent de grandes quantités de sable dans le réseau d'évacuation, il peut être nécessaire de prévoir une roue et, le cas échéant, un corps de pompe particulièrement résistant à l'abrasion. Pour ces cas, nous recommandons d'utiliser une fonte grise fortement alliée 0.9635. Lors d'un essai d'usure, la fonte JL1040 a présenté un taux d'abrasion linéaire de 20 fois supérieur à celui du matériau 0.9635.

Dans les dernières années, des corps de pompe revêtus ont été mis en œuvre avec un résultat convaincant. Il est important que la méthode de revêtement soit choisie en adéquation avec le matériau de revêtement. Celui-ci doit être sélectionné en fonction de la nature et de la concentration des matières solides contenues dans le liquide pompé.

Le revêtement des roues n'est pas recommandé en raison de sa longévité insuffisante.

### Pompes pour liquides pompés corrosifs

Les aciers duplex telles les nuances 1.4517 et 1.4593 ont largement fait leurs preuves face aux liquides corrosifs. Les aciers austénitiques purs comme le 1.4408 sont moins résistants à l'usure et présentent une tenue insuffisante à l'eau de mer.

Outre l'excellente résistance à la corrosion, les aciers duplex dont le rapport austénite/ferrite est de 1:1, possèdent de très bonnes propriétés mécaniques (solidité, allongement à la rupture) ainsi qu'une résistance acceptable à l'usure. Si une pompe utilisée pour l'eau de mer doit atteindre une grande durée de vie, le matériau doit avoir un indice PREN de 35 voire 38 (fig. 2.4).

Les revêtements utilisés comme moyen unique de protection contre les fluides corrosifs tels que l'eau de mer sont efficaces aussi longtemps que le revêtement est intact. En cas d'altération même minime du revêtement, la corrosion peut se propager librement en dessous du revêtement.

Un revêtement spécial combiné à

une protection cathodique au moyen d'anodes permet d'obtenir une résistance tout à fait remarquable. Dans des stations de pompage sur la Mer Rouge, cette solution est pratiquée depuis plus de 5 ans sur des pompes à corps en fonte JL1040 sans traces de corrosion apparentes. Cette technique est subordonnée à une maintenance efficace et l'installation de nouvelles anodes à intervalles réguliers (1 à 2 ans). Au moment de la mise en place de la pompe, il faut éviter toute liaison électriquement conductrice entre la pompe et des structures métal-

liques de grande surface comme des tuyauteries, grilles ou pièces similaires. Dans ce cas, l'anode s'userait prématurément du fait du rapport anode/cathode défavorable et la pompe ne serait plus protégée de manière satisfaisante.



Fig. 2.4 : KRT tout en acier duplex pour application eau de mer



### Bagues d'usure (roues K et E) / plaque d'usure (roues D)

Le débit volumique de fuite est déterminé par le jeu entre la bague d'usure du corps et la roue équipée ou non d'une bague d'usure. Le rendement de la pompe dépend dans une large mesure de ce débit volumique de fuite. Si la valeur du jeu reste constante, le rendement de la pompe l'est aussi en général. Si le jeu augmente par l'effet de l'usure, le rendement de la pompe décroît étant donné que le débit volumique utile diminue. En plus, un jeu élargi augmente le risque de formation de dépôts incrustés, comme décrit au paragraphe « Sélection de la géométrie de roue optimale ».

En cas d'utilisation de roues K, la teneur en matières solides dans le fluide est le plus souvent faible. Par conséquent, le matériau fonte JL1040 est en général suffisant pour la bague d'usure. En cas d'exigences plus sévères, il faut mettre en œuvre des matériaux ayant une résistance à l'usure plus élevée. Pour les roues K, KSB propose en option un acier moulé semi-austénitique au chrome-nickel (VG 434).

Le 1.4464 est un matériau comparable. Les bagues d'usure des

roues E peuvent même être réalisées en fonte grise fortement alliée (0.9635). Il en est de même pour les plaques d'usure des roues D. Là aussi, KSB propose la fonte grise fortement alliée 0.9635 en alternative à la fonte JL1040 dans l'objectif d'une meilleure résistance à l'usure. Pour les pièces en fonte JL1040, la méthode de durcissement du matériau sur plusieurs millimètres de profondeur est appliquée avec succès pour augmenter la résistance à l'usure des bords d'attaque et des surfaces fortement sollicitées des bagues d'usure et roues.

### Arbre

Le matériau d'arbre utilisé en standard par KSB est un acier au chrome ferritique (1.4021). Ce matériau présente une bonne solidité et une résistance à la corrosion satisfaisante pour plus de 90 % des applications. Pour les fluides très corrosifs comme l'eau de mer, il faut prévoir des aciers duplex à indice PREN suffisamment élevé. Pour les moteurs à 2 ou 4 pôles, cela peut signifier que, pour des raisons de magnétisation, l'arbre est réalisé par soudage par friction, la partie de l'arbre côté moteur étant ferritique.

### 2.3 Étanchéité d'arbre

Depuis plusieurs décennies, l'étanchéité au passage de l'arbre des pompes submersibles est généralement assurée par deux garnitures mécaniques montées en tandem (fig. 2.5).

L'espace entre les deux garnitures mécaniques doit être rempli à 85 à 90 % d'un liquide approprié. Le volume d'air restant dans la chambre intermédiaire empêche une montée de pression excessive lorsque la température augmente pour éviter que le grain fixe côté hydraulique ne soit chassé de son siège. Le liquide a pour seule fonction d'assurer pour les deux garnitures un film liquide entre les faces de friction du grain fixe et du grain mobile. Cette lubrification est indispensable pour réduire l'usure des faces de friction.

Les pompes submersibles à eaux usées sont toujours soumises au risque de dégazage du fluide dans le corps de pompe. Le gaz s'accumule systématiquement dans la zone de pression minimale, c'est-à-dire à la garniture mécanique. Sans lubrification, la garniture mécanique n'aurait qu'une durée de vie très limitée. Les grains fixe et mobile sont réalisés en standard en carbure de silicium / carbure de silicium (SiC/SiC). Ce matériau est très résistant aux matières solides, mais ses propriétés antigrippage sont assez mauvaises.

Les élastomères de la garniture mécanique sont en NBR ou FKM (Viton) vu que l'EPDM n'est pas compatible avec les hydrocarbures. Le PTFE est uniquement nécessaire pour les applications extrêmes.

La garniture mécanique est en général de type monoressort à soufflet (fig. 2.6a). Cette garniture à soufflet n'a pas seulement l'avantage d'un prix d'achat raisonnable. Le soufflet est capable de compenser complètement la flèche éventuelle de l'arbre engendrée par les forces radiales auxquelles la pompe est soumise, sans créer de mouvement relatif sur l'arbre. L'usure de l'arbre est donc évitée et le montage d'une chemise d'arbre sous garniture n'est pas nécessaire.

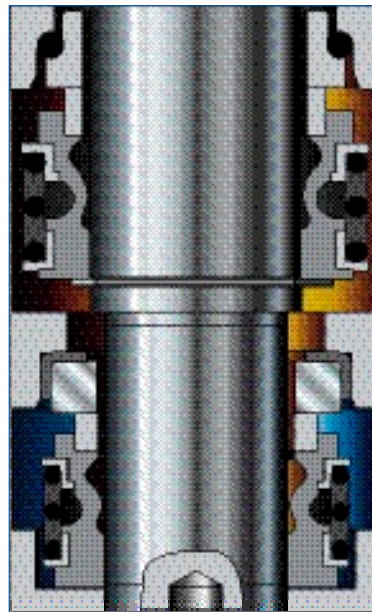


Fig. 2.5 : Montage type de garnitures mécaniques en tandem avec chambre d'huile

Pour les tailles de pompes à diamètre d'arbre supérieur à 100 mm, ces garnitures monoressort à soufflet ne sont pas pratiques car difficiles à monter. Pour ces tailles, nous recommandons les garnitures stationnaires compensées (fig. 2.6b). Dans les garnitures stationnaires, le grain installé dans le corps est pressé contre la partie tournante par des ressorts situés hors du fluide.

Si le liquide pompé contient des particules à arêtes coupantes (p. ex. liquides à copeaux dans les ateliers d'usinage) ou des substances à fibres longues, il faut prévoir des garnitures mécaniques avec ressorts protégés même pour les tailles de pompes plus petites.



Fig. 2.6a : Garniture mécanique à soufflet caoutchouc EagleBurgmann MG1



Fig. 2.6b : Garniture mécanique EagleBurgmann HJ



Fig. 2.7 : Garniture mécanique stationnaire compensée

KSB utilise pour la lubrification une huile légère biodégradable, non toxique. Un mélange eau-glycol est utilisé si le lubrifiant de la garniture mécanique doit servir en même temps de liquide de refroidissement du moteur.

## 2.4 Rotor et paliers

Il est évident que l'arbre et les paliers doivent être correctement dimensionnés pour résister aux contraintes survenant dans la plage de fonctionnement autorisée.

Une marche hors de la plage de fonctionnement définie peut endommager non seulement les garnitures mécaniques mais aussi les paliers et même l'arbre. Les différentes raisons qui amènent à limiter la plage de fonctionnement sont expliquées en détail au chapitre « Sélection générale des pompes ».

Les conditions de l'installation ne permettent pas toujours d'exclure le fonctionnement

d'une pompe vanne fermée. Ceci entraîne non seulement des contraintes élevées sur les paliers, mais aussi une importante flèche de l'arbre due aux forces agissant sur la roue. Cette flèche peut conduire à un frottement de la bague d'usure de la roue sur la bague d'usure du corps, avec pour conséquence un élargissement du jeu entre la roue et la bague d'usure du corps après un certain temps de fonctionnement.

Les paliers des pompes submersibles de la gamme Amarex KRT sont systématiquement dimensionnés pour une durée de vie théorique minimale de 25 000 h aux limites de fonctionnement  $Q_{\min}$  et  $Q_{\max}$ . Cela signifie en général une durée de vie nettement

supérieure des paliers aux points de fonctionnement typiques.

Les paliers sont systématiquement lubrifiés à la graisse. Des paliers graissés à vie sont, en général, utilisés pour les pompes de petite ou moyenne puissance (< 65 kW). Les pompes à de puissance supérieure doivent souvent être regraissées. Ces pompes sont dotées d'un dispositif de regraissage spécial. La qualité et la quantité requises de la graisse ainsi que les intervalles de maintenance sont indiqués dans la notice de service de la pompe.

## 2.5 Installation

Il existe trois variantes d'installation courantes pour les pompes submersibles :

- l'installation transportable (fig. 2.8),
- l'installation noyée stationnaire (fig. 2.9)
- l'installation verticale en fosse sèche (fig. 2.10).

Dans le cas de l'installation transportable, la pompe doit être installée en position stable dans la bêche de pompage. Un dispositif de levage adéquat doit être disponible pour pouvoir retirer les pompes de la bêche.

Dans le cas de l'installation noyée stationnaire, la pompe est installée sur un pied d'assise ancré sur le radier. Le pied d'assise doit être adapté aux

contraintes exercées par la pompe à installer et aux dimensions de raccordement de la griffe montée sur la bride de refoulement de la pompe. Les dimensions de raccordement ne sont pas standardisées. Les pompes lourdes nécessitent des rails de fondation pour l'ancrage dans le béton. Le pied d'assise ou les rails de fondation sont fixés au moyen de chevilles chimiques homologuées dans un massif en béton à solidité suffisante (au moins classe C25/30 selon EN 206-1) (fig. 2.11 a+b). Il faut prendre garde à assurer une distance suffisante entre l'orifice d'aspiration de la pompe et le

fond du bassin. Pour les détails, voir le chapitre « Conception de l'ouvrage ». Avant de pouvoir installer la pompe, il faut monter la tuyauterie de refoulement complète et installer le dispositif de guidage de la pompe. Pour les détails sur la réalisation de la tuyauterie, voir également le chapitre « Conception de l'ouvrage ». Pour le dispositif de guidage, deux systèmes différents sont disponibles : le guidage par câble et le guidage par barre (fig. 2.12 a+b + 2.13). Le comparatif de ces deux dispositifs (tableau 2.3) révèle les nombreux avantages du guidage par câble.

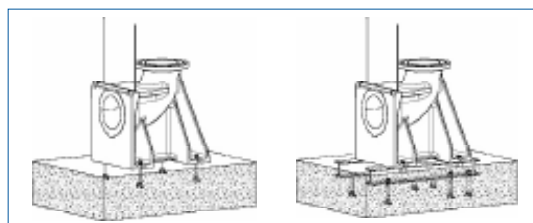


Fig. 2.11a+b :  
Fixation du pied  
d'assise et des rails  
de fondation



Fig. 2.8 : Pompe à eaux usées en installation transportable



Fig. 2.9 : Pompe à eaux usées en installation noyée stationnaire



Fig. 2.10 : Pompe à eaux usées en installation verticale en fosse sèche

C'est pourquoi KSB préfère le guidage par câble qui constitue notre solution standard. Le guidage par barre est proposé en alternative.

Les fixations supérieures du dispositif de guidage sont vissées avec des chevilles chimiques sur une dalle ou un mur en béton.

Le guidage par câble nécessite des éléments de maintien d'espacement en cas de grande profondeur d'installation. Pour le guidage par barre, nous recommandons de prévoir tous les 6 m des consoles intermédiaires fixées directement sur la paroi de la bache de pompage ou, lorsque

les caractéristiques de cette dernière le permettent, sur la tuyauterie de refoulement avec des colliers adaptés.

L'installation en fosse sèche équivaut à l'installation d'une pompe de surface et n'est pas traitée dans ce document.

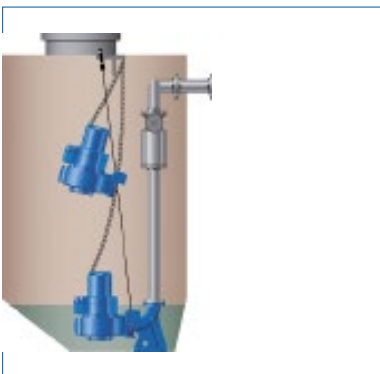


Fig. 2.12a : Guidage par câble



Fig. 2.12b : Guidage par câble



Fig. 2.13 : Guidage par barre

**Tableau 2.3 : Comparatif entre les dispositifs de guidage par câble et par barre**

Guidage par câble	Guidage par barre
Transport facile sans problème	Transport difficile des barres
Montage rapide et économique	Pas de flexibilité en cas d'écart par rapport aux dimensions de l'ouvrage
Compensation des tolérances dimensionnelles de l'ouvrage sans frais supplémentaires	Frais élevés en cas de grande profondeur d'installation
Installation possible en position inclinée jusqu'à + 5°	Problèmes de corrosion des barres de guidage
Adaptation flexible et sûre à différentes profondeurs d'installation jusqu'à 85 m	Coût élevé des barres résistant à la corrosion
Guidage par câble en acier inoxydable 1.4401 (316)	Problèmes d'étanchéité au niveau du pied d'assise (contact métal sur métal ou cisaillement du joint en élastomère)
Le câble de guidage est inclus dans la fourniture KSB	Accès aux robinets barré par les barres rigides
Problèmes d'encrassement en cas de courants puissants dans la bache de pompage et dans les bassins à boues flottantes	Moins sensible à l'encrassement par fibres

### 3. Description générale du moteur

Le moteur de la KRT est un moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit, étanche sous pression d'eau, qui a été spécialement développé et dimensionné pour les pompes submersibles (fig. 3.1 et fig. 3.2). Il est disponible au choix sans protection contre l'explosion ou avec protection contre l'explosion à enveloppe antidéflagrante. La pompe et le moteur sont équipés d'un arbre commun, formant ainsi une

unité indissociable. Il n'existe pas de norme électrique pour les moteurs de pompe spéciaux décrits ci-dessus. Mais ils sont conformes à la norme EN 60034 dans la mesure où celle-ci est applicable.

Les pompes submersibles KSB sont des groupes monobloc non auto-amorçants qui sont en général complètement noyés dans le liquide en fonctionnement. Un fonctionnement temporaire avec moteur dénoyé est possible. La température du moteur est surveillée par une sonde de température intégrée au

moteur. Le niveau de liquide minimum indiqué dans la notice de service doit être respecté dans tous les cas.

Pour les applications exigeant un fonctionnement permanent de la pompe partiellement dénoyée, il existe une variante de moteur avec enveloppe de refroidissement qui assure un refroidissement suffisant du moteur pour tout niveau de liquide dans la bêche de pompage supérieur au niveau minimum indiqué dans la notice de service.

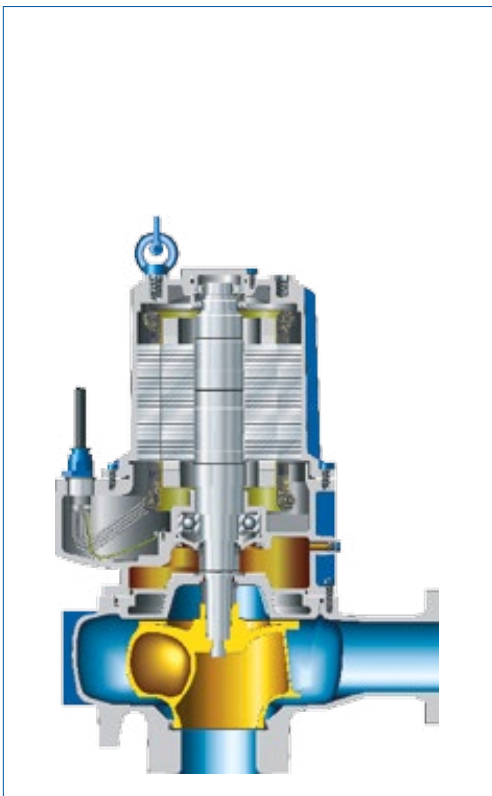


Fig. 3.1 : Plan en coupe d'une KRT 4 à 60 kW

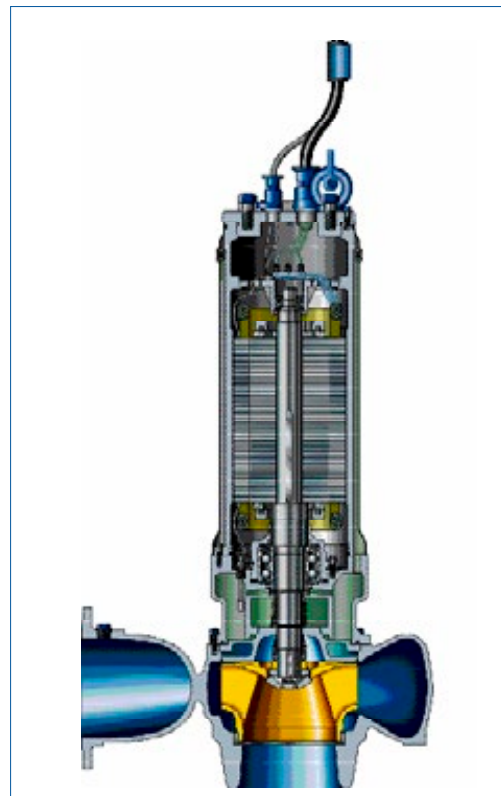


Fig. 3.2 : Plan en coupe d'une KRT > 60 kW

### 3.1

#### Tailles de moteur

Puissances nominales standard (dépendant du nombre de pôles) :	4 à 480 kW
	puissances supérieures jusqu'à 880 kW
Nombres de pôles standard (dépendant de la puissance) :	2 à 10 pôles
Tensions nominales standard :	400/690 V, 50 Hz
	460 V, 60 Hz

- Remarques :
1. En 60 Hz, tensions nominales réalisables entre 200 et 575 V.
  2. Pour des puissances nominales supérieures et tensions nominales différentes (y compris haute tension), nous consulter.
  3. La taille de moteur est renseignée dans les fiches de spécification du moteur (élément constitutif de la documentation du projet ou disponible sur demande).

### 3.2

#### Forme de construction

Les moteurs KRT sont similaires à la forme de construction IM V10 (suivant EN 60 034-7).

#### Installation du moteur

Le moteur, qui forme un groupe monobloc avec la pompe, est installé directement dans la bêche de pompage et immergé dans le liquide en fonctionnement. Il peut temporairement fonctionner en dénoyé à condition de surveiller sa température au moyen d'une sonde de température incorporée au moteur. Le niveau de liquide minimum défini dans la notice de service doit toujours être respecté. Pour les grosses pompes submersibles, le niveau minimum du liquide dépend en général de paramètres hydrauliques (p. ex. vortex aérés, NPSH).

Température du liquide pompé :  
40°C max. en standard

Une variante pour eau chaude est disponible pour les températures supérieures à 40°C et inférieures à 60°C. Pour des températures supérieures à 60°C, consulter KSB.

#### Tailles

Les tailles standard des moteurs normalisés IEC 72 ne sont pas applicables aux groupes submersibles à moteur intégré.

Cependant, les découpes de tôle des moteurs correspondent aux dimensions ou tailles courantes, dites dimensions IEC.

#### Profondeur d'immersion

Jusqu'à une profondeur d'immersion de 30 m, les pompes submersibles KRT peuvent fonctionner sans précaution spéciale.

### 3.3

#### Mode de fonctionnement

Les moteurs KRT sans système de refroidissement (mode d'installation -S) sont conçus pour un service continu S1 (suivant EN 60034-1) à condition d'être complètement immergés. Lorsqu'ils sont partiellement émergés, le disjoncteur à bilame intégré dans le bobinage assure un service S3 en cas de marche à sec.

Les moteurs KRT avec système de refroidissement (modes d'installation -K, -D) sont conçus pour un service continu S1 (suivant EN 60034-1) pour tout niveau de liquide dans la bêche de pompage supérieur au niveau minimum indiqué dans la notice de service

### 3.4

#### Classe de protection

Le moteur KRT correspond à la classe de protection IP 68 suivant EN 60 034-5. Le groupe complet est réalisé en IP 68 suivant EN 60 529.

### 3.5

#### Protection antidéflagrante et classes de température

Les moteurs Amarex KRT protégés contre l'explosion sont de type Ex II2G Ex d IIB T3 et, pour certains, T4 suivant EN 60079-0 / EN 60079-1. Ils

sont adaptés à l'utilisation en zone 1. Dans la désignation du moteur, la lettre X correspond à T3 et la lettre Y à T4.

### 3.6

#### Caractéristiques électriques nominales

##### Puissance

Le respect d'une tolérance de  $\pm 5\%$  pour la tension d'alimentation et de  $\pm 2\%$  pour la fréquence de réseau selon la zone A de la norme EN 60 034-1 est recommandé dans l'objectif d'assurer aux moteurs une longue durée de vie.

Par ailleurs, la puissance fournie par les moteurs Amarex KRT complètement immergés n'est soumise à aucune restriction à condition de ne pas dépasser les tolérances max. suivantes par rapport aux valeurs nominales :

- tension d'alimentation de  $\pm 10\%$
- fréquence réseau de  $\pm 2\%$

##### Tension et fréquence

Conformément à l'EN 60034-1 paragraphe 12.3, les moteurs KRT sont pleinement opérationnels lorsque la variation de la tension d'alimentation est limitée à  $\pm 10\%$  et la fréquence réseau à  $-5\%$  /  $+3\%$  par rapport aux valeurs nominales selon la zone B de la norme EN 60 034-1.

##### Intensité et intensité de démarrage

Suivant la taille de moteur,

l'intensité de démarrage correspond à 4 à 9 fois l'intensité nominale à la tension nominale aux bornes du moteur. Pour les valeurs d'intensité de démarrage individuelles, voir le catalogue moteur ou la documentation du projet.

##### Conditions de démarrage et de montée en vitesse

Le démarrage étoile-triangle ou le démarrage direct est possible pour les moteurs KRT. Pour cela, les extrémités d'enroulement sont réalisées en standard en couplage ouvert. Au cas où la valeur du rapport intensité de démarrage / intensité nominale est restreinte par l'exploitant, KSB peut fournir des courbes de démarrage moteur calculées (courbes M-n) pour la sélection, le dimensionnement et le paramétrage d'un coffret de démarrage progressif ou d'un auto-transformateur de démarrage, en alternative au démarrage étoile-triangle à tension d'alimentation 400 V.

En cas d'utilisation d'un coffret de démarrage progressif, il convient de respecter les normes de compatibilité électromagnétique EN 50081 et EN 50082. Les indications du fabricant et les caractéristiques électriques du moteur, notamment l'intensité nominale, doivent être prises en compte pour la sélection du coffret de démarrage progressif.



**Temps de démarrage**

Le temps de démarrage des pompes submersibles Amarex KRT est inférieur à 1,5 s en cas de démarrage direct à la tension nominale.

**Temps de blocage admissible**

Le temps de blocage admissible à la tension nominale est de :  
 $\leq 25$  s en démarrage à froid  
 $\leq 5$  s en démarrage à chaud

**Couples**

L'indication du moment d'inertie et des couples de démarrage et de décrochage du moteur n'est pas nécessaire vu que les pompes submersibles sont des groupes complets. Pour le réglage optimal de coffrets de démarrage progressif, les courbes correspondantes sont disponibles sur demande.

**Couplage**

Indépendamment du couplage choisi, les six extrémités d'enroulement des moteurs KRT sont raccordées à des câbles débouchant à l'extérieur. Ceux-ci permettent le couplage en triangle (p. ex. 400 V / 50 Hz ou 460 V / 60 Hz) ou en étoile (p. ex. 690 V / 50 Hz) en fonction de la tension. Les schémas électriques des moteurs sont compris dans la documentation du projet ou peuvent être obtenus sur demande.

Puissance moteur	Nombre max. de cycles
Jusqu'à 7,5 kW	30/h
Supérieure à 7,5 kW	10/h

**Fréquence de démarrages**

Un nombre défini de démarrages par heure ne doit pas être dépassé pour éviter une sollicitation thermique excessive du rotor, des contraintes mécaniques inadmissibles sur les paliers et la surcharge électrique de l'isolation du bobinage (voir tab. 3.1). La corrélation entre le débit et le volume de la bache de pompage doit être prise en compte. Par ailleurs, il est recommandé de limiter le nombre des démarrages par an à 5000 au maximum.

**Sens de rotation**

Le sens de rotation est correct lorsque l'on voit tourner l'arbre dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre en regardant le bout d'arbre nu.

Le contrôle du sens de rotation est vivement recommandé avant la mise en place de la pompe (voir la notice de service).

**Caractéristiques individuelles du moteur**

Les caractéristiques individuelles du moteur telles que les rendements en fonction de la charge, le facteur de puissance, l'intensité nominale, etc. peuvent être fournies sur demande sous la forme de fiches de spécification moteur comprenant les courbes de charge ou sont comprises dans la documentation du projet.

**Plaque signalétique**

La fig. 3.3 présente la plaque signalétique du groupe submersible complet.



Fig. 3.3 : Plaque signalétique

### 3.7

#### Fonctionnement du moteur KRT avec variateur de fréquence

En ce qui concerne le fonctionnement du moteur KRT avec variateur de fréquence, il convient de respecter les instructions de KSB pour le fonctionnement de pompes submersibles avec variateur de fréquence ou la littérature technique correspondante de l'association EUROPUMP.

Les moteurs KRT sont adaptés au fonctionnement avec variateur de fréquence. Tout variateur de fréquence du commerce à transistor IGBT à et circuit intermédiaire de tension peut être utilisé. Pour les pompes protégées contre l'explosion, le choix du constructeur n'est pas non plus restreint. L'isolation du moteur est adaptée à des impulsions de tension jusqu'à 1600 V. Des impulsions de tension supérieures sont fréquentes pour des valeurs de tensions nominales supérieures à 500 V. Il faut alors équiper le variateur de fréquence d'un filtre dU/dt ou utiliser un moteur avec isolation spéciale (disponible sur demande).

KSB recommande de prévoir une réserve de puissance supplémentaire de 5% pour minimiser les risques entraînés par la libre combinaison de variateurs et moteurs. Cette réserve compense

de manière sûre les pertes accrues dues aux harmoniques dans la tension de sortie du variateur de fréquence.

#### 3.7.1

##### Dimensionnement des variateurs de fréquence

Les indications du fabricant et les caractéristiques électriques du moteur doivent être prises en compte pour la sélection du variateur de fréquence. Dans ce contexte, l'intensité nominale du moteur est plus importante pour le dimensionnement du variateur que la puissance nominale, notamment pour les moteurs à nombre de pôles élevé et bas cos phi.

#### 3.7.2

##### Moteurs protégés contre l'explosion

Les conditions suivantes sont à respecter pour le fonctionnement de moteur KRT protégés contre l'explosion avec variateur de fréquence :

- Les points de fonctionnement permanents doivent être situés dans la plage comprise entre 50 et 100% de la fréquence nominale. Le fonctionnement à une fréquence supérieure à la fréquence nominale est exclu selon les certificats d'homologation existants.
- La limitation du courant du variateur de fréquence doit être réglée au maximum à  $3 \times I_N$ .

- Le relais de déclenchement PTC doit être doté de la marque d'homologation PTB 3.53 - PTC/A.

### 3.8

#### Conception du moteur

Le moteur du groupe submersible KRT est un moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit, étanche sous pression d'eau, qui a été spécialement développé et dimensionné pour les pompes submersibles. La pompe et le moteur sont équipés d'un arbre commun, formant ainsi une unité indissociable.

##### Stator

Le stator du moteur KRT est constitué d'un empilage de tôles statoriques dans lequel est inséré un bobinage triphasé en fil de cuivre. Les fils émaillés et les isolants de qualité supérieure (dans l'encoche et la tête de bobine) ainsi que l'imprégnation à la résine polyester assurent une résistance mécanique et électrique élevée.

##### Isolants et classe d'isolation

Seuls des produits éprouvés de marque connue sont utilisés pour le dispositif d'isolation du moteur. Tous les isolants correspondent à la classe d'isolation H. Différentes techniques sont mises en oeuvre pour le frettage des têtes de bobines.

En fonctionnement nominal, les températures du bobinage correspondent à celles de la classe d'isolation F.

#### **Rotor**

Le rotor est un rotor à court-circuit dont la cage intégrée aux tôles rotoriques est réalisée, en fonction de la taille du moteur, en aluminium coulé sous pression ou à partir de barres et d'anneaux de cuivre assemblés par brasage.

#### **Paliers**

Pour le côté entraînement et le côté opposé à l'entraînement, des roulements graissés à vie sont utilisés jusqu'à la taille de hauteur d'axe 280 et des roulements avec dispositif de regraissage à partir de la taille de hauteur d'axe 315. Les graisses mises en œuvre sont des graisses haute température à base de savon de lithium. La qualité des graisses est définie dans la notice de service.

### **3.9**

#### **Refroidissement**

L'air est le réfrigérant primaire dans les moteurs. Il circule en circuit fermé à l'intérieur du moteur par l'effet des ailettes de refroidissement montées sur les deux anneaux en court-circuit du rotor. À travers la carcasse, il transmet la chaleur dégagée par le moteur à l'eau, le réfrigérant secondaire. Code suivant EN 60034-6 : IC 4A1W8.

### **3.10**

#### **Dispositifs de surveillance**

##### **Protection contre les surintensités**

Le moteur doit être protégé contre les surcharges par un relais de surintensité à temporisation thermique suivant IEC 947 (fig. 3.5). Le relais doit être réglé à l'intensité nominale du moteur indiquée sur la plaque signalétique (voir paragraphe « Plaque signalétique », la documentation du projet, ou nous consulter).

##### **Dispositif de réchauffage**

Les moteurs des pompes submersibles KRT ne nécessitent aucun dispositif de réchauffage (voir paragraphe « Détection d'humidité dans le moteur »). La condensation à l'intérieur du moteur est exclue vu que celui-ci est étanche à la pression d'eau. Toute humidité d'air résiduelle éventuelle du montage est absorbée par des sachets déshydratants de gel de silice.

##### **Capteurs intégrés au groupe motopompe**

##### **Surveillance de la température du bobinage de pompes non protégées contre l'explosion (variantes d'installation noyée S et P)**

Le bobinage du moteur KRT est protégé par un circuit de surveillance thermique. Selon la taille du moteur, la température est contrôlée par deux interrupteurs à bilame en série

ou trois thermistances (PTC) en série qui arrêtent la pompe lorsque la température maximale du bobinage est atteinte et la remettent en marche automatiquement après le refroidissement. Pour cela, les bilames ou PTC doivent être raccordés directement au circuit de commande du contacteur du moteur.

##### **Surveillance de la température du bobinage de pompes protégées contre l'explosion (variantes d'installation noyée S et P)**

Le moteur KRT protégé contre l'explosion doit être surveillé par deux circuits de surveillance de température indépendants, intégrés dans le bobinage.

- La température du moteur est contrôlée par deux interrupteurs à bilame en série qui arrêtent la pompe lorsque la température maximale du bobinage est atteinte et la remettent en marche automatiquement après le refroidissement. Les disjoncteurs à bilame protègent le moteur contre la surcharge et la marche à sec.
- Trois thermistances PTC en série ayant une température de coupure supérieure de 20 Kelvin sont intégrées en plus. Celles-ci arrêtent la pompe en cas de défaillance éventuelle des bilames avant que la température limite définie pour la protection contre l'explosion à la surface de la carcasse moteur ne soit dépassée.

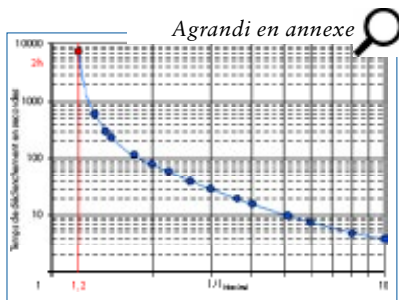


Fig. 3.5 : Courbe de déclenchement pour relais de surintensité à temporisation thermique classe 10 suivant EN 60947-6-2

Les thermistances PTC doivent impérativement être raccordées et leur bon fonctionnement doit être assuré pour les pompes KRT protégées contre l'explosion. Une remise en route automatique n'est pas autorisée. Pour cela, il faut raccorder un appareil de déclenchement à réarmement manuel du commerce au circuit de commande du contacteur de moteur.

**La surveillance de la température du bobinage des pompes submersibles pouvant fonctionner en dénoyé (modes d'installation K et D) est assurée uniquement par des thermistances PTC.**

#### Détection d'humidité dans le moteur

Une sonde conductive incorporée assure la détection d'humidité dans le compartiment moteur. En cas de pénétration d'humidité, un courant de défaut traverse cette sonde avant de passer à la masse de la carcasse (conducteur de terre). L'analyse des signaux de la sonde peut être

assurée par des relais à électrodes du commerce qui déclenchent une alarme lorsque la résistance d'électrode descend en dessous de 6 kΩ.

#### Surveillance de la température des paliers

La surveillance de la température des paliers moteur est possible en fonction de la taille du moteur :

- Puissance moteur > 30 kW : palier butée côté pompe en option
- Puissance moteur > 60 kW : palier butée côté pompe en standard, palier mobile côté moteur en option.

Chaque palier est protégé par un circuit de surveillance thermique (tab. 3.2). La température est contrôlée par des sondes de température Pt100 incorporées au corps de palier et dont la résistance varie proportionnellement à la température.

Formule pour le calcul :

$$R = 100 \, \Omega \cdot \left( 1 + 0.00383 \cdot \frac{T}{^{\circ}\text{C}} \right) \quad (17)$$

#### Surveillance de la garniture mécanique

La surveillance de la garniture mécanique est fournie en standard pour les puissances moteur supérieures à 60 kW.

Elle est assurée par un interrupteur à flotteur incorporé (contact NF). Le contact de celui-ci s'ouvre en cas de pénétration d'eau dans la chambre de fuite suite à une défaillance des garnitures mécaniques. Ceci peut entraîner un signal d'alarme ou l'arrêt du moteur. Le contact NF peut être soumis au maximum à 250 V CA/ 1,5 A.

#### Surveillance de la vitesse de vibration

Les moteurs de puissance supérieure à 60 kW peuvent être équipés en option d'un capteur de surveillance de la vitesse de vibration effective sur le palier supérieur. Le capteur fournit un signal de mesure analogique 4-20 mA. Une tension de 15 à 32 VCC est nécessaire pour l'alimentation du capteur.

Les valeurs limites reprises au tableau 3.3 sont applicables aux pompes submersibles KSB équipées d'une roue multicanaux (roue K).

Pour les pompes submersibles avec roue monocanal (roue E), des vitesses de vibration supérieures jusqu'à 17 mm/s peuvent survenir dû à un déséquilibre hydraulique dépendant du point de fonctionnement. Les pompes avec ce dispositif sont systématiquement équipées d'un câble de commande blindé.

**Tableau 3.2 : Surveillance de la température des paliers**

20°C	107.7 $\Omega$	Test
110°C	142.1 $\Omega$	Avertissement
130°C	149.8 $\Omega$	Arrêt
<b>Lubrifiant spécial</b>		
130°C	149.8 $\Omega$	Avertissement
150°C	157.0 $\Omega$	Arrêt

**Tableau 3.3 : Valeurs limites de la vitesse de vibration valables pour les pompes submersibles avec roue multicanaux**

$V_{\text{eff}}$	$V_{\text{eff}}$	$V_{\text{crête}}$	Courant de sortie	Commentaire
mm/s	pouce/s	inch/s	mA	
0	0,00	0,00	4,0	Capteur min.
9	0,35	0,50	11,2	Préférable de réduire
11	0,43	0,61	12,8	Alarme
14	0,55	0,78	15,2	Arrêt
20	0,79	1,11	20,0	Capteur max.

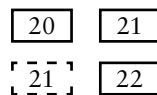
(voir aussi EUROPUMP-Leitfaden / Schwingungen bei Kreiselpumpen [Guide EUROPUMP / Vibrations de pompes centrifuges] tableau A.1 / installation élastique, verticale)

3.11

Raccordement et description des dispositifs de surveillance

Surveillance thermique du moteur

Description synoptique des capteurs



Interrupteur à bilame

- Contact miniature sensible à la température
- Collé dans le bobinage
- Contact NF libre de potentiel, 250 V ~, 2 A

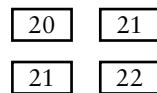
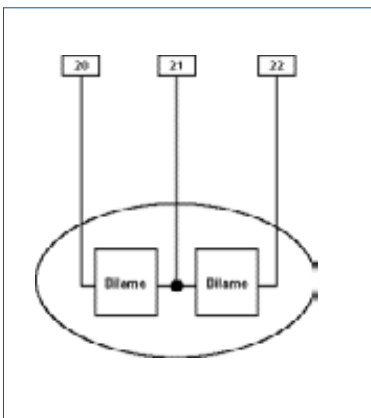
Fermé                    température correcte  
Ouvrt                    température trop élevée

Thermistance PTC

- Résistance semi-conductrice variable avec la température à coefficient de température positif
- Collée dans le bobinage
- Tension max. 30 V

R < 1250 Ω            température correcte  
R > 4000 Ω            température trop élevée

Raccordement pour puissance moteur jusqu'à 4 kW  
(uniquement pompes submersibles de type Amarex N)



Variante moteur U / W

Raccordement direct au circuit de commande

Non requis, à raccorder à borne non alimentée

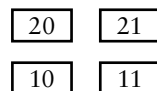
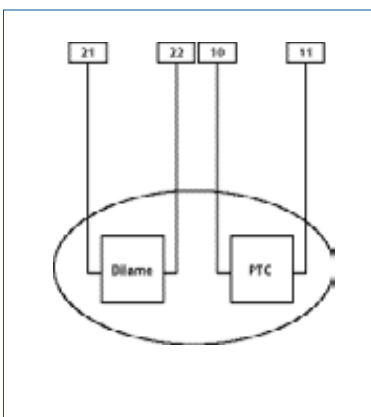
Variante moteur Y

Atex

Raccordement direct au circuit de commande

Raccordement à un relais de déclenchement PTC à réarmement manuel

Capteurs pour puissance supérieure à 4 kW  
(variantes d'installation S et P)



Variante moteur U / W / UN / WN

Raccordement direct au circuit de commande

Non requis, à raccorder à borne inoccupée

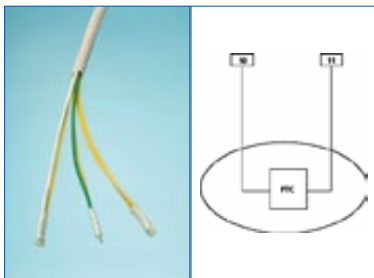
Variante moteur X / Y / XN

Atex

Raccordement direct au circuit de commande

Raccordement à un relais de déclenchement PTC à réarmement manuel

Raccordement pour puissance moteur > 30 kW  
(variantes d'installation K et D)



10 11

**Variante moteur UN**

Raccordement à un relais de déclenchement PTC à réarmement manuel

**Variante moteur XN**

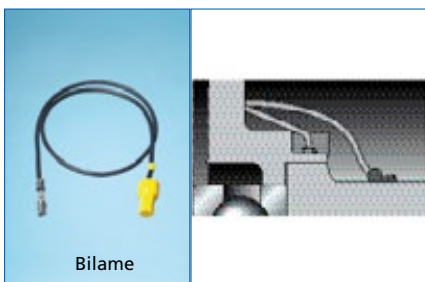
Atex

Raccordement à un relais de déclenchement PTC à réarmement manuel

10 11

**Surveillance par électrode de détection d'humidité (dans le compartiment moteur)**

Description synoptique des capteurs



9 MP

**Détecteur de fuite**

Sonde conductive

Vissée sur le support de palier inférieur

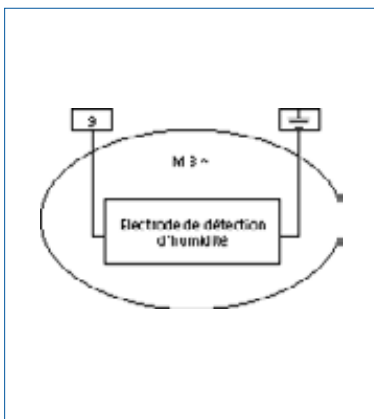
Pour moteurs > 65 kW, sonde supplémentaire sur le support de palier supérieur

Le capteur doit être alimenté en tension alternative pour éviter la formation de couches isolantes.

Tension max. 250 V

Le déclenchement doit se produire à une résistance à la terre d'environ 6 kΩ.

Raccordement pour tous types de moteur



9 MP

**Variante moteur U / X / Y / W / UN / XN / WN**

ATEX et non ATEX

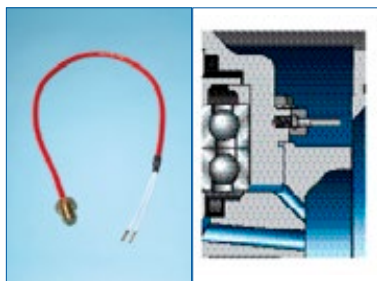
Raccordement à un relais à électrode avec les caractéristiques suivantes :

Alimentation du capteur 10 - 30 V~

Courant de déclenchement 0,5 - 3 mA

### Surveillance thermique des paliers

Description synoptique des capteurs



15 16

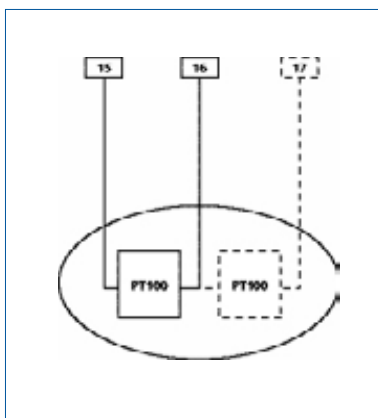
16 17

Pt100 – roulement à billes  
 Thermomètre à résistance Pt 100  
 Filetage M8 dans le corps de palier  
 Signal de température analogique continu  
 Tension max. 6 V

Palier inférieur

Palier supérieur (moteurs > 65 kW – en option)

Raccordement pour puissance  
 moteur > 30 kW



15 16

16 17

Variante moteur U / X / Y / W  
 ATEX / non ATEX

Raccordement à un relais de commutation Pt100  
 avec les caractéristiques suivantes :

Température d'avertissement : 110°C  
 Température d'arrêt : 130°C

Variante moteur UN / XN / WN  
 ATEX / non ATEX

Raccordement à un relais de commutation Pt100  
 avec les caractéristiques suivantes :

Température d'avertissement : 110°C  
 Température d'arrêt : 130°C



**Surveillance de la garniture mécanique par interrupteur à flotteur**

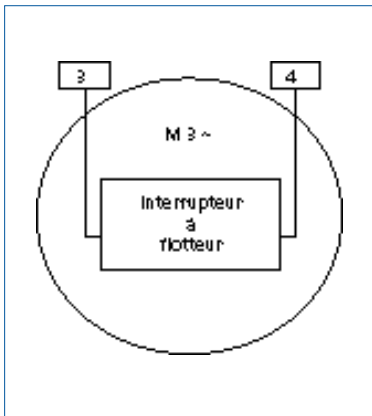
Description synoptique des capteurs



3 4

Contact NF libre de potentiel, 250 V ~, 2 A  
 Fermé chambre de fuite vide  
 Ouvert fuites, contrôler la garniture mécanique

Raccordement pour tous types de moteur



3 4

**Variantes moteur U / X / Y / W / UN / XN / WN**  
 ATEX et non ATEX  
 Raccordement pour alarme ou arrêt

### 3.12 Câbles de puissance et de commande avec passage de câble

Les pompes submersibles Amarex KRT sont livrées équipées de câbles souples pour l'utilisation dans les eaux usées. Le raccordement des câbles s'effectue par l'intermédiaire de passages de câble spéciaux raccordés à l'intérieur du moteur de la manière suivante :

- puissance moteur < 60 kW : avec connecteur ou raccord par sertissage
- puissance moteur > 60 kW : avec plaque de connectique et cosses.

#### Passage de câble

Les passages de câble sont absolument étanches à l'eau sous pression jusqu'à une profondeur de 30 m et dotés d'une sécurité multiple (voir fig. 3.7) :

1. Presse-étoupe long en caoutchouc
2. Gaine de câble noyée dans la résine
3. Fils individuels dénudés, étamés et noyés dans la résine

Les câbles de puissance et de commande résistent aux eaux usées et sont particulièrement solides sur le plan mécanique. Les types de câbles suivants peuvent être mis en œuvre en

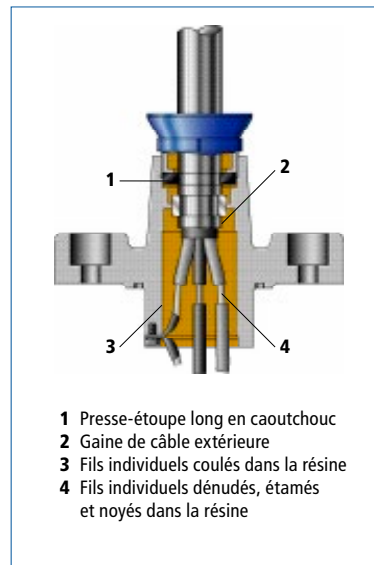


Fig. 3.7 : Passage de câble d'une pompe KRT

fonction des conditions d'utilisation :

- S1BN8-F : en standard
- S07RC4N8-F : câble blindé en option
- Tefzel® avec gaine en ETFE : en option pour fluides chimiquement agressifs

Nombre et section des conducteurs : voir la documentation du projet, la fiche de spécification du moteur ou consulter KSB.

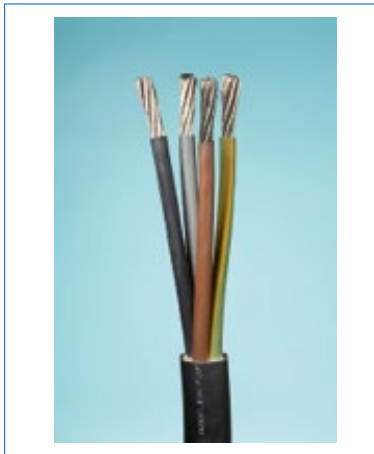
Avantage :

Grande durée de vie du moteur grâce à l'étanchéité absolue (voir paragraphe « Étanchéité d'arbre »). Seuls des câbles d'alimentation souples de qualité supérieure adaptés à l'utilisation sous l'eau sont utilisés pour

assurer la sécurité de fonctionnement et la longévité des pompes submersibles. Pour cela, KSB a optimisé des câbles d'alimentation pour eaux usées en coopération avec un fabricant de câbles reconnu.

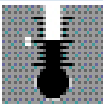
## 3.13

## Câbles d'alimentation



90°C

200°C



## Caractéristiques techniques

Conducteurs en cuivre à fils fins, classe 5 suivant DIN VDE 0295 (IEC 60228)

Isolation EPR

Gaine intérieure en caoutchouc

Gaine extérieure spéciale en caoutchouc synthétique

Couleur : noir

Température des conducteurs admissible en continu

Température admissible des conducteurs en cas de court-circuit (5 s max.)

Comportement au feu suivant EN 50265-2-1

Résistance aux rayons ultraviolets, aux intempéries et à l'ozone

Résistance à l'huile suivant DIN VDE 0473-811-2-1, partie 10 (EN 60811-2-1)

Flexible

Température de mise en place et de transport : -25 à +80°C

0,6/1 kV : avec conducteur vert/jaune

Utilisation dans l'eau/ Pas d'utilisation en eau potable

## Description brève

Les câbles sous gaine caoutchouc OZOFLEX (PLUS) S1BN8-F ont été développés pour les pompes KSB standard et protégées contre l'explosion. Ils sont destinés au raccordement mobile des pompes submersibles KSB jusqu'à une section de 50 mm<sup>2</sup>.

En raison de la composition différente et variable des eaux usées, les câbles ne peuvent être utilisés que dans des zones facilement accessibles et contrôlables.

Pour les eaux agressives ou les eaux ayant une composition spéciale, la résistance du câble doit être vérifiée au cas par cas.

Les câbles peuvent être utilisés à l'intérieur et à l'extérieur, en zone à risque d'explosion, dans les établissements à risque d'incendie, dans l'industrie, l'artisanat et l'agriculture.

Par ailleurs, les définitions générales de la norme DIN VDE 0298-300 (CENELEC HD 516 S2) s'appliquent.

Structure basée sur la norme DIN VDE 0828-16 (IEC 60849)

N° d'enregistrement VDE 7586

## 3.14

## Câble Tefzel®

(TEHSITE)



135°C

270°C



## Caractéristiques techniques

Conducteurs en cuivre à fils fins, classe 5 suivant DIN VDE 0295 ( IEC 60228)

Isolation TE400

Gaine intérieure en silicone

Gaine extérieure TE400

Couleur : noir

Température des conducteurs admissible en continu

Température admissible des conducteurs en cas de court-circuit (5 s max.)

Comportement au feu suivant EN 50265-2-1

Résistance aux rayons ultraviolets, aux intempéries et à l'ozone

Résistance à l'huile / résistance chimique générale

Flexible

450/750 V : avec conducteur vert/jaune

Utilisation dans l'eau/ Pas d'utilisation en eau potable

## Description brève

Les câbles TEHSITE (TEFZEL®) sont résistants à la chaleur et aux produits chimiques. Ils conviennent pour le raccordement mobile des pompes submersibles KSB pour les applications à température du liquide ou de l'ambiance supérieure à 60°C ou exigeant une résistance chimique élevée.

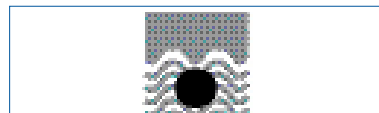
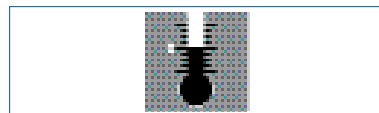
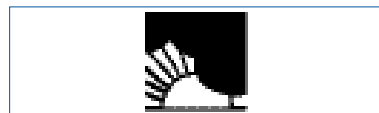
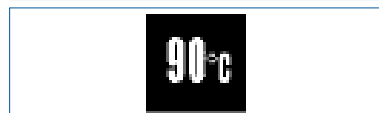
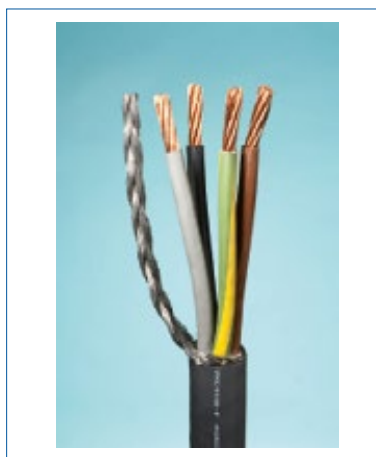
Le domaine d'utilisation est défini dans un rapport VDE du 30/11/1983 complété d'un avenant du 14/10/1987.

Dû à la structure et aux matériaux mis en œuvre, le câble TEHSITE est moins souple que les câbles sous gaine caoutchouc.

Par ailleurs, les définitions générales de la norme DIN VDE 0298-300 (CENELEC HD 516 S2) s'appliquent.

Structure basée sur la norme DIN VDE 0828-16 (IEC 60849)

## 3.15

**Câble blindé sous gaine caoutchouc****Caractéristiques techniques**

Conducteurs en cuivre à fils fins, classe 5 suivant DIN VDE 0295 ( IEC 60228)

Isolation EPR

Gaine intérieure en caoutchouc  
Blindage constitué d'un treillis de fils de cuivre étamés

Gaine extérieure spéciale en caoutchouc synthétique

Couleur : noir

Température admissible des conducteurs

Température admissible des conducteurs en cas de court-circuit (5 s max.)

Comportement au feu suivant EN 60332-1-2

Résistance aux rayons ultraviolets, aux intempéries et à l'ozone

Résistance à l'huile suivant EN 60811-2-1

Flexible

Température de mise en place et de transport : -25 à +80°C

450 / 750 V : avec conducteur vert/jaune

Utilisation dans l'eau non potable

DIN VDE 0282-16(CENELEC HD 22.16 S1)

**Description brève**

Les câbles sous gaine caoutchouc OZOFLEX (FC+) S07RC4N8-F ont été développés pour le raccordement mobile de pompes submersibles à des variateurs de fréquence. Les câbles répondent aux exigences de la directive de compatibilité électromagnétique. Ils sont disponibles jusqu'à une section de 50 mm<sup>2</sup>.

En raison de la composition différente et variable des eaux usées, les câbles ne peuvent être utilisés que dans des zones facilement accessibles et contrôlables.

Pour les eaux agressives ou les eaux ayant une composition spéciale, la résistance du câble doit être vérifiée au cas par cas.

Les câbles peuvent être utilisés à l'intérieur et à l'extérieur, en zone à risque d'explosion, dans les établissements à risque d'incendie, dans l'industrie, l'artisanat et l'agriculture.

Par ailleurs, les définitions générales de la norme DIN VDE 0298-300 (CENELEC HD 516 S2) s'appliquent.

Structure basée sur la norme DIN VDE 0282 -16(CENELEC HD 22.16 S1)

**3.16****Assurance de la qualité et  
procès-verbaux d'essais****Contrôle unitaire standard**

Les contrôles suivants sont réalisés en standard suivant les normes internes KSB sur 100% des moteurs KRT :

- Contrôle de la résistance du bobinage
- Contrôle de la résistance d'isolement
- Contrôle haute tension du bobinage
- Contrôle du conducteur de terre
- Contrôle des dispositifs de surveillance
- Intensité à vide
- Contrôle du sens de rotation

**Essai de type unique**

Les contrôles suivants sont effectués par type de moteur dans le cadre de l'essai de type suivant la norme interne KSB, en plus des contrôles unitaires décrits ci-avant :

- Mesure des résistances de bobinage
- Essai d'échauffement du moteur suivant EN 60034
- Essai de court-circuit pour la détermination du courant de démarrage à tension réduite (en alternative, démarrage direct avec mesure oscillographique)
- Détermination du rendement selon la méthode des pertes séparées suivant EN 60034

Des certificats de conformité 2.2 d'un moteur de construction identique peuvent être fournis en option avec la pompe.

## 4. Tuyauteries et robinetterie

### Notes préliminaires

Une étude détaillée est indispensable pour assurer la conformité du montage et de l'entretien, un fonctionnement sans incident et une disponibilité maximale des équipements techniques. Ceci vaut également pour les tuyauteries et robinets à l'intérieur et à l'extérieur d'une station de relevage ou d'une installation de pompage.

La tuyauterie de refoulement achemine le liquide pompé depuis la pompe jusqu'au point de déversement.

La pompe et la tuyauterie de refoulement doivent être considérées comme un ensemble technique et hydraulique. La représentation graphique s'effectue sous la forme de courbe débit-hauteur et courbe de réseau.

Les tuyauteries à l'intérieur de l'installation de pompage sont appelées ci-dessous tuyauteries internes. La tuyauterie de refoulement à l'extérieur de l'installation de pompage jusqu'au point de déversement est appelée par analogie tuyauterie de refoulement externe.

Les tuyauteries internes d'une station de relevage comprennent en général les tuyauteries d'aspi-

ration et de refoulement. Les pompes KRT étant des pompes submersibles à eaux usées destinées le plus souvent à l'installation noyée stationnaire, il n'existe pas de tuyauterie d'aspiration.

Sur le terrain, les tuyauteries de refoulement externes sont appelées canalisations d'eaux usées ou émissaires. Elles sont en général enterrées à l'abri du gel. Lors de l'étude, il convient d'éviter dans la mesure du possible les successions de points hauts et bas pour la canalisation de refoulement d'eaux usées. Si ceci s'avère impossible suite à la présence de points incontournables, il faut prendre des mesures techniques supplémentaires telles que des raccords de rinçage et orifices de vidange aux points bas et des ventouses aux points hauts.

Le respect d'un passage libre de 100 mm est recommandé pour l'hydraulique de la pompe ainsi que pour les robinets et la tuyauterie de refoulement afin d'assurer le transport sûr des eaux usées communales. Le diamètre intérieur des tuyauteries ne devra pas être inférieur à 80 mm.

## 4.1 Étude du réseau de tuyauteries

### 4.1.1 Tuyauteries

#### 4.1.1.1 Dimensionnement

Les paramètres de base pour le dimensionnement de la tuyauterie sont :

- le débit
- la pression de service.

Le dimensionnement de la tuyauterie et le calcul du diamètre intérieur (DN) sont dépendants de la

- vitesse d'écoulement.

Une fois le diamètre nominal déterminé, on obtient pour le débit prévu :

- les pertes de charge par frottement dans les tuyauteries
- la hauteur de perte de charge de la tuyauterie.

Avec la formule : hauteur géométrique + pertes de charge = hauteur manométrique, on détermine

- la pression de service.

En cas de besoin, un calcul anti-bélier fournit des enseignements supplémentaires sur la pression de service, la pression nominale et le dimensionnement statique des tuyauteries (voir le paragraphe correspondant ci-après).

Les paragraphes suivants fournissent des informations détaillées sur les paramètres de sélection.

#### Détermination de la vitesse d'écoulement et dimensionnement du diamètre nominal

Basé sur le débit exigé ou prévu, le diamètre nominal de la tuyauterie est directement dépendant de la vitesse d'écoulement. Les pertes de charge dans la tuyauterie résultent de la vitesse d'écoulement.

Les vitesses d'écoulement et, par conséquent, les diamètres nominaux des tuyauteries doivent être déterminés en prenant en compte l'aspect économique (coûts d'investissement et d'exploitation).

Le non-respect de la vitesse d'écoulement minimum peut conduire à des dysfonctionnements (p. ex. bouchage). Le dépassement de la vitesse d'écoulement maximale peut également entraîner des incidents et génère des pertes de charge élevées et une consommation inutile d'énergie.

#### Diamètre nominal / diamètre intérieur de la tuyauterie

Le diamètre nominal de la tuyauterie de refoulement est déterminé en fonction du débit maximal prévu, de la longueur de la tuyauterie et du liquide pompé en tenant compte des valeurs de référence précitées. Le DN optimal doit être déterminé par un calcul de rentabilité, en confrontant les frais d'investissement aux frais d'exploitation et notamment aux frais d'énergie. Les faibles DN et les vitesses d'écoulement élevées se traduisent, dans le cas de tuyauteries longues, par des pertes de charge élevées rendant nécessaire la mise en œuvre de pompes à hauteur manométrique plus élevée et consommation d'énergie supérieure (fig. 4.1.1.1a).

Le diamètre nominal des tuyauteries doit être égal ou supérieur au diamètre nominal de l'orifice de raccordement de la pompe. Le diamètre nominal ne doit jamais être réduit dans le sens de l'écoulement depuis la pompe.

Pour les petites installations, les pompes ne doivent pas seulement être dimensionnées en fonction du débit d'arrivée d'eau. Il faut également prendre en compte l'insensibilité au bouchage et la vitesse d'écoulement minimum. Si

la vitesse d'écoulement recommandée n'est pas atteinte dans la tuyauterie de refoulement verticale de ces installations, il est recommandé de prendre des mesures préventives pour le cas d'un éventuel bouchage (p. ex. raccord de rinçage).

L'assainissement d'écarts et d'habitations isolées (p. ex. par un réseau d'assainissement sous pression) devant être raccordées à un réseau d'assainissement collectif constitue un cas particulier. Dans ce cas, l'utilisation de pompes équipées d'une hydraulique dilacératrice permet de réduire le diamètre nominal de la tuyauterie.

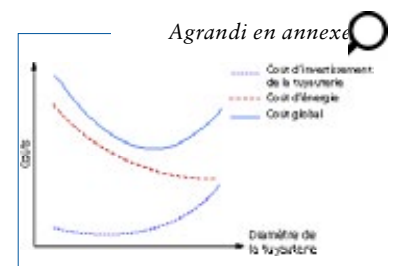


Fig. 4.1.1.1a : Diagramme des coûts de réalisation et d'exploitation d'une tuyauterie

#### Vitesse d'écoulement

Les tuyauteries d'eaux usées se distinguent des tuyauteries d'eau potable dans la mesure où les premières doivent permettre l'entraînement de particules de type et de composition très divers telles que les fibres, les minéraux de granulométrie différente (sable, gravillons et pierres) et les matières organiques.



Pour assurer ceci, il faut respecter les vitesses d'écoulement minimales. Les paramètres suivants doivent être pris en compte :

- vitesses d'écoulement différentes pour tuyauteries verticales et horizontales,
- le diamètre intérieur de la tuyauterie, étant entendu que les diamètres plus grands exigent des vitesses d'écoulement supérieures
- la composition du liquide pompé (analyse de la teneur en fibres, la teneur en particules et la granulométrie)
- le mode de fonctionnement de la tuyauterie (continu ou discontinu)
- la longueur totale de la tuyauterie.

À l'université technique de Berlin, KSB a réalisé des essais pour analyser le transport de particules contenues dans les eaux usées. Les résultats ressortent du diagramme des vitesses d'écoulement minimales, fig. 4.1.1.1b. Les diamètres DN 100 à DN 250 ont été examinés très en détail tandis que la zone de DN 500 à DN 1000 a été extrapolée. Les corps solides correspondent à ceux couramment contenus dans les eaux usées ou chargées : fibres, gravier 0/4, gravier 16/32 et granit concassé 2/5.

### Études anti-bélier

Tout changement de l'état de fonctionnement dans les systèmes d'alimentation en eau et les

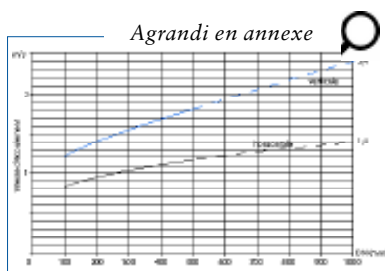
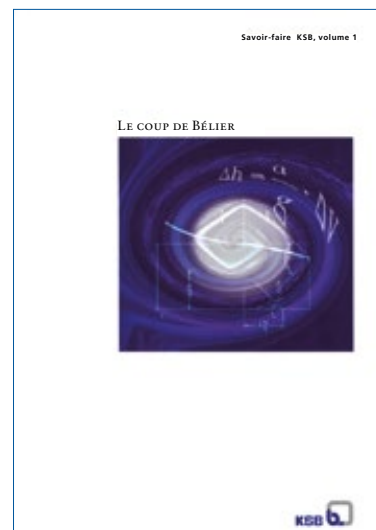


Fig. 4.1.1.1b : Vitesses d'écoulement minimales

réseaux d'eaux usées entraîne des modifications dynamiques de la pression et du débit. Ces processus transitoires dans les réseaux de tuyauterie des installations de captage, de traitement, de transport et de distribution d'eau doivent être pris en compte et analysés dans le cadre de l'étude de l'installation vu qu'ils peuvent être à l'origine de dégâts considérables sur les tuyauteries, robinets ou autres équipements. Les causes de ces états de fonctionnement transitoires sont multiples et, en principe, inévitables : la défaillance d'une pompe, le démarrage ou l'arrêt d'une pompe, le démarrage ou l'arrêt de chaque pompe dans une installation multi-pompes, la régulation de la vitesse de pompes, la fermeture, l'ouverture ou la régulation de robinets, robinets réducteurs de pression, etc. Compte tenu de la complexité du phénomène des coups de bélier, il vaut mieux s'abstenir de réaliser des calculs basés sur les nombreuses méthodes d'approximation existantes. Celles-ci ont une validité très limitée et ne peuvent pas être appliquées en général. L'utilisation impropre de ces méthodes peut entraîner des erreurs de dimensionnement considérables.

En cas de besoin, le lecteur se référera au document W 303



« Dynamische Druckänderungen in Wasserversorgungsanlagen » [Changements dynamiques de la pression dans les installations d'alimentation en eau] édité par la DVGW, l'association allemande du secteur du gaz et de l'eau, et au volume 1 des brochures Savoir-faire KSB intitulé « Le coup de bélier ».

Il est recommandé de consulter des spécialistes avertis pour l'étude des problèmes de coup de bélier et la définition des protections anti-bélier.

Les dispositifs de freinage et d'accélération du moteur électrique (démarrateur progressif ou variateur de vitesse) ne constituent pas à eux seuls une protection anti-bélier du fait de leur inopérance en cas de coupure d'électricité. Par contre ils contribuent à réduire l'usure des tuyauteries due aux à-coups de démarrage et d'arrêt en cycle normal.

## Calcul statique des tuyauteries

Les tuyauteries doivent pouvoir résister durablement aux pressions intérieure et extérieure s'exerçant sur le système sans subir de dommages. Ceci vaut également pour les pressions entraînées par des états de fonctionnement transitoires (p. ex. coup de bélier) à moins que des mesures de protection spéciales aient été prises.

Les paramètres les plus importants pour le calcul de l'épaisseur de la paroi de la tuyauterie sont la plage de pression requise, les contraintes extérieures et le matériau.

Lors de l'étude d'un projet, il convient de vérifier la nécessité éventuelle d'un calcul statique de la tuyauterie qui prend en compte :

- les charges primaires (pression intérieure, poids du tuyau, des robinets et de l'eau contenue)
- les charges secondaires (forces et contraintes résultant des différences entre la température minimale et la température maximale par rapport à la température de montage)
- les charges occasionnelles (p. ex. vent, glace, neige)
- les charges dynamiques
- l'analyse des contraintes

- le comportement en vibration (fréquences d'excitation et fréquences propres)
- la stabilité en cas de séismes.

Ces calculs permettent de définir :

- l'épaisseur de la paroi de la tuyauterie nécessaire pour le matériau sélectionné,
- les forces et moments pour l'étude de l'ouvrage ou des structures de support (pour les traversées murales, les massifs de fondation et autres points d'ancrage)
- le type (paliers butées, paliers mobiles, guidages) et l'emplacement des supports de tuyauterie
- les forces et moments à considérer pour les supports de tuyauterie (charges agissant sur les paliers butées, paliers mobiles, guidages)
- la construction des supports de tuyauterie (dimensionnement des paliers butées, paliers mobiles, guidages).

### Remarques :

Les contraintes (forces et moment) résultant des charges secondaires (contraintes thermiques) sont souvent supérieures aux forces engendrées par les charges primaires (poids et pression), notamment lorsque la tuyauterie est montée de façon

rigide entre deux points d'ancrage. Ainsi les contraintes agissant sur des éléments de l'ouvrage (p. ex. traversées murales) risquent d'être dépassées, rendant nécessaire la mise en place de mesures supplémentaires, comme par exemple l'installation de joints d'expansion ou de manchettes antivibratiles. Le tracé de la tuyauterie a également une influence sur les forces et contraintes. Une tuyauterie droite montée entre deux traversées murales n'a aucune souplesse à la différence d'une tuyauterie à tracé angulaire où les contraintes sont nettement inférieures. Dans ce cas, il importe de prévoir des supports glissants, butées et guidages adéquats.

### 4.1.1.2

#### Tracé de la tuyauterie

#### Tuyauteries internes

La pompe submersible pour eaux usées est fixée dans la bêche de pompage par l'intermédiaire d'un kit d'installation comprenant le pied d'assise, le dispositif de guidage (par câble ou barre) et la chaîne ou le câble de manutention.

La tuyauterie de refoulement est montée sur le pied d'assise fixé sur le radier de la bêche de pom-

page. La tuyauterie de refoulement est constituée de la colonne montante et de la tuyauterie de refoulement horizontale subséquente. Si la station de relevage est équipée de plusieurs pompes ayant le même point de déversement, chaque pompe est équipée d'une tuyauterie de refoulement individuelle. En cas de longueur de tuyauterie importante, ces tuyauteries sont réunies en un ou plusieurs collecteurs de refoulement.

La tuyauterie de refoulement sortant de la station de relevage doit présenter une pente ascendante jusqu'au point de déversement. Si le tracé de la tuyauterie présente des points hauts et bas dû à la topographie, il existe un risque de formation de poches d'air aux points hauts et de formation de dépôts aux points bas. Dans ce cas, il convient de contrôler la vitesse d'écoulement. Les poches d'air font augmenter les pertes de charge ce qui peut éventuellement entraîner une réduction du débit-volume de la pompe. Il faut étudier les possibilités d'auto-dégazage. Si celles-ci sont limitées ou inexistantes, il convient de prévoir des ventouses aux points hauts et des raccords de vidange et de rinçage aux points bas. Les ventouses peuvent en outre assurer la fonction de casse-vide au cas où un effet siphon indésiré et non calculé se

produit. Par contre, elles peuvent être source de nuisances olfactives.

Les robinets sont installés soit dans la bache de pompage, verticalement sur les colonnes montantes, soit horizontalement dans un regard de robinetterie séparé.



Fig. 4.1.1.2a : Regard de robinetterie



Fig. 4.1.1.2b : Local de robinetterie

Si les robinets sont montés sur les colonnes montantes, ceci devra s'effectuer en partie haute de la bache de pompage. L'avantage étant l'accès plus facile aux robinets et la diminution du risque de dépôts sur le clapet de non-retour. Si les robinets sont installés à un niveau plus bas, il faut assurer une distance minimum par rapport au pied d'assise. Sinon, des problèmes d'amorçage de la pompe peuvent se présenter dûs à

des poches d'air. Lors du montage des vannes d'isolement, il faut prendre garde à ce que les éléments de manœuvre (p. ex. volant) ne gênent pas la dépose des pompes.

La longueur des colonnes montantes au-dessus du clapet de non-retour doit être aussi courte que les conditions de l'installation le permettent afin de réduire le risque de dépôts. La portion de tuyauterie reliant les colonnes montantes au collecteur de refoulement doit toujours être horizontale. Elle doit être réalisée de manière à freiner l'écoulement le moins possible. Des embranchements perpendiculaires, des coudes à souder, des culottes et des coudes de raccordement spécifiques peuvent être utilisés en fonction des conditions de l'installation (fig. 4.1.1.2c).

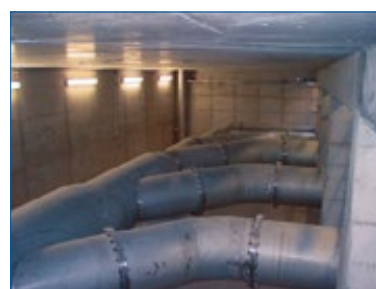


Fig. 4.1.1.2c : Raccordement des tuyauteries de refoulement individuelles dans le sens de l'écoulement

Dans le cas d'une augmentation nécessaire de la section de tuyauterie, il est recommandé de sélectionner des pièces d'élargissement (appelés « réducteurs » par les tuyauteurs) dont l'angle d'ouverture soit le plus réduit possible. Pour l'augmentation de la section d'une colonne montante, il faut utiliser des réducteurs excentriques afin d'éviter que les éléments montés sur la tuyauterie entravent la dépose de la pompe.

Si une étanchéité absolue doit être assurée, le passage de la tuyauterie de refoulement à travers la maçonnerie s'effectue au moyen d'un tube mural à bride ou d'une traversée murale flexible. Lors du montage du joint modulaire d'étanchéité, prendre garde à ce que la tuyauterie soit correctement centrée et fixée dans le percement ou la réservation.

Des joints de démontage ou des manchettes antivibratiles doivent être intégrés dans les tuyauteries en fonction des besoins pour assurer le montage correct, l'absence de contraintes au niveau des raccords, la compensation des tolérances de longueur éventuelles et la possibilité de démontage en cas de réparation. Ces tâches peuvent aussi être assurées le plus souvent par des coudes à bride installés à des emplacements adéquats de la tuyauterie.

Le nombre des raccords à brides doit être réduit au maximum afin de faciliter les travaux de montage et de réparation. Les raccords à brides nécessaires pour les réparations et l'installation de tuyauteries préfabriquées sont à prévoir. Les travaux de soudage sur le site doivent être limités au strict nécessaire.

Les raccords à brides doivent être dimensionnés en fonction du liquide pompé, du matériau de tuyauterie sélectionné et de la pression maximale du système. A partir de DN 200, il est recommandé d'utiliser des joints plats avec insert acier. En cas d'utilisation de visserie en acier inoxydable, les vis doivent être en V2A et les écrous hexagonaux en V4A.

En cas d'espace réduit, le collecteur peut être installé à l'extérieur de l'ouvrage. Un local de robinetterie séparé (ou un regard de robinetterie) peut être utile pour des raisons d'espace et de facilité d'accès et de maintenance (fig. 4.1.1.2a + b).

Une possibilité de dégazage doit être prévue si des points hauts sur la tuyauterie de refoulement de la station de relevage sont inévitables. Dans le cas des installations à eaux usées, ce dégazage doit être automatique étant donné que la formation de gaz est probable. Si la tuyauterie extérieure à la station de pompage est installée en pente descendante, une ventouse automatique assurant la fonction de casse-vide doit être prévue au point le plus haut de la station de pompage. Des problèmes d'amorçage de la pompe suite à la présence de poches d'air ne peuvent pas être exclus si un effet siphon se produit à l'arrêt de la pompe.

Des possibilités de vidange et de rinçage sont à prévoir si nécessaire (p. ex. orifice, robinet à tournant sphérique et raccord Guillemin avec bouchon).

Des mesures de protection antigél doivent être prises au besoin si les pompes sont installées dans un ouvrage ouvert (bassin).

**Tuyauteries externes**

Les tuyauteries externes doivent être réalisées en respectant les dispositions légales et les recommandations des associations professionnelles (voir CCTG Fascicule 70 et EN 1610).

Les points hauts prononcés doivent être dégazés. Des poches d'air dans les tuyauteries peuvent entraîner des réductions de débit et des dysfonctionnements comme des coups de clapet et des vibrations de la tuyauterie.

**Remarque particulière**

A la liaison entre la tuyauterie interne et externe (sur la paroi extérieure de la station de relevage), il peut s'avérer nécessaire d'équiper la tuyauterie d'une articulation pour prendre en compte le problème de tassement du sol.

**4.1.1.3****Fixation et support de la tuyauterie****Généralités**

La fixation et le support de la tuyauterie sont assurés au moyen de :

- colliers doubles
- avec support au sol
- avec console murale
- suspendus au plafond
- supports avec ou sans collier
- constructions spéciales

Les points d'appui doivent être réalisés sous la forme de butées ou de supports glissants en fonction des aspects statiques de la tuyauterie.

**Fixations et supports dans les stations de relevage KRT**

Les colonnes montantes sont directement et solidement raccordées aux pieds d'assise. Le pied d'assise assure la fonction de point d'ancrage dans la limite des contraintes maximales indiquées par le constructeur. Spécialement conçu pour résister à des forces verticales plus élevées, le pied d'assise est en général capable de reprendre le poids de la colonne montante. Les forces et moments autorisés ne doivent être dépassés

à aucun moment, y compris en fonctionnement. Les supports de tuyauterie doivent être suffisamment rapprochés et particulièrement solides. Les fixations servent à reprendre le poids de la tuyauterie et du liquide pompé, à éviter les contraintes inadmissibles (forces et moments) aux points de raccordement et à empêcher les vibrations excessives.

Les roues à nombre d'aubes restreint des pompes à eaux usées génèrent une pulsation de l'écoulement. Fréquence d'excitation = vitesse de rotation x nombre d'aubes.

C'est sur les pompes à roue monocanal que les « vibrations » hydrauliques posent le plus de problèmes. Les fréquences d'excitation sont de 25 Hz à 1500 t/min et de 17 Hz à 1000 t/min.

Cette plage de fréquences correspond souvent aux fréquences propres des tuyauteries d'acier.

Due à la pulsation du débit, la tuyauterie de refoulement de la pompe entre en vibration. La résonance doit être évitée. Ce phénomène se produit lorsque la fréquence d'excitation de la pompe correspond à la fréquence propre de la tuyauterie. La résonance entraîne des amplitudes de vibration maximales et des forces très élevées agissant sur les paliers.

Pour exclure de manière fiable le phénomène de résonance, il est impératif d'assurer que ces deux fréquences ne coïncident pas. L'écart minimum doit être supérieur de 10 % à la valeur de la fréquence d'excitation.

La modification de la fréquence d'excitation (modification de plus de 30 % de la vitesse de rotation de la pompe) est rarement possible. Cela signifie qu'il faut adapter la fréquence propre de la tuyauterie.

La fréquence propre de la tuyauterie dépend :

- de la répartition de la masse dans le système (emplacement des robinets, épaisseur de la paroi, matériau) et
- des supports.

La fréquence propre dépend dans une large mesure des supports de tuyauterie. Les fréquences propres défavorables peuvent être modifiées en repositionnant ou en insérant des supports (de préférence à proximité de robinets, points de déversement, etc.). Le positionnement des grandes masses individuelles (robinets) a également un impact sur la fréquence propre.

Seul un calcul statique de la tuyauterie permet de déterminer les positions précises des supports avec les fréquences propres correspondantes.

Dans une moindre mesure, la fréquence propre peut être modifiée en changeant l'épaisseur de la paroi de la tuyauterie. Une épaisseur de paroi supérieure entraîne des valeurs de fréquence propre supérieures pour des tuyauteries réalisées dans le même matériau (même module d'élasticité) et pour la même excitation. Les forces s'exerçant sur les supports et générées par des vibrations peuvent être calculées sur la base de l'excitation harmonique.

Les fréquences propres ne peuvent être déterminées que par un calcul statique de la tuyauterie.

Les supports de tuyauterie doivent être de construction robuste afin de répercuter de manière sûre les forces à l'ouvrage.

#### 4.1.1.4

##### Traversées murales

Des traversées murales doivent être utilisées pour le passage de tuyauteries à travers les parois intérieures et extérieures d'un ouvrage.

Nous distinguons entre les deux types suivants :

##### Traversées rigides

La traversée rigide est constituée d'un tube mural acheminant le liquide pompé, équipé d'une ou plusieurs collerette(s) d'ancrage centrale(s). Ce type de traversée murale assure la fonction d'un point d'appui. Les forces s'exerçant dans ce point doivent être déterminées à l'aide d'un calcul statique de la tuyauterie et comparées à la valeur des forces autorisées pour l'ouvrage. Deux types de construction existent pour la traversée murale rigide :

- le tube de traversée murale avec extrémités à souder et
- le tube de traversée murale avec brides de raccordement.

Les tubes de traversée murale à souder nécessitent un montage traversant le coffrage. Dans des cas spéciaux, le tube de traversée murale peut être monté ultérieurement dans une réservation faite dans le mur qui sera fermée ensuite par coulage de béton secondaire. Pour ce type de construction, les détails de la

réalisation doivent être déterminés en étroite coopération avec le concepteur en charge du génie civil. Les tubes de traversée murale avec brides de raccordement peuvent être montés en saillie ou à fleur de mur. Le montage à fleur de mur nécessite un respect méticuleux des dimensions lors de l'installation entre le coffrage et l'armature.

##### Traversées flexibles

La traversée murale flexible est constituée d'une gaine avec bague d'ancrage centrale et du tuyau de refoulement passé à travers la gaine. Deux constructions différentes sont disponibles pour assurer l'étanchéité entre la gaine et le tuyau contenant le liquide :

- les joints modulaires et
- les inserts d'étanchéité à compression.

À la place d'une gaine, un carottage peut être réalisé dans le mur en béton armé. Pour les grands diamètres nominaux, les carottages ne sont en général pas indiqués.

Pour préserver l'ouvrage d'éventuelles poussées axiales dans le cas de la traversée flexible, il faut prévoir un support de tuyauterie servant de point d'ancrage à un endroit adéquat en amont de la traversée murale.

#### 4.1.1.5

##### Matériaux des tuyauteries

Pour résister à la corrosion, les tuyauteries d'acier sont à paroi épaisse, revêtues (galvanisées ou peintes, par exemple) ou réalisées en acier inoxydable (nuance 1.4571 / V4A). En cas de mise en œuvre de tuyauteries en fonte, il faut vérifier la disponibilité de pièces façonnées et ne pas négliger l'aspect du poids.

Pour les autres matériaux comme par exemple les matériaux plastiques, il faut assurer une fixation suffisante de la tuyauterie et un supportage individuel des composants intégrés tels que les robinets.

À l'intérieur de la station de relevage, les tuyauteries sont réalisées en :

- acier (revêtu, galvanisé, etc.)
- acier inoxydable (p. ex. 1.4301 ou 1.4571)
- PVC
- PE-HD
- PRV
- fonte (bituminée, avec revêtement synthétique électrostatique)

À l'extérieur de la station de relevage, le matériau est sélectionné en fonction des conditions de l'installation (nature du sous-sol, risque de corrosion) et des critères de réalisation du génie civil et de la tuyauterie en tenant compte de l'aspect économique.

À l'extérieur de la station de relevage, les tuyauteries sont réalisées en :

- fonte (bituminée, avec revêtement synthétique électrostatique, avec revêtement de mortier de ciment)
- PVC
- PE-HD
- PRV
- acier bituminé
- acier revêtu de mortier de ciment

Les tuyauteries à l'intérieur et à l'extérieur de la station de relevage doivent être reliées par un élément de raccordement ou de transition adapté tant sur le plan de la technique que des dimensions.

#### 4.1.1.6 Piquages de mesure sur les tuyauteries

Les tuyauteries de refoulement, généralement celles à l'intérieur de la station de relevage, doivent être équipées d'instruments de mesure conformément au concept de surveillance et de commande retenu.

##### Montage à l'intérieur de la tuyauterie

En règle générale, seuls les

- débitmètres électromagnétiques sont directement intégrés dans la tuyauterie.

##### Montage extérieur sur la tuyauterie

Les dispositifs de mesure suivants sont montés à l'extérieur sur la tuyauterie :

- mesure de pression (par manomètre ou capteur de pression)
- détection d'écoulement
- mesure de température (peu courante dans les canalisations d'eaux usées)
- mesure de débit avec des capteurs à ultrasons

##### Remarque

D'autres mesures, comme p. ex. la détection du niveau d'eau dans la bêche de pompage et, le cas échéant, au point de déversement sont pratiquées sur le terrain pour assurer la commande des pompes, mais celles-ci sont sans rapport avec la tuyauterie.

##### Informations sur l'emplacement des débitmètres électromagnétiques

Pour le choix de l'emplacement des débitmètres électromagnétiques et leur montage, il convient de respecter les points suivants :

- Distances suffisantes en amont et en aval pour la tranquillisation de l'écoulement. Les indications des fabricants sont à respecter.
- Position d'installation selon les consignes du fabricant, p. ex. réalisation d'un siphon inversé pour remplir complètement la section de mesure pour les appareils qui ne conviennent pas pour une tuyauterie partiellement remplie.

##### Informations sur l'emplacement des piquages de mesure de pression, contrôle d'écoulement et mesure par ultrasons.

Les piquages pour la mesure de pression doivent toujours être réalisés latéralement sur le tuyau à hauteur de l'axe. Les points de mesure doivent être situés à des tronçons de tuyauterie parcourus par un écoulement tranquillisé. Le montage à proximité de réductions ou d'élargissements de la section, de déviations et de composants intégrés est à éviter. Les points de mesure ne doivent pas non plus être situés sur les génératrices inférieure



et supérieure étant donné que le résultat de la mesure pourrait être faussé par des dépôts ou des poches d'air.

Les piquages pour la mesure par ultrasons doivent être réalisés en respectant les mêmes points que ceux rappelés ci-dessus pour les débitmètres électromagnétiques

## 4.2

### Sélection de la robinetterie

#### 4.2.1

##### Généralités

La robinetterie est un élément fonctionnel du réseau de tuyauterie. Elle est indispensable pour le bon déroulement du processus de pompage. Les robinets assurent essentiellement les fonctions suivantes :

- Isoler la tuyauterie
- Empêcher le retour du fluide
- Régler le débit (difficile dans le cas des eaux usées)
- Assurer l'aération et le dégazage de la tuyauterie

Pour cela, les fabricants de robinetterie proposent différents types de construction :

- Robinets-vannes (à opercule, à guillotine), robinets à papillon, robinets à soupape
- Robinets-vannes de réglage (à piston, à diaphragme, à papillon, à guillotine)

- Clapets de non-retour à battant (avec levier à contrepoids ou arbre intérieur), clapets de non-retour (à membrane ou à double battant), clapets de non-retour à boule
- Ventouses

#### 4.2.2

##### Critères de sélection

Les paramètres suivants doivent être pris en compte lors de la sélection d'un robinet :

- Le liquide pompé
- L'adéquation du type de construction et de la fonction au liquide pompé
- L'adéquation des matériaux au liquide pompé
- Le diamètre nominal dépendant de la vitesse d'écoulement et des pertes de charge

#### 4.2.2.1

##### Liquides pompés

Le transport des eaux usées est caractérisé par des conditions d'utilisation spéciales en fonction du type des eaux :

- Eaux pluviales
- Eaux de surface dégrillées
- Eaux usées industrielles
- Eaux grises exemptes de filasses
- Eaux usées domestiques contenant des filasses
- Boues fraîches
- Boues recirculées
- Boues en excès
- Eaux usées propres non polluées

- Eau de service

Voir le tableau de sélection des types de robinets en fonction du liquide pompé (fig. 4.2.3a).

#### 4.2.2.2

##### Types de construction

La construction des appareils de robinetterie utilisés dans le domaine des eaux usées doit répondre à des contraintes particulières. Les raisons en sont les particules contenues dans les eaux : gros solides et matières à risque de colmatage, substances abrasives et autres particules. Par conséquent, la conception des appareils de robinetterie doit satisfaire aux exigences suivantes :

- Passage intégral pour les vannes
- Passage libre respectant les dispositions de la norme EN 12050-4 pour les clapets de non-retour
- Blocage de manœuvre du robinet exclu ou largement évité
- Conception et matériau de l'élément d'étanchéité adaptés à l'utilisation.

#### 4.2.2.3

##### Position d'installation et sens d'écoulement

Dans de nombreux cas, le sens d'écoulement et la position d'installation sont déterminés par la construction spécifique de l'appareil de robinetterie. Pour les clapets de non-retour à battant et tous les autres types de clapets de non-retour, par exemple, le sens d'écoulement est déterminé par leur conception. De même, il faut prendre en considération que tous les appareils de robinetterie ne sont pas adaptés à l'installation verticale et horizontale. Les consignes des fabricants (p. ex. notice de montage et de service) doivent être respectées dès l'étude.

#### 4.2.2.4

##### Matériaux

Les matériaux doivent être sélectionnés en fonction de la nature des eaux usées (voir ci-dessus). En général, les fabricants de robinets indiquent les matériaux des différents composants comme le corps, l'obturateur, le siège, l'étanchéité, l'arbre, la visserie, etc. Les fontes grises revêtues sont adaptées aux eaux de surface, eaux pluviales et eaux usées communales. Les revêtements synthétiques

électrostatiques sont particulièrement bien appropriés. Les liquides pompés très abrasifs nécessitent la mise en œuvre de matériaux moulés durs et de revêtements spéciaux.

Le bon choix des élastomères pour les joints est de grande importance. Pour les eaux usées communales, le NBR est indiqué, l'EPDM peut être utilisé en l'absence de risque de présence d'hydrocarbures (pouvant survenir par exemple dans le cas de collecte sans traitement des eaux de ruissellement sur chaussée). Pour les eaux usées industrielles, le Viton (FPM) peut être indiqué.

Le choix de l'acier inoxydable peut être nécessaire pour les eaux usées industrielles. Pour ce fluide, il est important de sélectionner les matériaux au cas par cas en fonction de la composition des eaux.

Les substances contenues dans le fluide doivent toujours être communiquées aux fabricants ou fournisseurs des appareils de robinetterie afin que ceux-ci puissent sélectionner un matériel adapté aux conditions d'utilisation.

#### 4.2.2.5

##### Diamètre nominal

Le diamètre nominal des robinets, tout comme celui des tuyauteries, est sélectionné en fonction de la vitesse d'écoulement (voir 4.1.1.1). Ainsi le diamètre nominal de la tuyauterie correspond en général à celui du robinet. Nous rappelons que le diamètre nominal minimum à utiliser dans le secteur des eaux usées est DN 80, à l'exception des réseaux ramifiés sous pression utilisant des pompes à roue dilacératrice. Le diamètre minimum à utiliser est alors DN 32.

Lors du choix du diamètre nominal, il faut apporter une attention particulière :

- aux pertes de charge générées par les appareils de robinetterie. Les clapets de non-retour à battant notamment ont des coefficients de perte très élevés qui peuvent amener au choix du diamètre nominal supérieur. Celui-ci devra alors également être pris en compte pour le dimensionnement de la tuyauterie.
- à bien respecter la vitesse minimum d'écoulement nécessaire pour l'ouverture du clapet. Le respect de ce critère est prioritaire pour le bon fonctionnement des pompes.

4.2.3 Tableau de sélection des types de robinets en fonction des eaux usées

Typologie de la robinetterie en fonction des eaux usées

Appareils de robinetterie	Eaux usées				
	Eaux pluviales	Eaux usées industrielles, eaux de surface, eaux de pluie, eaux fluviales	Eaux usées domestiques, eaux de pluie, eaux fluviales	Eaux usées industrielles, eaux de surface, eaux de pluie, eaux fluviales	Eaux usées domestiques, eaux de pluie, eaux fluviales
<b>Vannes d'isolement</b>					
Robinet à tournant					
Robinet à tournant sphérique à passage rétréci					
Robinet à tournant sphérique à passage intégral					
Robinet de vidange					
Robinet à tournant conique					
Robinet à tournant cylindrique					
Robinet à soupape					
Robinet à siège droit					
Robinet à siège incliné					
Robinet à passage d'équerre					
Robinet à passage annulaire					
Robinets-vannes					
Robinets-vannes à étanchéité métallique					
Vanne à opercule, corps rond					
Vanne à opercule, corps ovale					
Vanne plate à opercule					
Vanne à double opercule à siège oblique					
Robinets-vannes à étanchéité souple					
Vanne à opercule					
Vanne à guillotine					
Vanne murale					
Robinet à papillon					
Robinet à papillon centré					
Robinet à papillon excentré					
Vannes d'isolement à membrane					
Robinet vanne à membrane					
Robinet à soupape à membrane					
Robinet à manchon (à commande hydraulique ou pneumatique)					
Robinet à membrane annulaire					
<b>Appareils de non-retour</b>					
Clapets de non-retour à soupape					
Clapet de non-retour à soupape, à ressort					
Clapet de pied avec crépine d'aspiration					
Clapet de non-retour à corps tuyère					
Clapets de non-retour à bittont					
Clapet de non-retour à battant avec sans levier et contrepoids					
Clapet de non-retour multiple					
Clapet de non-retour basculant à siège incliné avec sans levier et contrepoids					
Dispositif de non-retour					
Clapet de non-retour à boule					
Clapet de non-retour à double battant					
Clapet de non-retour à battant pour montage entre brides					
Dispositif de non-retour à membrane					
Clapet de non-retour à corps tuyère					
Clapet de non-retour à membrane					
<b>Autres robinets</b>					
Robinets de sortie à flotteur					
Ven to uses					
Ven to uses spéciales eaux usées					
Soupapes de sécurité					
Soupapes de décharge					
Clapet de sortie, clapet de nez					

légende  
 Non utilisable  
 Utilisable sous réserve  
 Utilisable

Fig. 4.2.3a : Tableau récapitulatif de sélection

## 4.2.4 Installation

### 4.2.4.1 Position de montage

Pour le sens d'écoulement et le montage vertical et/ou horizontal, voir le paragraphe 4.2.2.3.

### 4.2.4.2 Choix de l'emplacement

Le choix de l'emplacement dépend :

- de la fonction de l'appareil de robinetterie
- des conditions de l'installation
- des possibilités d'accès et de manœuvre.

Ces trois critères doivent être considérés sur un pied d'égalité pour déterminer l'emplacement de montage des robinets et trouver une solution globale.

### Fonction de l'appareil de robinetterie

L'emplacement de l'appareil de robinetterie, dépend tout d'abord de sa fonction.

Prenons quelques exemples :

- Le robinet-vanne au reflux de la pompe sert à isoler la tuyauterie en cas d'intervention sur la pompe et le clapet de non-retour. En fait il devrait être installé immédiatement en aval de la pompe et du clapet de non-retour. Or, les conditions de l'installation (niveau d'eau max. dans la bêche de pompage) et la nécessité d'accès pour la manœuvre imposent une position différente (plus haute) du robinet-vanne.
- Le clapet de non-retour devrait en fait être installé immédiatement en aval de la pompe, comme nous venons de l'expliquer. Mais là aussi, le niveau d'eau et l'accessibilité sont déterminants pour le positionnement le mieux adapté du clapet sur la tuyauterie.
- Compte tenu de sa fonction, la ventouse doit toujours être positionnée directement au point haut de la tuyauterie. L'accès à cet emplacement doit être assuré lors des travaux de construction.

### Conditions d'installation

La position de montage peut être déterminée par les conditions de l'installation.

Voici quelques exemples :

- Consignes de montage du fabricant du robinet (installation verticale / horizontale)
- Tracé de la tuyauterie de reflux
- Si la tuyauterie de reflux comporte un long tronçon vertical, le clapet de non-retour ne peut pas être installé à un niveau bas dans la tuyauterie verticale. Sinon, le bon fonctionnement du clapet de non-retour pourrait être entravé par des substances solides retombant (sable, cailloux, dépôts de boues). Le clapet pourrait aussi être endommagé par la chute de cailloux. Dans ces cas de figure, le clapet de non-retour doit être installé sur un tronçon de tuyauterie horizontal. Le cas échéant, un tel tronçon doit être spécialement prévu à cet effet.
- Niveau d'eau maximal
- Réunion de plusieurs tuyauteries de reflux individuelles sur un collecteur.

### Les possibilités d'accès et de manœuvre

L'accès du personnel d'exploitation est un critère très important pour la manœuvre et les travaux de maintenance et de réparation.

Le respect des instructions de prévention des accidents en vigueur doit être assuré dès la phase d'étude.

Il existe en principe trois possibilités pour assurer l'accès au robinet et sa manœuvre :

- Le robinet peut être installé dans une partie de l'ouvrage qui assure d'emblée de bonnes conditions d'accès
- Pour assurer l'accès au robinet, il faut installer des échelles et estrades
- L'ouvrage est conçu de manière à faciliter l'accès pour la manœuvre et les interventions.

Solutions recommandées pour un accès aisé aux robinets et leur manœuvre :

#### • Regard de robinetterie

Un regard préfabriqué séparé, destiné exclusivement aux robinets, peut être prévu à côté de la bache de pompage. Le positionnement correct du couvercle du regard est important pour faciliter l'installation et le remplacement des robinets.

#### • Local de robinetterie

La construction de locaux de robinetterie est très utile pour les grandes stations de relevage avec des diamètres nominaux importants de la tuyauterie et de la robinetterie.

Ils abritent la tuyauterie complète comprenant les tuyauteries individuelles et les collecteurs ainsi que tous les appareils de robinetterie et de mesure et offrent de bonnes conditions de travail.

#### 4.2.4.3 Solutions techniques pour la pose et dépose de robinets

La possibilité de montage et de remplacement des appareils de robinetterie doit être assurée tant pour la première installation que pour les interventions de maintenance et de réparation ultérieures. La question de la nécessité ou non de joints de démontage spéciaux montés à côté de l'appareil de robinetterie ou d'un groupe d'appareils de robinetterie se pose.

#### Montage sans joint de démontage

Si des coudes à brides sont prévus en amont et/ou en aval de l'appareil de robinetterie ou d'un groupe d'appareils de robinetterie, les joints de démontage ne sont en général pas nécessaires. Le démontage d'un coude à bride procure l'espace nécessaire pour le remplacement du robinet.

#### Montage avec joint de démontage

Dans de nombreux cas, le tracé de la tuyauterie rend difficile le montage et démontage d'éléments de tuyauterie et de robinetterie. Il convient alors de prévoir des joints de démontage à côté d'appareil de robinetterie ou du groupe d'appareils de robinetterie. La longueur des joints de démontage peut être ajustée afin de permettre la pose et dépose sans contrainte d'appareil de robinetterie ou du groupe d'appareils de robinetterie.

Les principaux types de joints de démontage sont les suivants :

- Joints de démontage autobutés

Ce type de joint de démontage existe en général :

- avec tiges filetées traversantes ou
- avec tiges filetées non traversantes.

- Joints de démontage libres

Les joints de démontage à tiges filetées non traversantes permettent un montage particulièrement aisé car l'ajustement de la course se fait rapidement.

Les joints de démontage libres peuvent servir de joints de démontage et de dilatation. Dans ce dernier cas, il faut prévoir les éventuels points fixes qui peuvent être nécessaires pour reprendre les efforts résultants.

#### **Raccord de tubes facilitant l'installation et le démontage**

La mise en œuvre d'un raccord de tubes de type Victaulic peut constituer une solution simple. Le raccord se présente sous la

forme d'un manchon extérieur en acier qui relie deux extrémités de tubes en laissant un faible jeu. Pour les petits et moyens diamètres nominaux, ce petit jeu peut être suffisant pour permettre l'installation et le démontage du tube ainsi que le remplacement du robinet. Les raccords sont disponibles en version résistante ou non à la traction pour des installations à l'air libre.

## 5 Conception de l'ouvrage

### 5.1 Généralités

La conception de l'ouvrage d'une station de relevage dépend dans une large mesure de l'utilisation à laquelle celle-ci est destinée. Outre les exigences purement mécaniques et de génie civil, il faut prendre en compte les aspects hydrauliques (dynamique des fluides) lors de l'étude et de la réalisation. La conception des parties hydrauliques concerne la zone d'entrée de l'eau à la station de relevage, la géométrie de la bache de pompage, la (les) pompe(s) et la tuyauterie de refoulement ou la zone de sortie de l'eau.

Les constructeurs de pompes s'efforcent d'indiquer dans leur documentation technique les dimensions requises pour la mise en œuvre de pompes centrifuges (concernant la géométrie de l'ouvrage, par exemple). Ces indications constituent des éléments importants pour la détermination des dimensions principales d'une station de relevage. L'étude d'une station de relevage est complexe et doit prendre en compte maints aspects tels que les contraintes à respecter concernant l'espacement minimum des pompes, les dimensions requises pour la garde au

sol et le contour du radier ainsi que la conception de la zone en amont des pompes.

Un non-respect significatif, dans la phase d'étude ou de réalisation, des dimensions requises, des niveaux d'eau minimum ou de la géométrie des parties de la station de relevage situées dans l'écoulement, peut mettre en cause le bon fonctionnement de la station tout entière. Il est peu important que ce soit le non-respect d'un aspect individuel ou toute une série d'écarts qui entraînent des problèmes. Si les conditions générales requises pour le fonctionnement de la pompe ne sont pas remplies dû à des changements ou des écarts, la ou les pompe(s) témoigne(nt) des problèmes existants par leur comportement en fonctionnement ou bien par le fait que les caractéristiques ne sont pas atteintes.

Si, en revanche, les éléments préconisés par le constructeur de pompes pour la conception hydraulique et mécanique de la station de relevage sont pris en compte dans la conception globale dès une phase précoce, les dysfonctionnements tels que la non-réalisation des caractéristiques hydrauliques demandées ou les incidents peuvent être exclus.

D'après Prosser [5.1] les critères d'une mauvaise conception d'une station de relevage peuvent être clairement identifiés.

Abordons d'abord les influences géométriques :

1. Dimensionnement insuffisant de vannes ou de vannes de commande
2. Changements brusques de direction (p. ex. angles aigus)
3. Zones d'écoulement immergées à vitesse importante (p. ex. diffuseurs à angle d'ouverture trop grand)
4. Paliers ou gradins au niveau du radier
5. Voiles ne servant pas à la dissipation d'énergie
6. Piliers, colonnes et nervures
7. Mauvaise conception du génie civil ou fonctionnement entraînant une répartition asymétrique de l'écoulement dans la bache de pompage
8. Arrivée d'eau au dessus du niveau d'eau dans la bache de pompage.

Les points 1, 2, 3, 6 et 7 ci-dessus peuvent entraîner des vortex à l'aspiration de la pompe. Dans des cas extrêmes, des vortex de surface introduisant de l'air et des vortex immergés peuvent se former (fig. 5.1). Les points 4, 5 et 8 peuvent provoquer l'entraînement d'air dans le liquide pompé alors que les points 3, 4 et 5 peuvent susciter des conditions d'écoulement instables dans la bêche de pompage.

La bêche de pompage doit constituer une réserve d'eau et assurer de bonnes conditions d'alimentation des pompes. Pour permettre ceci, il faut éviter les conditions hydrauliques suivantes dans la station de relevage :

1. Jets creux générés par des débits d'amenée à vitesse d'écoulement importante heurtant une masse d'eau stagnante ou s'écoulant lentement : de grandes zones tourbillonnaires instables se forment lorsque ces deux masses d'eau se rencontrent.
2. Zones à décollement
3. Écoulements à grande vitesse ( $v > 2 \text{ m/s}$ )
4. Écoulements transitoires
5. Grandes ondes de surface
6. Arrivée d'eau en chute libre

La prise en compte des critères énumérés ci-dessus lors de l'étude et la réalisation de l'ouvrage constitue un grand pas vers un fonctionnement sans incident de la station de relevage.

Lorsqu'on compare les dimensions requises dans les documentations de plusieurs constructeurs et les publications d'instituts de recherche internationalement reconnus, il s'avère que les géométries documentées par KSB dans ses livrets techniques et logiciels permettent de réduire au maximum les dimensions requises des stations de relevage ce qui se traduit par des économies d'argent.



Fig. 5.1 : Vortex aéré sur une pompe d'essai



## 5.2 Installations de dégrillage

L'installation de dégrilleurs grossiers (écartement entre les barreaux de 5 à 30 cm) et/ou de dégrilleurs fins (écartement de 5 à 20 mm) précédés, le cas échéant, de pièges à cailloux est indispensable selon le type et l'origine du liquide pompé pour assurer un fonctionnement sans incident des pompes. Si possible, le nettoyage des dégrilleurs devra être assuré automatiquement par un mécanisme adéquat sans interrompre le fonctionnement des pompes. Ces installations de nettoyage sont particulièrement importantes pour les applications de captage d'eau de surface dans des rivières, lacs et canaux, mais aussi pour les stations de relevage d'eau de pluie (eau d'orage).

Bien souvent, le problème d'entraînement de pierres et de sédiments n'est, à tort, pas pris en compte, notamment lors du captage d'eau de rivière. L'absence dans les stations de relevage des équipements décrits ci-dessus entraîne un ensablement et des dépôts importants dans les zones d'eau morte à l'intérieur de l'ouvrage et dans son environnement

immédiat ainsi qu'une usure accélérée des pompes centrifuges. Des dommages mécaniques sur les roues et d'autres composants des pompes ne sont pas à exclure.

Le prescripteur détermine l'endroit où le dégrilleur sera intégré dans la station. Deux solutions sont envisageables : installer le dégrilleur en amont de la station de relevage ou de la bêche de pompage pour prévenir la pénétration de grosses particules dans l'ouvrage, ou installer des dégrilleurs individuels directement en amont de chaque pompe. Une distance suffisante doit toujours être respectée entre le dégrilleur et l'orifice d'aspiration de la pompe vu que l'installation du dégrilleur réduit légèrement la section de passage libre et que l'écoulement derrière le dégrilleur peut être considérablement déformé par les particules retenues par ce dernier. Derrière le dégrilleur, une répartition égale de la vitesse est obtenue sur toute la section d'écoulement à condition que le dégrilleur ne soit pas encombré de particules retenues. Ceci est favorable au fonctionnement des pompes.

En ce qui concerne le niveau d'eau minimum  $t_1$  dans la bêche de pompage, il faut tenir compte du fait qu'un dégrilleur colmaté représente une résistance à l'écoulement, entraînant un dénivelé entre l'amont et l'aval de la grille. Le niveau d'eau en aval de la grille ne doit pas chuter en dessous du niveau d'eau minimum  $t_1$  requis pour le point de fonctionnement de la pompe (fig. 5.2 a).



Fig. 5.2-a : Dégrilleur automatique

À titre indicatif, l'écartement maximal entre les barreaux devra correspondre à 0,3 à 0,5 fois la section de passage libre de la roue de pompe. Cette valeur ressort de la courbe de pompe (voir livret technique ou programme de sélection).

L'influence du dégrilleur sur le niveau d'eau directement en amont des pompes peut être évaluée à l'aide de la méthode de calcul simplifiée selon Hager [5.2] si l'on ne procède pas à une détermination précise (fig. 5.2 b).

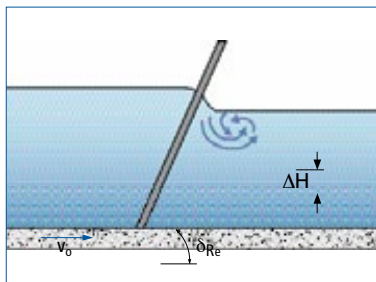


Fig. 5.2-b : Passage de l'eau par le dégrilleur, fond plat

L'abaissement  $\Delta H$  du niveau d'eau derrière le dégrilleur est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta H = \xi_{RE} \times \frac{P1}{\eta_M} \quad (18)$$

$v_0$  est la vitesse d'écoulement en amont du dégrilleur. Le coefficient des pertes globales  $\beta_{gr}$  est fonction de l'angle d'inclinaison de la grille  $\delta_{gr}$  par

rapport à l'horizontale, du coefficient de correction pour le type de nettoyage  $c_{gr}$  et du coefficient  $\zeta_{gr}$ . Pour un dégrilleur parfaitement propre, ce coefficient est de 1. Avec nettoyage mécanique, il est compris entre 1,1 et 1,3 et, avec nettoyage manuel, entre 1,5 et 2. Le coefficient  $\zeta_{gr}$  exprime la forme des barreaux et le rapport de surfaces entre la surface d'écoulement libre  $\bar{a}$  et l'espacement entre les centres des sections de barreaux  $\bar{b}$  (fig. 5.2 c).

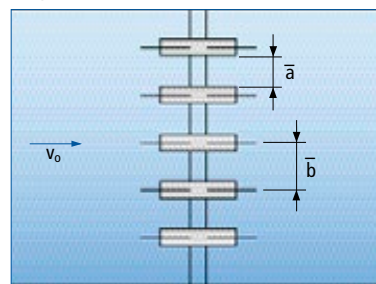
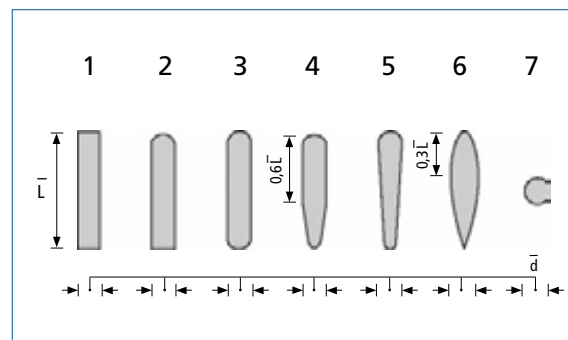


Fig. 5.2-c : Projection horizontale du dégrilleur

On obtient donc :

$$\xi_{RE} = \beta_{RE} \times \zeta_{RE} \times c_{RE} \times \sin \delta_{RE} \quad (19)$$



Formes de barreaux

Les valeurs suivantes sont applicables aux différentes formes de barreaux (fig. 5.2 d) :

Forme	1	2	3	4	5	6	7
$\beta_{gr}$	1	0,76	0,76	0,43	0,37	0,3	0,74

$\bar{L}$  est la longueur du profil de barreau et  $\bar{a}$  sa largeur. Si le rapport  $\bar{L}/\bar{a}$  est approximativement 5 et si la condition  $b/a > 0,5$  est remplie, la formule pour la détermination de  $\xi_{gr}$  peut être simplifiée :

$$\xi_{RE} = \frac{7}{3} \beta_{RE} \times \left[ \frac{\bar{b}}{\bar{a}} - 1 \right]^{\frac{3}{4}} \times c_{RE} \times \sin \delta_{RE} \quad (20)$$

Pour compenser les pertes de charge  $\Delta H$  générées par le passage du dégrilleur, le fond de l'ouvrage derrière le dégrilleur est souvent abaissé de cette valeur  $\Delta z$  (fig. 5.2 e) :

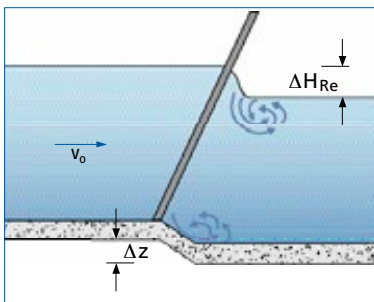


Fig. 5.2-e : Dégrilleur dans une installation à fond abaissé

$$\Delta H = \Delta z \quad (21)$$

Pour donner un ordre de grandeur, les pertes de charge générées par le dégrilleur sont d'environ 5 cm en cas de nettoyage mécanique et 10 cm en cas de nettoyage manuel.

Pour la sélection précise du dégrilleur, nous recommandons de procéder selon la méthode d'Idelcik [5.3, p. 504 et suivantes].

Cette méthode est indiquée quand il faut prendre en compte l'influence d'un écoulement en biais devant le dégrilleur ou quand la forme des barreaux est très différente de celles de la fig. 5.2-d.

Les dégrilleurs sont souvent installés à proximité immédiate de l'orifice d'aspiration. La distance requise  $Y$  entre l'installation de dégrillage et l'orifice d'aspiration doit correspondre au moins à  $4 \times D$  pour les dégrilleurs simples droits ( $D =$  diamètre extérieur de l'orifice d'aspiration de la pompe). D'autres types de dégrilleurs peuvent entraîner la formation de jets creux derrière le dégrilleur. Pour ceux-ci, il convient de respecter une distance minimum  $Y$  de  $6 \times D$  et de la vérifier, le cas échéant, par l'intermédiaire d'essais de modélisation approfondis.

Le nettoyage du dégrilleur doit être de préférence automatique. La différence des niveaux d'eau en amont et en aval du dégrilleur peut servir de critère pour déclencher l'opération de nettoyage. Il est ainsi garanti que le nettoyage s'effectue en fonction des besoins réels.

Le nettoyage manuel est déconseillé pour les stations de relevage en service continu puisqu'il suppose des contrôles réguliers du niveau d'eau et des opérations de nettoyage répétées par le personnel d'exploitation. La variante du nettoyage selon une programmation horaire ne présente pas non plus une fiabilité suffisante.

L'emplacement de l'installation de dégrillage (en amont de la station de relevage ou en amont de chaque pompe) et l'écartement requis entre les barreaux doivent être déterminés en fonction de la forme et de la taille de la roue et de la nature du liquide pompé.

### 5.3

#### Formation de boues de surface dans les stations de relevage des eaux usées

Des boues de surface peuvent se former en fonctionnement de la station de relevage dû à la présence de particules dans les eaux usées. Si ces particules sont plus légères que l'eau, elles remontent à la surface et s'accumulent dans les zones à faible vitesse d'écoulement. Les matières ayant une densité voisine de celle de l'eau restent en suspension jusqu'à ce qu'il y ait un apport d'air à la suite d'une chute d'eau, par exemple. Les petites bulles d'air se collent aux particules en suspension et ensemble, elles remontent à la surface. Les particules dont la densité est nettement supérieure à celle de l'eau retombent au fond de la bache de pompage. Suivant la composition de ces dépôts de sédimentation, il faut des vitesses d'écoulement bien supérieures aux vitesses habituelles de 0,7 à 0,8 m/s pour entraîner les dépôts [voir 5.5].

Dans le cas d'un temps de séjour suffisamment long des eaux et d'une couche ininterrompue de boues de surface, les eaux usées sont hermétiquement séparées de l'air et l'apport d'oxygène dans les eaux usées cesse.

Ceci met fin au processus d'oxydation aérobie et accélère la putréfaction anaérobie. Les produits de réaction se formant lors de ce processus de putréfaction peuvent constituer de gros problèmes. Notamment les composés de sulfure d'hydrogène sont nuisibles à la santé, inflammables, corrosifs et source de mauvaises odeurs.

La formation de boues de surface est favorisée par les matières fécales, huiles, graisses, cheveux et fibres contenus dans les eaux usées.

Pour éviter la formation de sulfures dans les eaux usées, il faut veiller à ce que l'apport d'oxygène à la surface de l'eau soit égal à la consommation d'oxygène. Pour cela, il est nécessaire d'éviter au maximum la présence de particules flottant à la surface des eaux usées et de défavoriser la formation de boues de surface.

Les mesures suivantes permettent d'éviter ou de réduire les boues de surface :

- Éviter dans la mesure du possible les particules flottant à la surface de l'eau.
- Évaluer les conséquences d'une chute des eaux usées dans la bache de pompage.
- Éliminer les incrustations par nettoyage manuel (jet d'eau haute pression).
- Prévoir un revêtement de surface (éviter la corrosion du béton).
- Optimiser (réduire) le temps de séjour des eaux usées dans la bache de pompage ; limiter si possible le temps de séjour à 6 à 8 heures au maximum en tenant compte de la courbe de variation journalière.
- Détruire les boues de surface éventuelles par un écoulement turbulent (conduites de rinçage, mélangeurs).

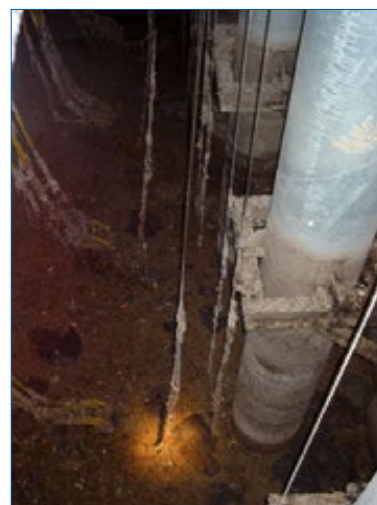


Fig. 5.3 : Formation de boues de surface dans la bache de pompage

- Éviter les régulations de type « niveau d'eau constant » vu que celles-ci favorisent la formation de boues de surface.
- Optimiser la sélection des pompes. Si possible éviter la mise en œuvre de pompes avec dilacérateur car celui-ci empêche les turbulences à l'aspiration. Définir le point d'arrêt dans la zone de débit réduit si possible. Les turbulences qui se développent en fonctionnement à charge partielle assurent un brassage efficace des eaux dans la bêche de pompage.
- Définir des cycles de rinçage dans la bêche de pompage, si possible avec les pompes de service installées.
- Optimiser la géométrie de la bêche de pompage (surface libre minimale par rapport au volume de bêche maximal).
- Utiliser au maximum le volume de la bêche de pompage comme volume utile pour les pompes.

L'installation d'équipements auxiliaires comme des dispositifs de retenue des matières solides, des mélangeurs ou des dégrilleurs entraîne des frais d'investissement et de maintenance. Il faut en outre assurer l'élimination des matières solides retenues suivant la réglementation.

#### 5.4 Formes de pente dans les bèches de pompage

Lors de l'étude de la bêche de pompage, il est important de considérer l'aspect de l'entraînement des matières solides généralement contenues dans les eaux usées, chargées et de surface.

À la sortie de la tuyauterie d'alimentation, la vitesse d'écoulement du liquide baisse et des phénomènes de sédimentation peuvent se produire en fonction de la répartition de la vitesse dans l'ouvrage. La ou les pompes ne sont plus capables d'aspirer les particules se déposant et de les entraîner hors de l'ouvrage en même temps que l'eau.

Dans un ouvrage qui ne comporte pas de plans inclinés, la sédimentation va gagner en ampleur jusqu'à modifier les conditions d'écoulement dans l'ouvrage et entraîner le colmatage des pompes. Ce problème peut être évité en prévoyant des plans inclinés (enrobage des angles) suffisamment grands. Les angles peuvent varier en fonction de la surface de

l'ouvrage. L'association allemande pour l'assainissement recommande un angle de 60 degrés (ATV-DVWK-A134). Or, ceci a l'inconvénient d'entraîner des frais de construction élevés car l'ouvrage doit être très profond pour un volume d'eau identique. Le revêtement des surfaces permet d'avoir un angle plus petit et de réduire ainsi la profondeur de l'ouvrage (voir les recommandations de l'Hydraulic Institute 9.8 de 1998).

Si le fond de la bêche de pompage est très peu incliné, on peut envisager la possibilité de guider le flux (à l'aide de structures internes, par exemple) pour assurer le rinçage de la bêche. Une solution consiste en un changement local de la section mouillée pour augmenter la vitesse d'écoulement et faciliter ainsi l'entraînement des matières solides et des sédiments. La règle générale veut que toutes les zones d'écoulement lent et les zones d'eau morte soient à enrober de béton pour exclure définitivement la formation de dépôts.

Afin d'éliminer le risque de dépôts dans les zones d'écoulement lent, il est conseillé de réaliser en pente appropriée le secteur entre le pied d'assise de la pompe et la paroi de l'ouvrage (vu dans le sens de l'arrivée d'eau, fig. 5.4a). Cette pente devra être conçue de manière à permettre les travaux de montage ultérieurs sur le pied d'assise (libre accès pour le positionnement et le serrage de la visserie).

Le revêtement du béton ne facilite pas seulement le glissement des particules contenues dans les eaux usées, mais il protège l'ouvrage de la corrosion. Malgré sa grande importance, ce thème ne sera pas développé ici.

À la demande de KSB, l'université technique de Berlin a mené des études approfondies à ce sujet. Les résultats de ces études mettent en évidence l'influence de l'angle d'inclinaison d'une pente sur le comportement de glissement de différentes particules contenues dans les eaux usées (fig. 5.4a).



Fig. 5.4a : Réalisation d'un modèle réduit d'une station de relevage avec pentes et nervures.

En se basant sur les vitesses d'écoulement qui s'installent dans la bêche de pompage selon la fig. 5.4b, on peut éventuellement réduire l'angle d'inclinaison sans risque de formation de dépôts au fond de la bêche.

Ceci se ferait de nouveau sentir sur les coûts de génie civil. Les conditions qui s'installeront dans la bêche de pompage peuvent être prévues de manière plus précise par une simulation par la Mécanique des Fluides numérique (désignée par la suite par MFN), par exemple (voir le chapitre 5.11 « L'importance des simulations MFN »). L'influence de la destruction de la surface (augmentation de la rugosité) par les matières solides contenues dans les eaux usées ou de l'augmentation de la résistance au glissement (collage) par des huiles et graisses n'a pas fait l'objet de l'étude et doit être évaluée en fonction de la nature des eaux usées.

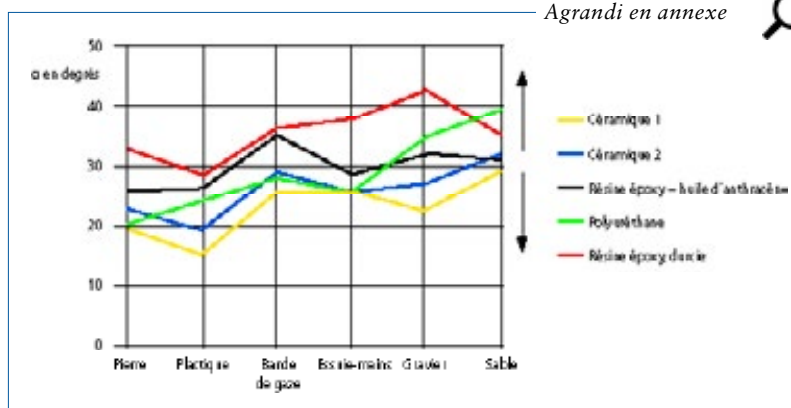


Fig. 5.4 b : Angle de glissement de différents corps solides contenus dans les eaux usées pour divers types de revêtement (en négligeant l'influence de l'écoulement)

### 5.5 Nervures prévenant les vortex immergés

Des conditions d'écoulement défavorables à l'aspiration des pompes peuvent entraîner des vortex immergés qui ont une influence néfaste sur les caractéristiques et le niveau de bruit des pompes. Ce risque de formation de vortex peut être pris en compte dès la phase d'étude de la station de relevage en prévoyant de nervures installées en dessous ou entre les pompes (fig. 5.5 a). Les nervures placées sous l'orifice d'aspiration des pompes influent directement sur l'écoulement en amont en empêchant les turbulences. Les nervures positionnées entre les pompes servent à éviter la formation de vortex immergés. Les dimensions requises découlent de la géométrie de la taille de pompe prévue. La position d'une nervure placée en dessous de la pompe doit être absolument symétrique par rapport à l'orifice d'aspiration de celle-ci. Le cas contraire entraîne un écoulement asymétrique à l'entrée de la roue avec les conséquences que l'on sait. Les dimensions déterminées doivent alors être adaptées à la

géométrie de la bêche de pompage ou rallongées en fonction des bermes et des contours de la paroi. Ceci réduit le risque d'une vitesse d'écoulement trop faible à proximité immédiate de la pompe et empêche en même temps la formation de dépôts.

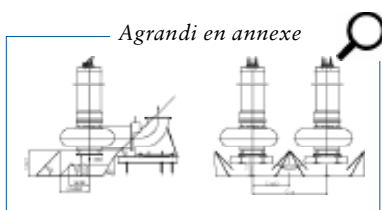


Fig. 5.5a : Géométrie des nervures placées en dessous ou entre les pompes

Les nervures peuvent être réalisées en béton ou, dans certains cas, en tôle d'acier inoxydable. Les constructions en tôle ont l'avantage de pouvoir être montées une fois que tous les travaux de bétonnage et d'installation des pompes sont achevés. Il est alors plus facile de maîtriser la contrainte de la symétrie par rapport à l'orifice d'aspiration de la pompe.

La position des nervures entre les pompes est basée sur les distances minimales découlant du débit volumique maximal requis de chaque pompe (fig. 5.5 b).

L'asymétrie visuelle qui peut être observée est sans importance pour l'effet hydraulique de ces nervures. Elle résulte de la position excentrique de l'orifice d'aspiration par rapport au corps de pompe en forme de volute.

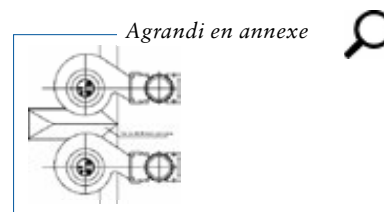


Fig. 5.5b : Vue de dessus - nervures d'écoulement entre deux pompes

### 5.6 Dimensions pour la bêche de pompage et l'installation des pompes

Les dimensions minimales requises pour l'installation de pompes dans une bêche de pompage sont fonction du débit volumique maximal requis de chaque pompe et du nombre maximal des pompes installées dans la station de relevage. Ce débit volumique individuel est utilisé pour calculer la distance par rapport à la paroi, la pompe suivante et la canalisation d'entrée.

L'orientation du flux entrant dans la bache de pompage par rapport au plan d'installation des pompes et le niveau d'entrée du liquide sont les critères décisifs pour la suite de l'étude et pour le choix de la conception de l'ouvrage. Le débit volumique total de la station de relevage et/ou le débit volumique individuel maximal de la (des) pompe(s) devront être évalués pour juger de la nécessité ou non d'une étude sur modèle réduit [voir paragraphe 5.8].

Le tableau 5.1 donne un récapitulatif des paramètres de dimensions minimales nécessaires pour la conception d'une station de relevage. Il est basé sur la terminologie du standard internationalement reconnu de l'Hydraulic Institute H.I. 9.8 – 1998 [5.6].

Les diagrammes 5.6a à 5.6c fournissent les dimensions nécessaires en fonction du débit individuel d'une pompe.

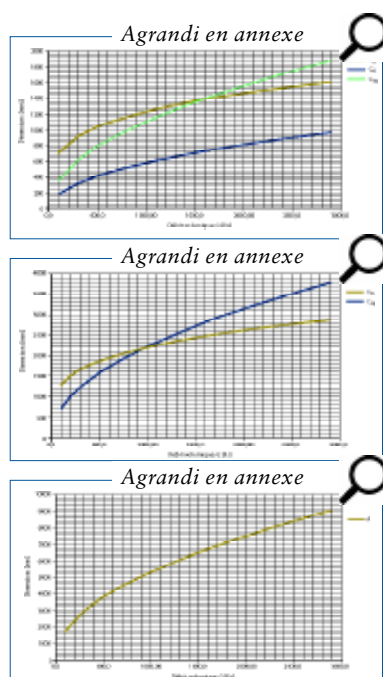


Fig. 5.6a - 5.6c : Dimensions minimales de la bache de pompage

Les diagrammes sont valables pour une installation comprenant au maximum 5 pompes. Si plus de 5 pompes sont installées dans la bache de pompage, les dimensions de celle-ci doivent être validées par une simulation MFN et, le cas échéant, par un essai sur modèle réduit. Dans le cas de plus de 5 pompes installées les unes à côté des autres, la distribution de la vitesse d'entrée dans la bache de pompage et ses effets sont difficilement prévisibles, notamment dans le cas de pompage d'eaux usées.

Si l'eau entre tout droit en direction des pompes, la vitesse d'entrée doit être dissipée sur un voile ouvert en partie basse. Un dénivelé éventuel entre le radier de la canalisation et le niveau d'eau minimum dans la bache de pompage peut être surmonté à l'aide d'une construction « en balcon ». (ci-contre).

Dimension variable	Description
A	Distance entre le centre d'axe de l'orifice d'aspiration de la pompe et l'entrée de l'eau ou la paroi opposée
C <sub>cp</sub>	Distance entre les centres d'axe des orifices d'aspiration de pompes voisines
C <sub>cw</sub>	Distance entre la paroi latérale et le centre d'axe de l'orifice d'aspiration
C <sub>o</sub>	Ouverture dans le voile ou le balcon
C <sub>w</sub>	Largeur de la chambre de dissipation ou du balcon
C <sub>b</sub>	Niveau du balcon au dessus du radier de la bache de pompage
Y	Distance minimum entre le centre d'axe de l'orifice d'aspiration et la sortie d'un dégrilleur installé en amont
α	Angle d'inclinaison du fond en amont du plan d'aspiration

Tableau 5.1 : Signification des variables et dimensions



La dimension de la section d'entrée doit se conformer à la vitesse d'entrée maximale admissible de 2,0 m/s. Le conduit d'alimentation doit comporter une portion droite d'une longueur équivalant à 5 fois le diamètre du tuyau d'entrée pour compenser les effets néfastes des déviations ou structures internes en amont de la bache de pompage. Ceci vaut également pour l'orientation longitudinale de l'entrée d'eau par rapport aux pompes (voir les exemples 5.6.1a, 5.6.1b et 5.6.2c).

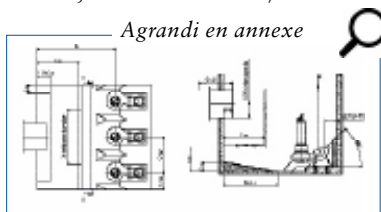


Fig. 5.6.1a : Pompes KRT (installation noyée) à alimentation frontale et dénivelé entre le radier de la canalisation et la bache de pompage

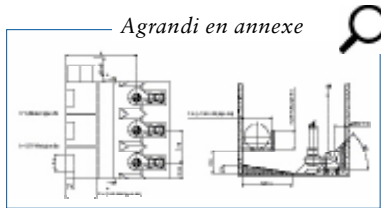


Fig. 5.6.1b : Pompes KRT (installation noyée) à alimentation latérale par rapport aux pompes et dénivelé entre le radier de la canalisation et la bache de pompage

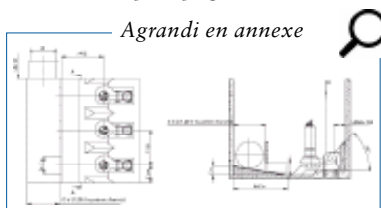


Fig. 5.6.1c : Pompes KRT (installation noyée) à alimentation latérale par rapport aux pompes, sans dénivelé entre le radier de la canalisation et la bache de pompage

**Pompes submersibles en installation noyée**

La position de la canalisation ou du tuyau d'alimentation est un critère important pour la détermination des dimensions minimales de la bache de pompage. Il s'agit de savoir si l'eau entre au niveau du radier de la bache de pompage ou s'il existe un dénivelé (chute de l'eau sur une surface libre avec risque d'apport d'air dans le liquide pompé) et quelle est l'orientation de l'alimentation par rapport aux pompes.

**5.7 Bâches de pompage à charge polluante élevée**

Même une charge polluante qui est temporairement ou durablement plus élevée que d'habitude ne pose pas de problème insurmontable aux stations de relevage modernes à condition que les points suivants soient respectés :

- La bache de pompage est correctement dimensionnée en termes de taille et de forme.
- Le régime de fonctionnement est défini de manière à éviter toute surcharge de l'hydraulique (p. ex. concentration de la charge polluante totale d'un bassin ou de canalisations d'orage sur quelques minutes ).
- Les caractéristiques de la charge polluante ou du

fluide ne sont pas extrêmes (phénomène de curage de réseau par exemple).

Les expériences faites au cours des dernières années dans le monde entier montrent que 3 % des stations de relevage seulement sont soumises à des problèmes de rétention des charges polluantes, matières solides ou boues. Pour ces cas, la mise en œuvre d'un petit mélangeur submersible s'est avérée être une solution efficace (fig. 5.7).



Fig. 5.7 : Mélangeur submersible installé dans une bache de pompage

C'est l'une des possibilités les plus flexibles de remédier au problème en prenant en compte les aspects de temps et de position :

Temps : le mélangeur peut fonctionner pendant une courte durée avant le pompage proprement dit, si son fonctionnement prolongé n'est pas nécessaire. Il permet ainsi de répartir la charge polluante globale dans le volume total de liquide pour optimiser la pompabilité du liquide. La charge polluante est donc évacuée dès le départ avec le liquide et la formation de dépôts est évitée.

Position : en cas de formation de dépôts localisés, le mélangeur peut être positionné de manière à ce que le courant soit dirigé directement sur la zone à problème. Les zones qui, de par leur géométrie ou la position de l'entrée de l'eau, permettent une mise en suspension suffisante des particules, ne nécessitent pas de traitement particulier.

Le mélangeur peut aussi être positionné pour brasser les boues de surface afin de les évacuer avec le liquide. L'installation d'un mélangeur présente donc les avantages principaux suivants :

- Le mélangeur peut être dimensionné en fonction des besoins de l'installation (nature du fluide, taille et conception de la bache de pompage, etc.).
- Le volume total de la bache de pompage peut être brassé par un petit mélangeur.
- Flexibilité (voir ci-dessus).
- Pas de réduction du débit-volume de la pompe et évacuation complète du fluide sans opération de nettoyage.

### 5.8 La nécessité d'essais sur modèle réduit

Les essais sur modèle réduit ont pour objectif de simuler, à échelle réduite, les conditions d'écoulement qui s'installeront dans une station de relevage projetée. Il est ainsi possible de détecter de manière précise les

problèmes survenant (formation de vortex, répartition irrégulière de vitesse, etc.) et d'exercer une influence positive sur ceux-ci.

Le verre acrylique est en général utilisé pour la réalisation des modèles en raison de sa parfaite transparence. Des nombres sans dimension sont utilisés pour la conception du modèle afin de pouvoir transposer les conditions d'écoulement à la station de relevage grandeur nature. Ces nombres décrivent les forces agissant dans le liquide en écoulement. Ils doivent être les plus similaires possibles entre le modèle et l'original. Les forces à prendre en compte sont notamment la force de gravité et les forces de viscosité dynamique, de tension superficielle et d'inertie de l'écoulement du liquide. Les nombres sans dimension applicables sont les suivants :

Nbre de Reynolds	$Re = \frac{vd}{\nu}$
Nbre de Froude	$Fr = \frac{v}{\sqrt{gl}}$
Nbre de Weber	$We = \frac{\rho v^2 l}{\sigma}$

(22)

Légende :

- v = vitesse d'écoulement en m/s
- d = diamètre hydraulique en m
- $\nu$  = viscosité cinématique en m<sup>2</sup>/s
- g = accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup>
- l = longueur caractéristique (dans l'hydraulique) en m
- $\sigma$  = tension superficielle en N/mm<sup>2</sup>

Ces nombres étant en partie interdépendants les uns des autres, il est impossible de les respecter tous en même temps dans le modèle réduit. Il s'agit de trouver un compromis optimal pour le cas d'application donné.

La réalisation d'essais sur modèle réduit est indispensable lorsqu'un ou plusieurs des critères ci-après s'appliquent à l'ouvrage de prise d'eau ou à la bache de pompage :

- La conception de l'ouvrage s'écarte des solutions éprouvées en ce qui concerne les dimensions de la chambre d'aspiration, l'aménagement de la tuyauterie, les distances par rapport aux parois, un changement important de direction entre l'arrivée d'eau à l'ouvrage et la zone d'aspiration en amont des pompes, etc.
- Le débit volumique par pompe est supérieur à 2,5 m<sup>3</sup>/s ou le débit volumique total de la station de relevage est supérieur à 6,3 m<sup>3</sup>/s.
- L'écoulement à l'aspiration des pompes est asymétrique et/ou irrégulier.
- L'écoulement est soumis à des changements de direction importants en cas de fonctionnement alternatif des pompes dans une station de relevage multi-pompes.
- Problèmes survenant dans une station de relevage existante.

**5.9**  
**Montage d'essai**

La géométrie du modèle doit correspondre à l'original en respectant l'échelle choisie et les nombres évoqués ci-dessus. Ceci concerne la partie de l'ouvrage en contact avec le liquide et les pompes. La partie de l'ouvrage et les pompes sont reconstruites dans un matériau transparent. La reconstruction de la roue n'est pas nécessaire, l'essai ne visant que l'étude des conditions d'écoulement en amont de la roue.

La roue est remplacée par un rotamètre dont le nombre de rotations permet de conclure à la formation de vortex à l'aspiration.

Les vitesses d'écoulement sont mesurées à des endroits de référence sur toute la section d'aspiration de la maquette de pompe. Ces mesures s'effectuent par l'intermédiaire d'un tube de Pitot ou par laser. Pour évaluer des vortex, on observe non seulement la surface du liquide, mais aussi les zones sous-jacentes de paroi et de fond. L'intensité des vortex présents dans une section d'écoulement définie est rendue visible par des sondes de couleur. Leur taille est mesurée par l'angle de rotation  $\theta$  du rotamètre selon la formule suivante :

$$\Theta = \tan^{-1} \left( \frac{\pi^{\circ} d_m n}{u} \right) \quad (23)$$

Légende :

- $d_m$  = diamètre de tube (tube d'aspiration de la pompe) m
- $n$  = rotations du rotamètre s-1
- $u$  = vitesse d'écoulement axial m/s

Selon Hecker, les vortex de surface sont classés en six catégories (de 1 = faible à 6 = très fort, fig. 5.9a) et les vortex immergés en trois catégories ou bien en quatre catégories selon Tillack (fig. 5.9b).

Sur les graphiques, ces formations de vortex peuvent paraître bien anodines. Or, les vortex engendrés dans le cadre d'études sur modèle réduit donnent une impression des conditions qui peuvent survenir dans l'installation grandeur nature. Dans les stations de relevage, contrairement au travail en laboratoire, on a rarement à faire à de l'eau claire. Il est donc difficile de déceler les formations de vortex comme cause de problème, notamment s'il s'agit de vortex immergés.

Les critères valables pour la méthode d'étude peuvent varier légèrement selon le type de pompe et selon la conception et la taille de l'installation.

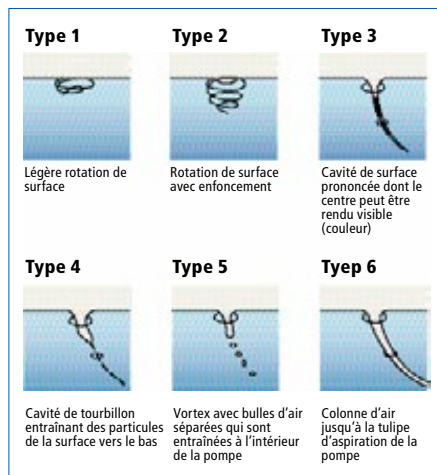


Fig. 5.9a : Classification des vortex de surface selon Hecker (types 1 à 6)

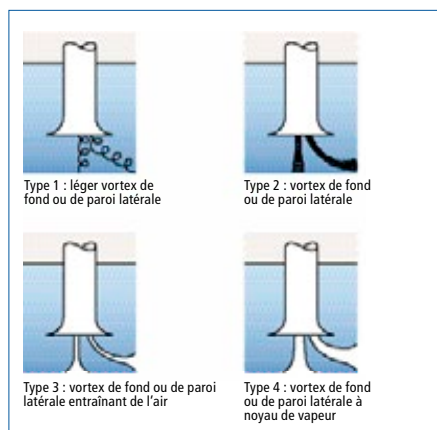


Fig. 5.9b : Classification des vortex immergés selon Tillack (types 1 à 4)

## 5.10

### Evaluation des essais

Avant le terme de la phase d'étude, les résultats de mesure doivent être validés conjointement par le concepteur de l'ouvrage, le client final, le constructeur de pompe et l'organisme de contrôle.

Les critères principaux sont les suivants :

1. La vitesse d'écoulement moyenne aux points de mesure retenus de la section d'aspiration ne doit pas s'écarter de plus de 10 % de la valeur moyenne.
2. L'angle de rotation ne doit pas dépasser 5 degrés. Un angle de rotation de 6 degrés peut être considéré comme acceptable si celui-ci survient pendant moins de 10 % de la durée d'observation.
3. Seuls les vortex de surface de type 1 ou 2 et les vortex immergés de type 1 sont acceptables. Ils peuvent être exceptionnellement tolérés pendant une durée inférieure à 10 % de la durée d'observation.

**Notons que d'une manière générale, les effets peu intenses observés sur le modèle réduit peuvent prendre une ampleur considérable « en grand », dans l'installation réelle !**

L'étude se termine par un rapport détaillé des régimes de fonctionnement examinés. La formation de vortex et les états de fonctionnement observés en fonction des niveaux d'eau testés dans l'ouvrage sont enregistrés sur support de visualisation et remis au client.

KSB prend en charge sur demande la réalisation d'études sur modèle réduit dans le cadre de projets.

### 5.11 L'importance des simulations MFN

Dans de nombreux cas, les ouvrages de prise d'eau doivent être adaptés aux conditions spécifiques locales et leur standardisation est difficile. C'est pourquoi des essais sur modèle réduit sont fréquemment effectués dans une phase précoce pour assurer le fonctionnement fiable de l'installation « grandeur nature ». L'objectif premier de ces études est d'exclure la formation de vortex de surface entraînant de l'air et de vortex immergés ainsi que d'assurer une répartition de vitesse convenable à l'aspiration de la pompe. Vu qu'il s'agit d'un écoulement à surface libre, la mise à l'échelle est basée sur la loi de similitude de Froude.

Une analyse ciblée des conditions d'écoulement régnant dans une zone précise n'est possible qu'à travers des mesures complexes des vitesses locales ou en utilisant des capteurs de couleur. Les possibilités d'évaluation du comportement de sédimentation de matières solides, une demande fréquemment formulée, ou la détermination des vitesses à un endroit quelconque de l'ouvrage de prise d'eau sont assez limitées.

KSB propose d'analyser les problèmes éventuels pouvant survenir lors du pompage d'eaux usées au moyen d'un logiciel de simulation MFN éprouvé pour en permettre un pronostic sûr.

KSB soumet les essais sur modèle réduit effectués dans ses locaux et leurs résultats à une analyse numérique pour faire profiter ainsi ses clients de ses expériences approfondies. Il s'est avéré que la pertinence des problèmes des pompes est correctement reflétée. Ceci concerne en principe tous les types de vortex immergés. En général, l'écoulement caractéristique qui s'établit est également représenté correctement, par exemple les écoulements instables dangereux en amont des pompes, la présence de prérotation et les zones de décollement.

Pour autant que ces dernières concernent la surface de l'eau, elles influent largement sur la formation précoce de vortex aérés. Tandis que la formation et le développement de ces turbulences, qui atteignent souvent un volume important par l'apport d'air, sont difficiles à maîtriser dans une analyse numérique, une prédiction numérique semble tout à fait possible pour des spécialistes expérimentés.

Bien que, pour les fins de la simulation, la surface libre de l'eau soit en général assimilée à une paroi sans frottement, les causes des vortex aérés peuvent être identifiées. On essaie pour cela d'établir un rapport entre cette hypothèse simplifiée et l'apparition effective de vortex aérés.

L'objectif des calculs est atteint lorsque les conclusions découlant de l'analyse numérique correspondent aux résultats de l'essai sur modèle réduit même pour des conditions d'écoulement extrêmes en amont des pompes. Dans ce cas, la sécurité de fonctionnement des pompes est assurée. Les expériences faites chez KSB montrent que ceci est possible.

De par sa complexité, le calcul fournit en général plus d'indices sur des écoulements critiques que l'essai sur modèle réduit. L'interprétation correcte du résultat du calcul est essentielle pour distinguer l'important de l'insignifiant et quantifier les facteurs à risque. La vérification des conditions d'écoulement

en amont des pompes par simulation MFN constitue aujourd'hui un procédé bien établi. Le nombre croissant de clients demandant ce type de calculs pour des ouvrages de prise d'eau nous le montre.

Les questions auxquelles la simulation doit apporter des réponses doivent être préalablement discutées en profondeur avec le client pour assurer l'efficacité des calculs MFN. Les problèmes à analyser doivent être clairement définis pour que l'outil complexe de l'étude MFN puisse avantageusement être mis en œuvre.

### Avantages des études MFN

Les études MFN ne sont pas censées remplacer les essais sur modèle réduit. La MFN est un outil précieux pour tous les cas où la nature des problèmes de fonctionnement attendus impose sa mise en œuvre. Elle permet d'analyser les écoulements à caractère instable ou les processus de sédimentation dans une bêche de pompage plus facilement que ce serait possible par un essai sur modèle réduit.

Par conséquent, les problèmes potentiels et leur nature doivent être évalués dans un premier temps par l'intermédiaire d'une analyse logique. Ensuite il convient de décider si les problèmes de fonctionnement attendus peuvent être résolus au mieux par un essai sur modèle réduit, par une étude MFN ou par la combinaison des deux.

### Logiciel utilisé

Un logiciel a été développé pour résoudre les équations générales de Navier-Stokes qui décrivent le mouvement des fluides. Ce logiciel est à présent commercialisé. KSB utilise le logiciel du fournisseur ANSYS qui constitue un outil efficace pour pronostiquer assez précisément les conditions d'écoulement qui s'installeront. L'investissement en termes de temps et d'argent que demande une telle simulation dépend :



Fig. 5.11a : Écoulement du fluide dans une station de relevage KRT

- de l'ampleur de la zone d'écoulement à modéliser,
- de la résolution géométrique souhaitée,
- de la puissance de calcul de l'ordinateur,
- de l'ampleur des résultats et de leur présentation (rapport).

### Méthode

Les équations de Navier-Stokes servent de base pour la description mathématique des écoulements de fluides. Elles décrivent, par l'intermédiaire d'équations différentielles partielles pour le bilan de masse, d'énergie et d'impulsion, ce qui se passe en chaque point d'un écoulement.

Le calcul en chaque point individuel à l'intérieur d'un écoulement tridimensionnel supposerait un travail immense et n'est donc pas réalisable. Par conséquent, on crée un maillage dont on calcule les points d'intersection. Après une mise au point de ce modèle, on obtient des informations sur la répartition de pression et de vitesse que l'on peut soumettre à une analyse numérique et/ou graphique.

Afin de rendre les calculs comparables, un modèle de turbulence est utilisé qui, à l'expérience, reflète correctement les conditions réelles.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (24)$$

Fig. 5.11b : Équations Navier-Stokes décrivant le mouvement des fluides

**Objectifs**

L'essai sur modèle réduit est particulièrement adapté pour le diagnostic des vortex de surface et des valeurs de turbulences aux orifices d'aspiration des pompes. L'analyse de la répartition de la vitesse au niveau de la roue n'est cependant possible qu'à grand renfort de moyens. Dans le cas de chambres d'aspiration à géométrie complexe, il faut une longue expérience pour évaluer la qualité de l'écoulement lors d'un essai sur modèle réduit.

C'est ici que réside l'atout principal de l'étude MFN : l'écoulement peut être parfaitement mis en évidence dans le volume entier. La qualité de l'écoulement peut être efficacement analysée grâce aux zones de vitesse constante et aux plans de coupe.

Les problèmes graves suivants peuvent survenir dans la chambre d'aspiration :

- Écoulement instable dans la zone des pompes
- Sédimentation dans les grandes stations de relevage d'eaux usées
- Vortex aérés et vortex immergés
- Écoulement tourbillonnaire en amont des pompes (la prérotation augmente la cavitation et entraîne des modifications conséquentes de la hauteur manométrique)
- Apport d'air (en l'occurrence, entraînement d'air par le liquide)

Les écoulements instables sont des écoulements non permanents. Lorsque la qualité de l'écoulement change avec le temps, les forces résultantes d'accélération sont générées

par la pompe ce qui entraîne en général des vibrations. Les pompes à vitesse de rotation spécifique élevée sont particulièrement menacées.

Dans le cas des eaux usées, la sédimentation est un phénomène qui peut gravement porter atteinte au fonctionnement de l'installation. L'élimination de ces sédiments peut entraîner un coût élevé. Le risque de sédimentation dans la bache de pompage peut être analysé en contrôlant les vitesses d'écoulement près du fond.

Les vortex aérés dus à la qualité de l'écoulement dans la chambre sont assez faciles à pronostiquer. Ainsi une entrée tangentielle du liquide dans la chambre entraînera très probablement un vortex dans la chambre au centre duquel se formera un vortex aéré. La fig. 5.11c présente l'exemple d'un tel écoulement.

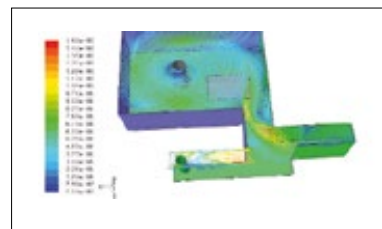


Fig. 5.11c : Ouvrage réalisé

Les écoulements turbulents ont un impact sur la hauteur manométrique de la pompe et la puissance absorbée. Ils modifient aussi les caractéristiques de cavitation.

L'apport d'air ne peut pas être calculé. Entraîné par l'écoulement, il peut être évalué à travers la répartition de la vitesse dans le volume.

### Conclusion

Si des problèmes de fonctionnement sont probables, il convient de mettre en œuvre tous les moyens afin de les analyser et d'éviter les frais consécutifs éventuels.

La simulation par la MFN est un moyen utile pour évaluer les écoulements dans les ouvrages de prise d'eau et les bâches de pompage. Elle permet d'éviter des dysfonctionnements de la future station de pompage d'eau propre ou d'eaux usées. Une analyse logique de l'installation étudiée constitue la base de l'efficacité de l'essai sur modèle réduit et de l'étude MFN.

Chez KSB, la simulation MFN est l'un des outils d'ingénierie standard utilisés depuis de longues années. Pour certaines stations de relevage, la mise en œuvre combinée de la simulation MFN et de l'essai sur modèle réduit est la solution de choix pour la réalisation ou l'optimisation.

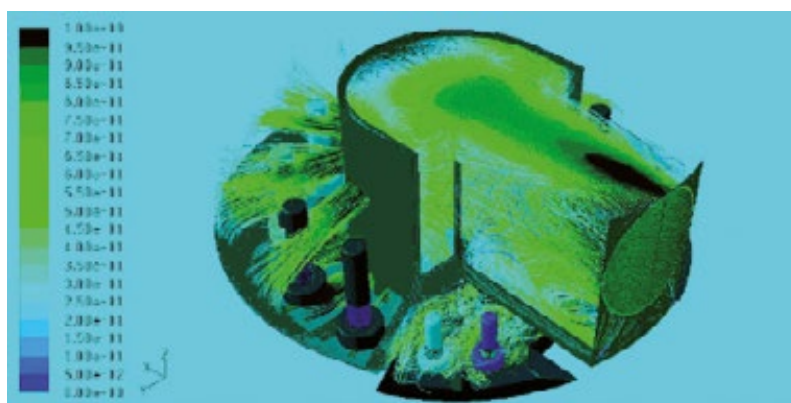


Fig. 5.11d : Simulation d'une station de relevage multi-pompes



Fig. 5.11e : Ouvrage réalisé de la station de relevage KRT précédemment calculée



## Bibliographie

- [5.1] M. J. Prosser, The Hydraulic Design of Pump Sumps and Intakes, BHRA, juillet 1977
- [5.2] W.H. Hager, Abwasserhydraulik: Theorie und Praxis, Springer Verlag, ISBN 3-540-55347-9, 1994
- [5.3] I.E. Idel'cik, Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition, Research Institute for Gas Purification, Moscow 1994, ISBN 0-8493-9908-4
- [5.4] W. Kröber, Entwicklung eines Abwasserpumpschachts mit optimierter Strömungsführung zur Verhinderung von Schwimmschlammdecken und Sedimentationen (mémoire réalisé à l'université technique de Berlin), mai 1996
- [5.5] Norma Kirchheim, Kanalablagerungen in der Mischkanalisation, DWA 2005
- [5.6] Hydraulic Institute, American National Standard for Pump Intake Design, ANSI / HI 9.8-1998

## Auteurs

- Chapitre 1 - Dipl.-Ing. Ralf Hahn
- Chapitre 2 - Dipl.-Ing Thomas Pensler
- Chapitre 3 - Dipl.-Ing. Ralf Kurrich
- Chapitre 4 - Dipl.-Ing. Günter Grothe, Dipl.-Ing. Karl-Heinz Deutsch
- Chapitre 5 - Dipl.-Ing. Peer Springer, Dipl.-Ing. Bernd Kothe

Diagrammes

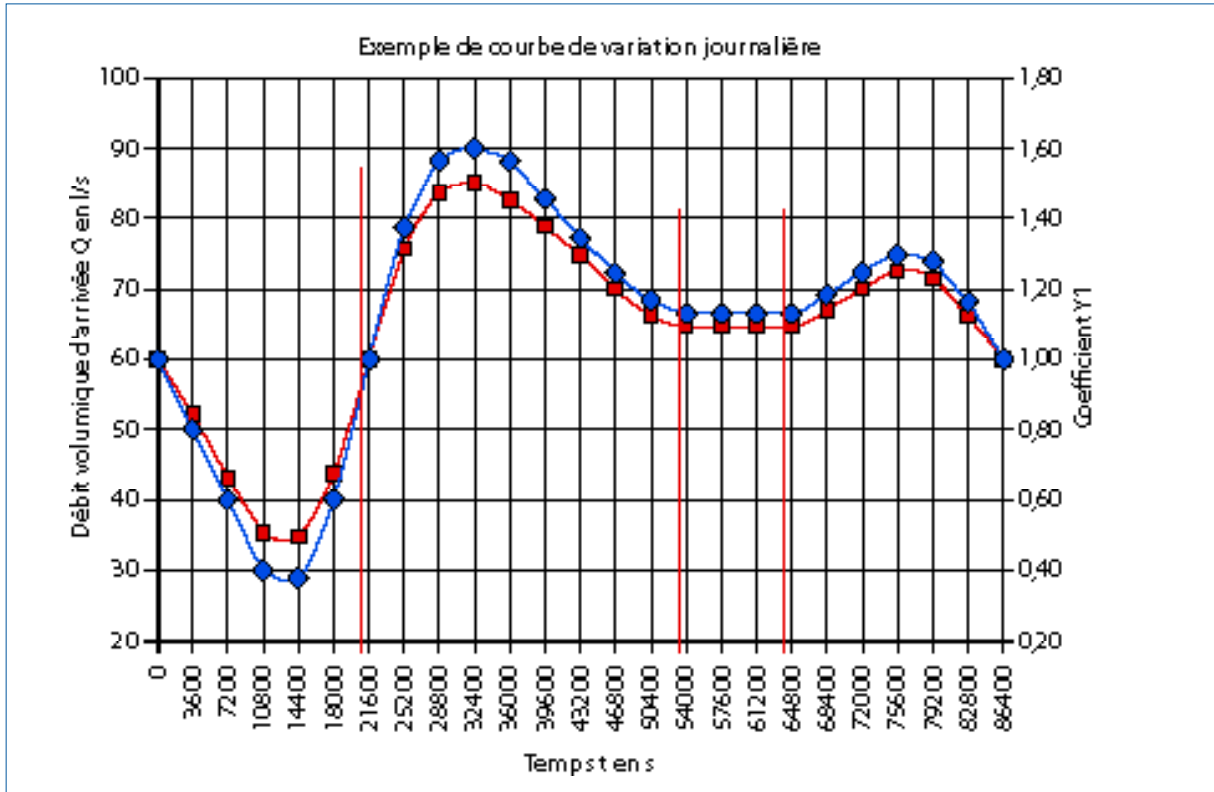


Fig. 1 : Courbe de variation journalière du débit d'arrivée pour la modélisation mathématique (exemple)

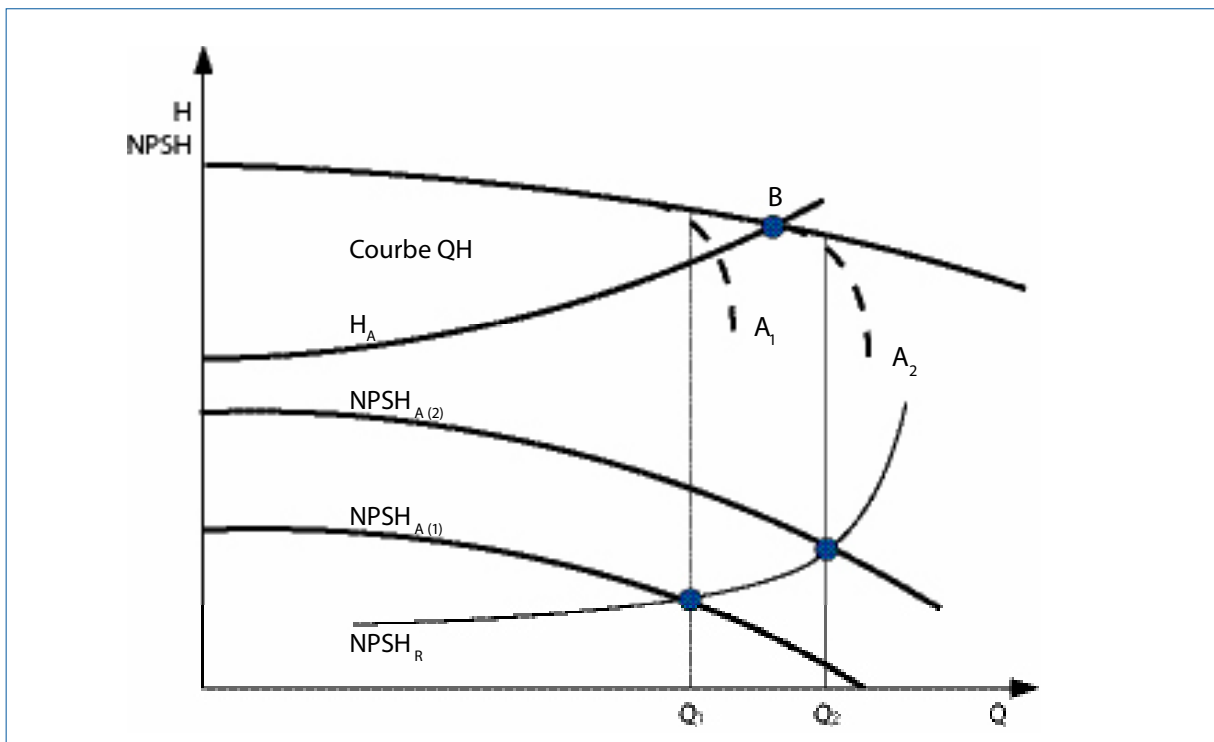


Fig. 1.4 : Influence du NPSH disponible sur la courbe débit-hauteur de la pompe (source : KSB Kreiselpumpen-Lexikon)

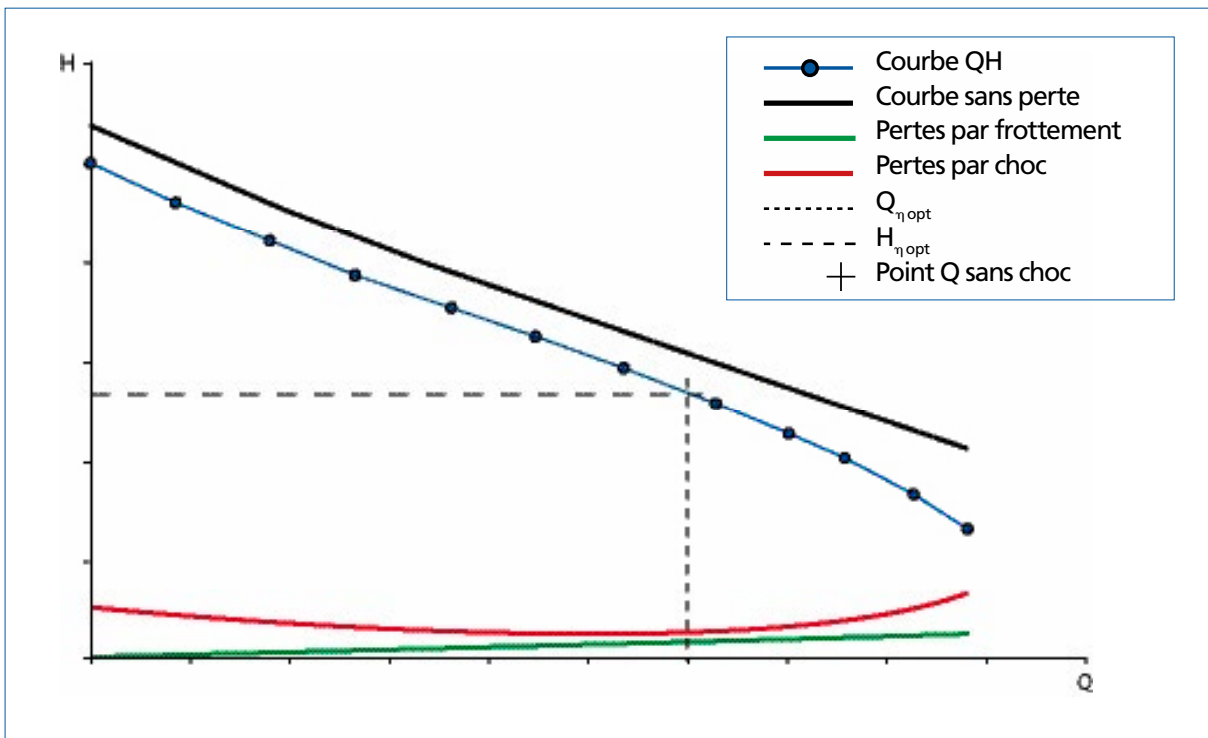


Fig. 1.9 : Courbe débit-hauteur et courbe diminuée des pertes hydrauliques internes. Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

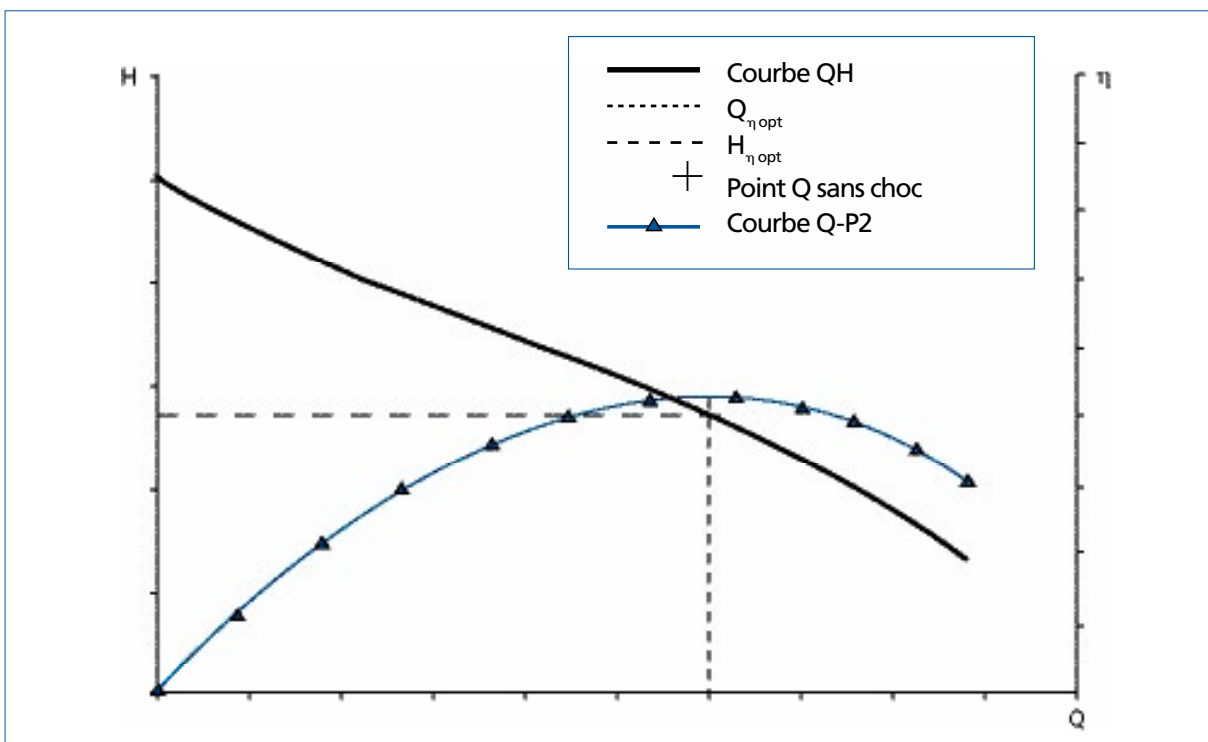


Fig. 1.10 : Courbe de rendement  $\eta = f(Q)$ . Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

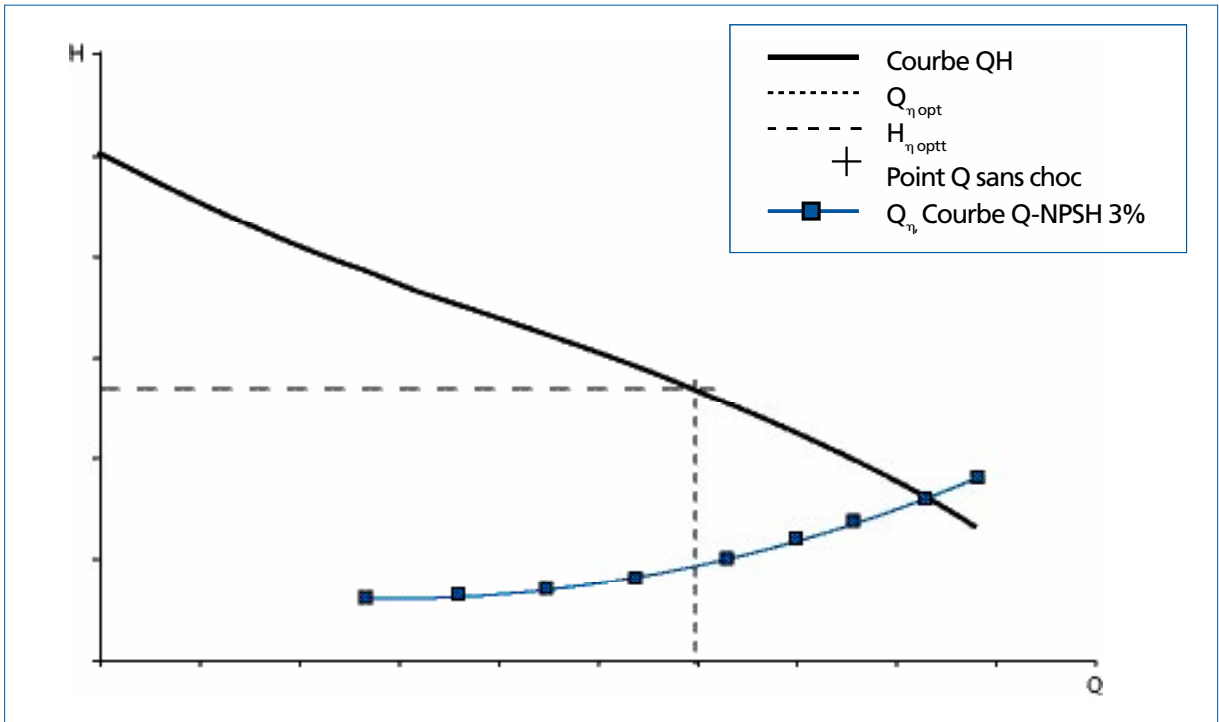


Fig. 1.11 : Courbe  $NPSH_{3\%}$ ,  $NPSH_{3\%} = f(Q)$ . Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

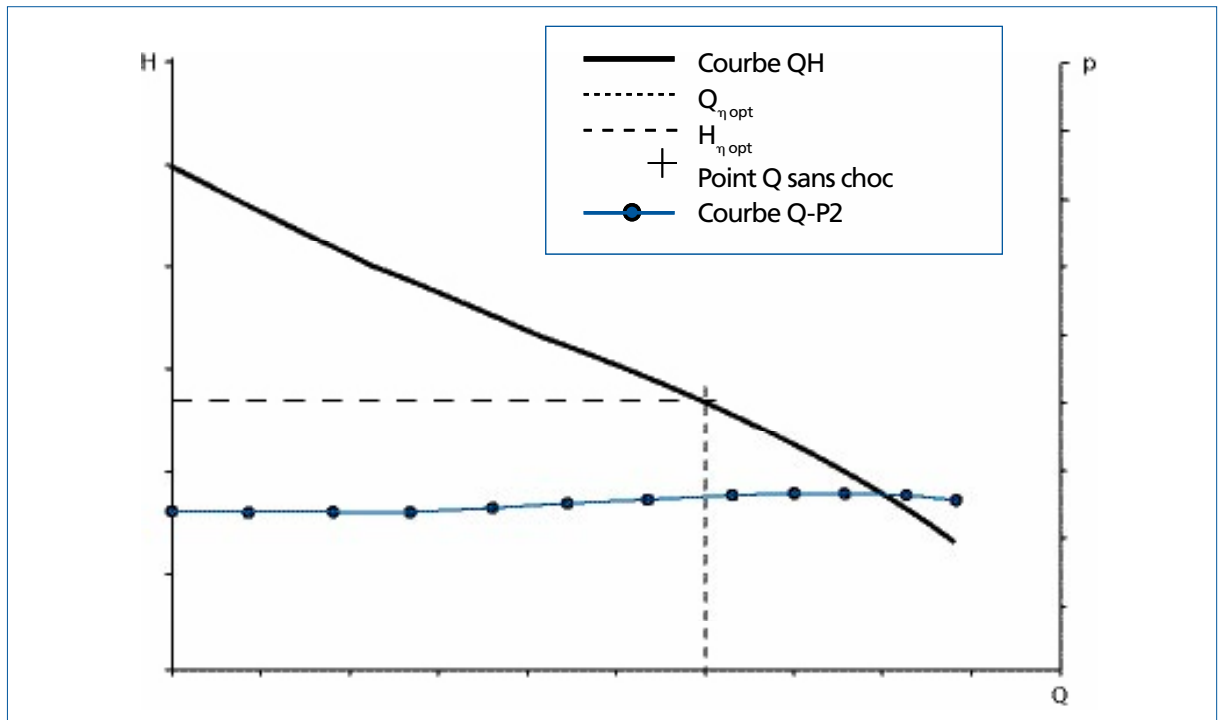


Fig. 1.12 : Puissance électrique absorbée  $P2 = f(Q)$ .  
Représentation proportionnelle, rapportée au point optimum.

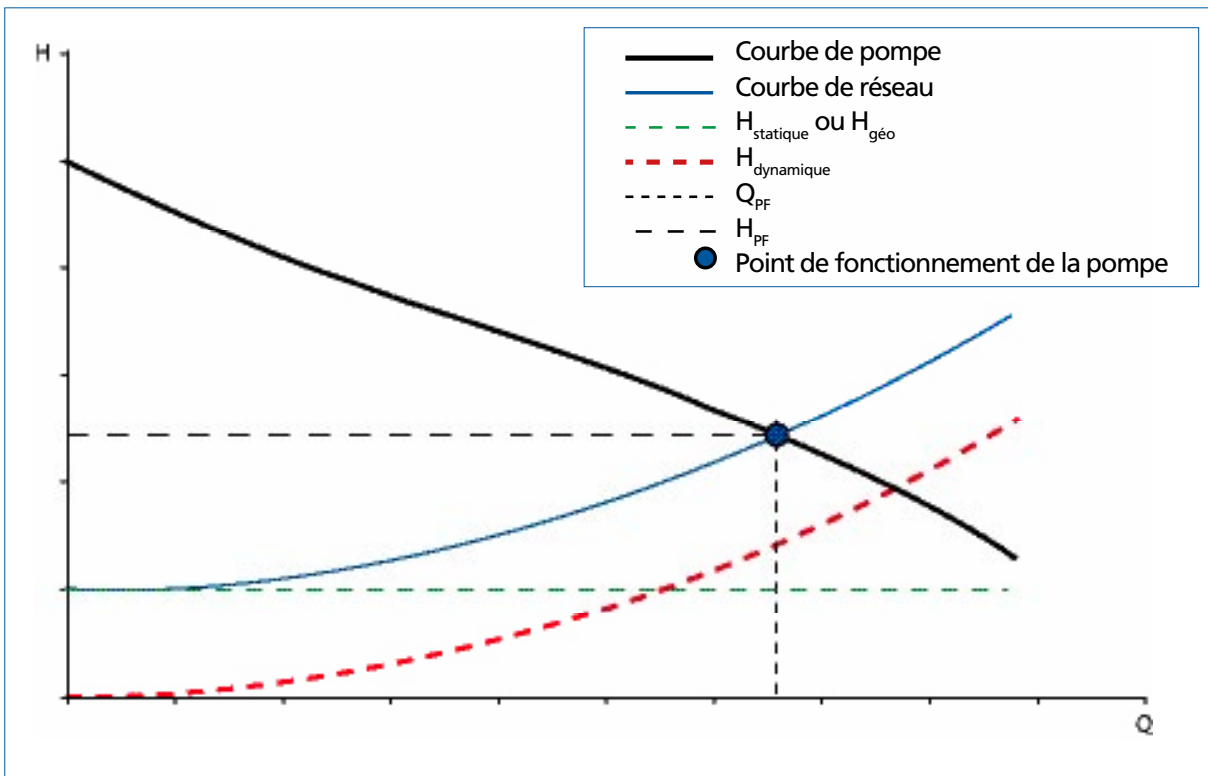


Fig. 1.13 : Courbe de réseau – somme des parts de hauteur manométrique statique et dynamique

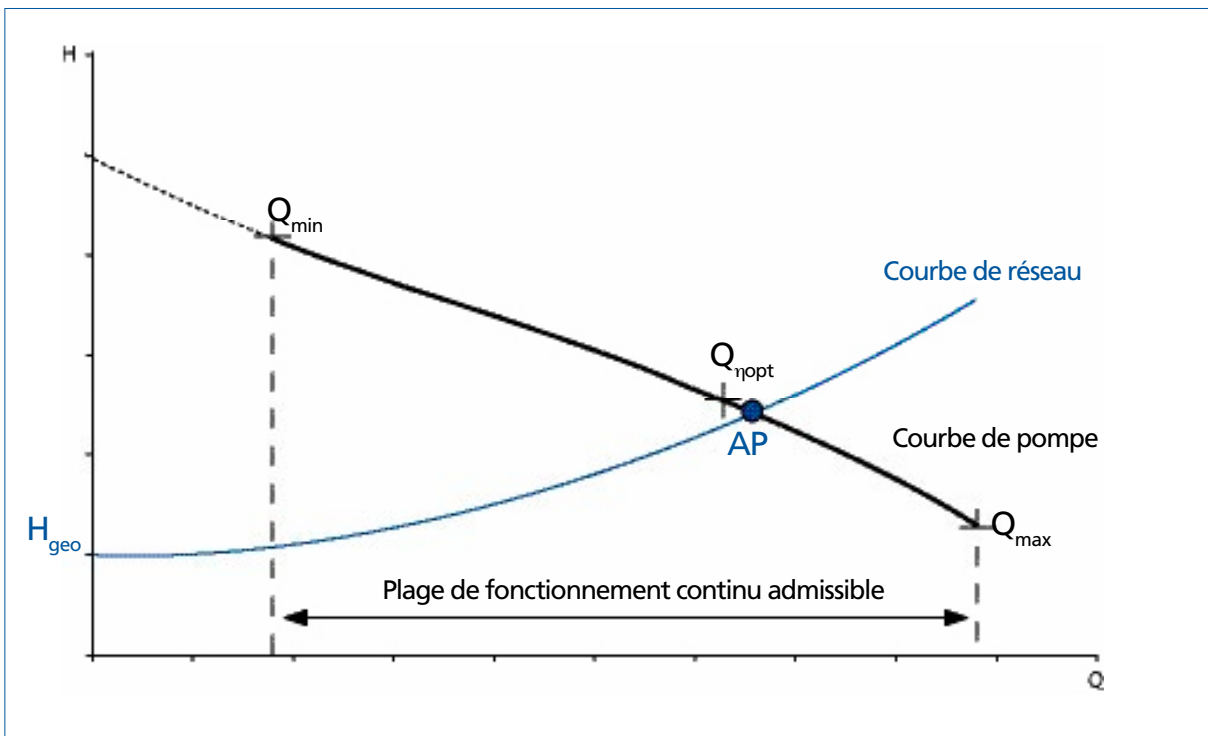


Fig. 1.14 : Limites de fonctionnement  $Q_{min}$  et  $Q_{max}$  – représentation de la plage de fonctionnement continu d'une pompe centrifuge ( $Q_{min} = env. 0,3 * Q_{\eta opt}$  et  $Q_{max} = env. 1,4 * Q_{\eta opt}$ )

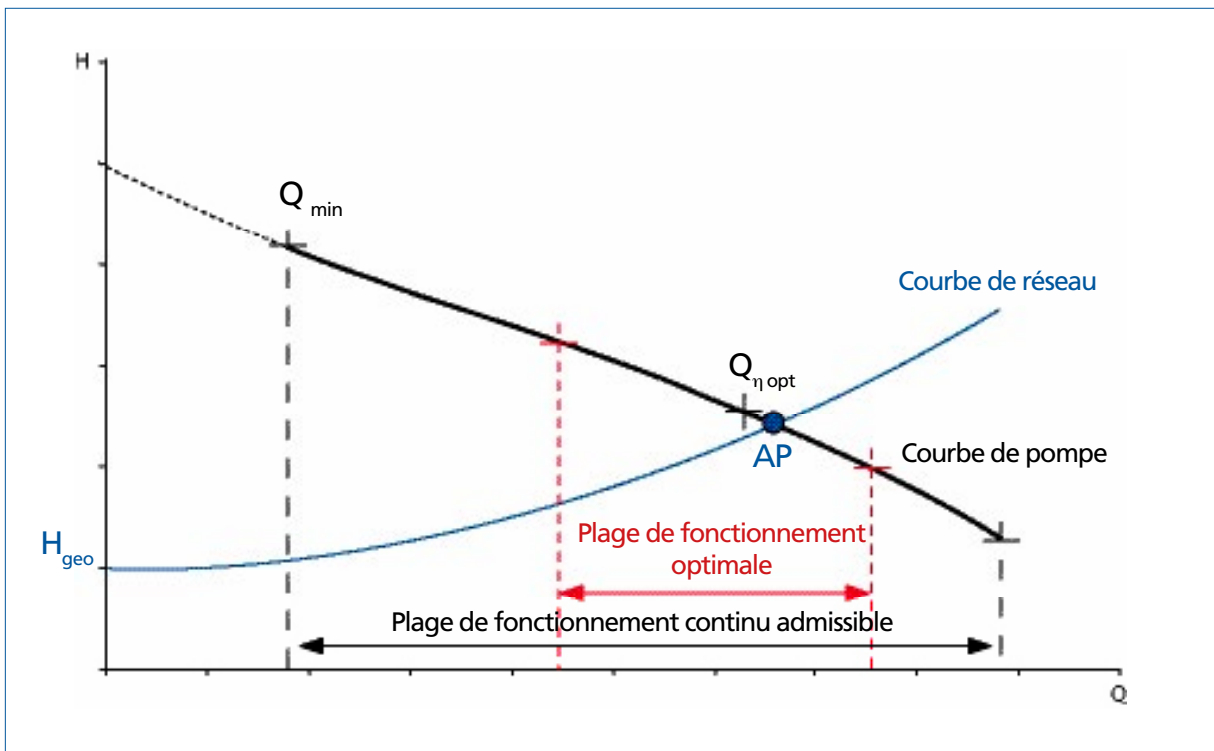


Fig. 1.15 : Plage de fonctionnement préférée ou optimale pour le transport des eaux usées

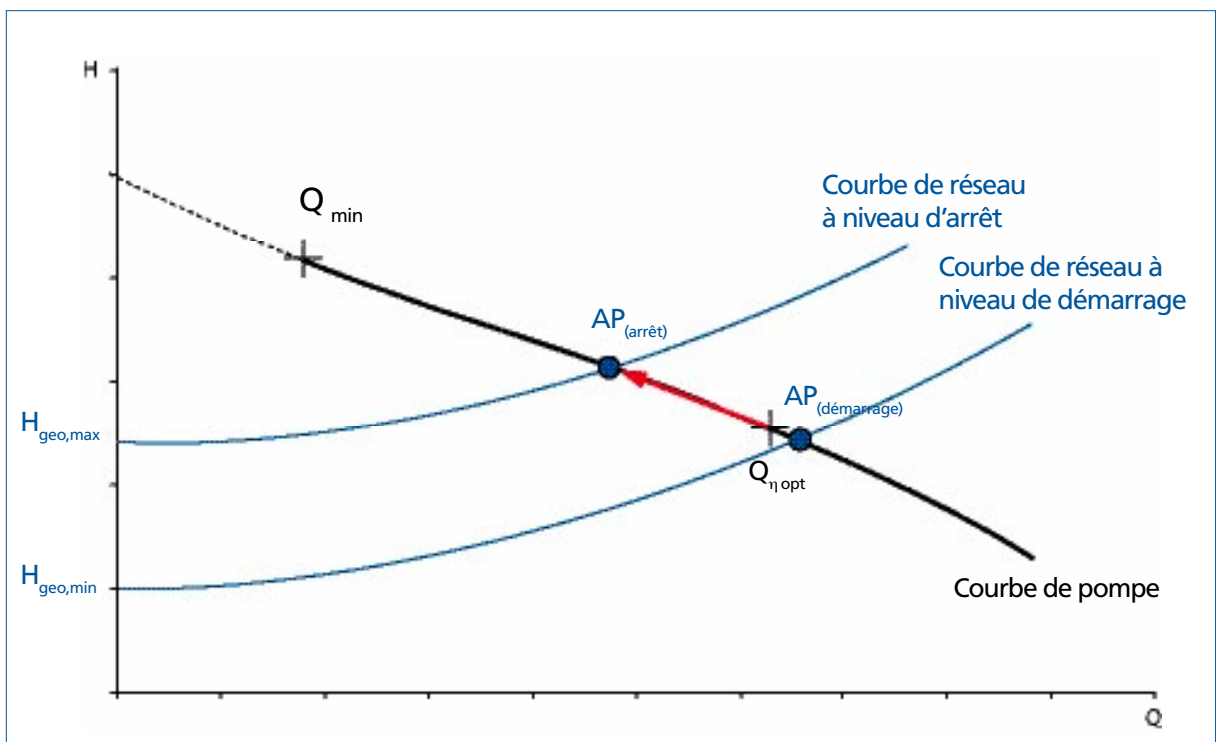


Fig. 1.16 : Évolution du point de fonctionnement de la pompe à vitesse fixe et variation de la hauteur manométrique statique entre le niveau de démarrage et le niveau d'arrêt à l'aspiration

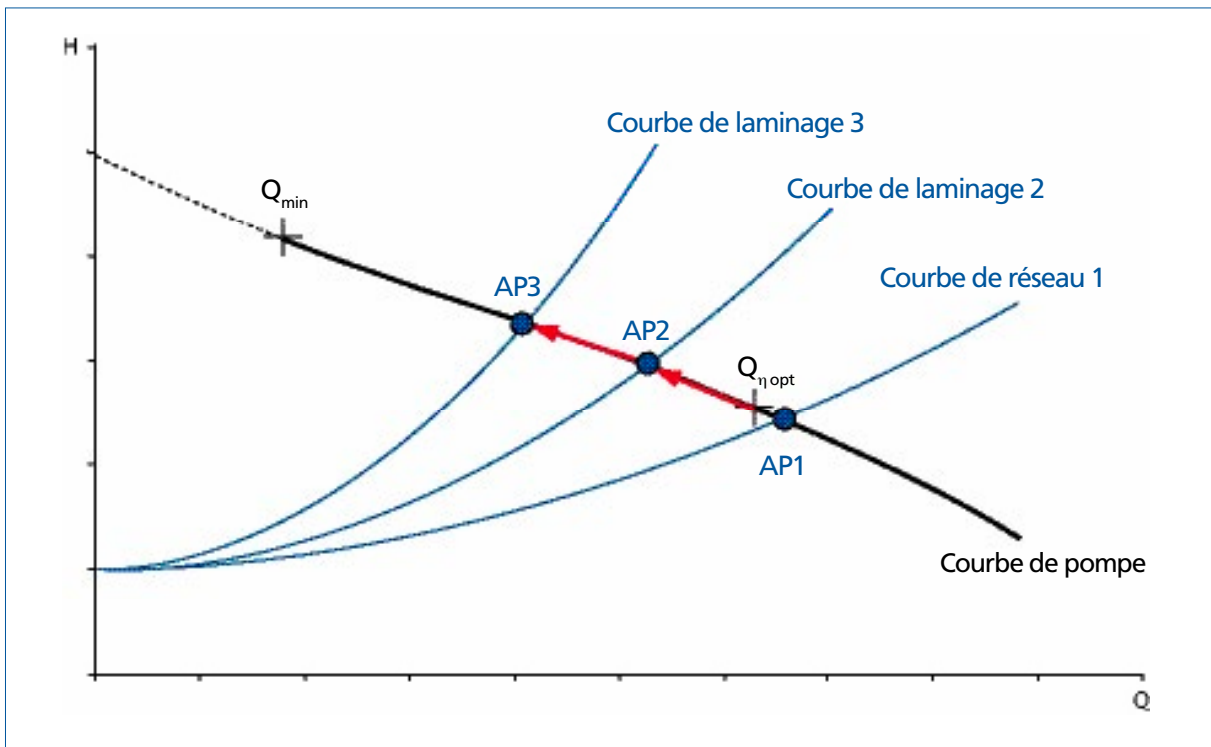


Fig. 1.17 : Évolution du point de fonctionnement de la pompe entraînée par une modification des pertes de charge dans la tuyauterie suite, par exemple, au changement du diamètre nominal de la tuyauterie, au changement du parcours ou de la longueur de tuyauterie ou à des dépôts et incrustations dans la tuyauterie

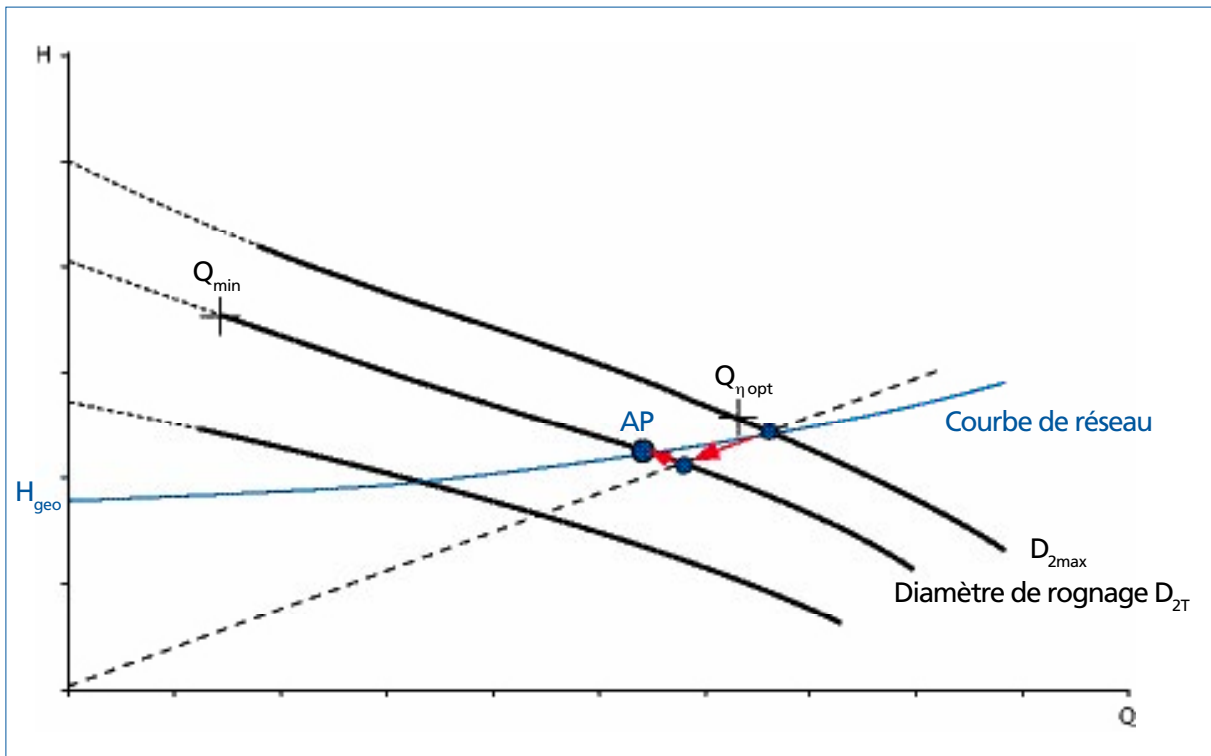


Fig. 1.18 : Rognage ou adaptation du diamètre de roue au point de fonctionnement exigé de la pompe

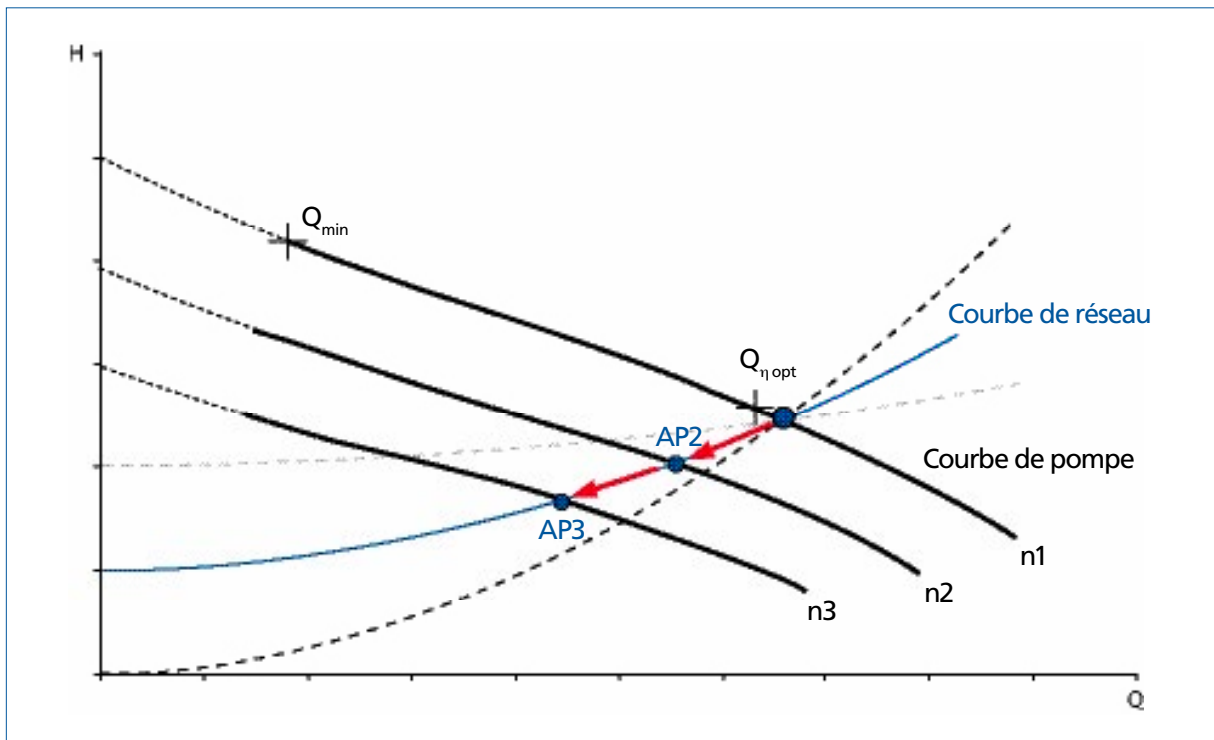


Fig. 1.19 : Évolution du point de fonctionnement d'une pompe centrifuge en cas de variation de la vitesse

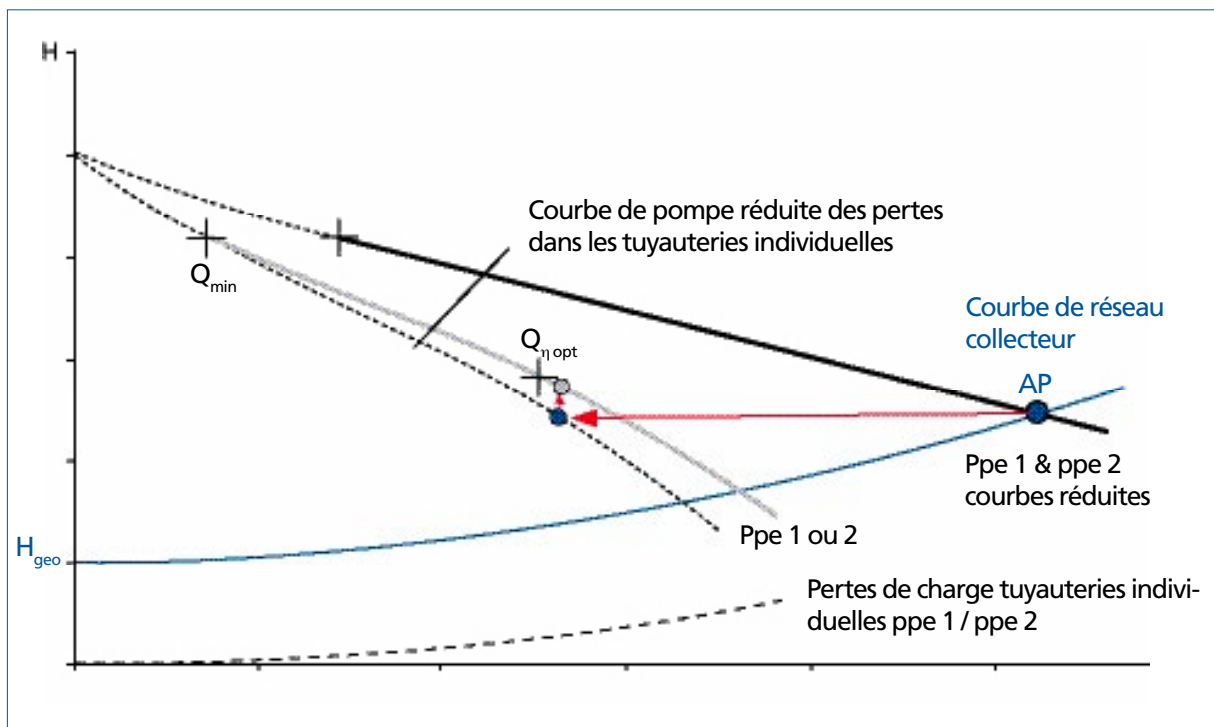


Fig. 1.20 : Fonctionnement en parallèle de deux pompes centrifuges identiques. Les pertes dans les tuyauteries individuelles (pertes de charge jusqu'au début du collecteur) sont prises en compte dans la courbe de pompe réduite.



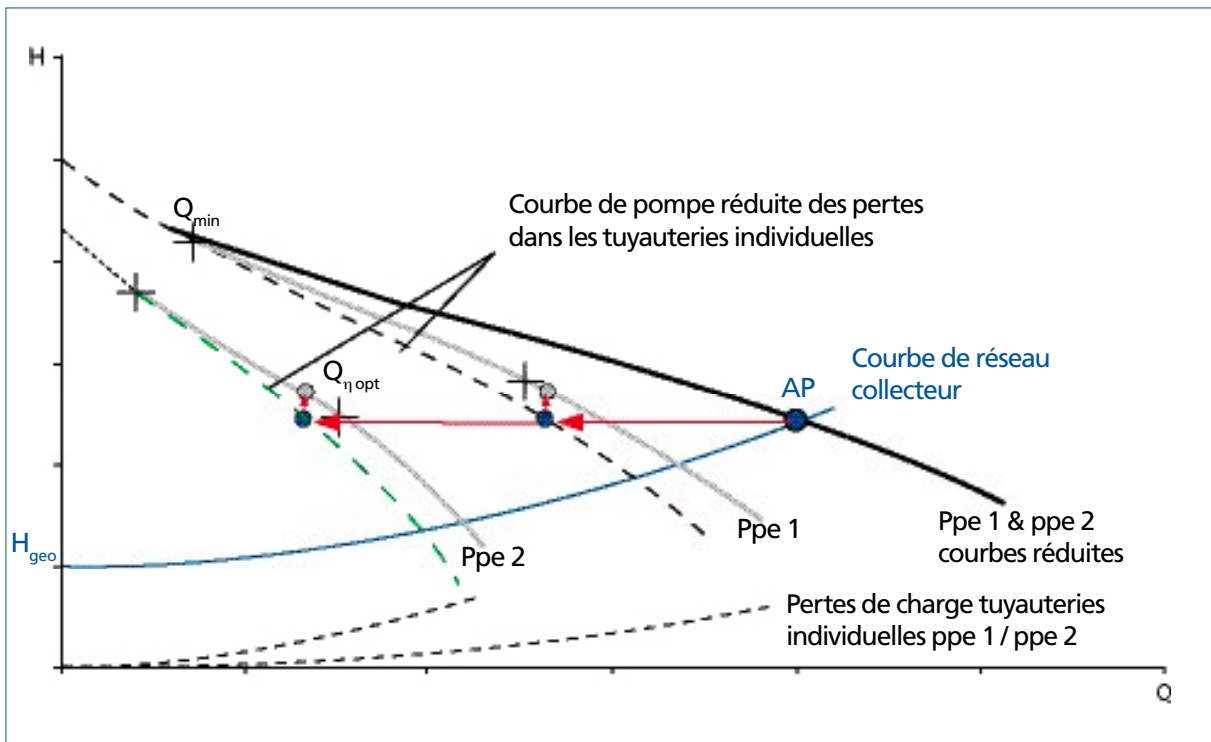


Fig. 1.21 : Fonctionnement en parallèle de deux pompes centrifuges différentes. Les pertes dans les tuyauteries individuelles (pertes de charge jusqu'au début du collecteur) sont prises en compte dans la courbe de pompe réduite.

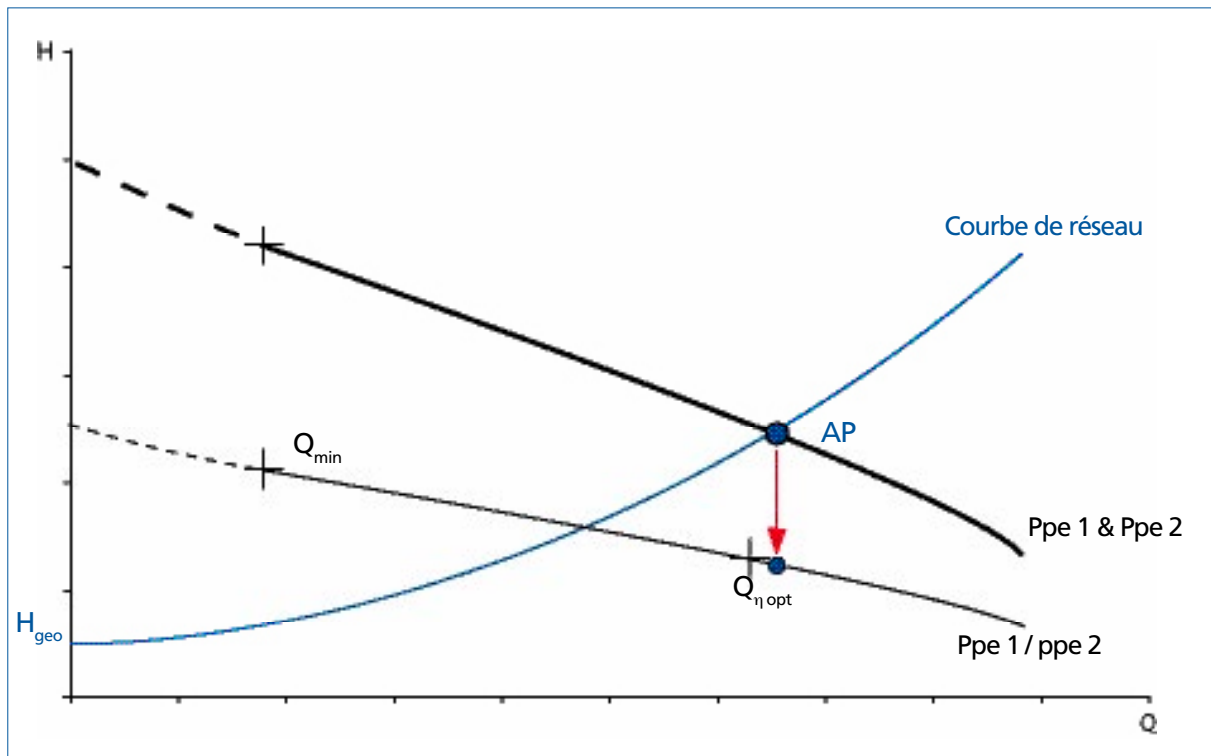


Fig. 1.22 : Fonctionnement en série de deux pompes centrifuges identiques

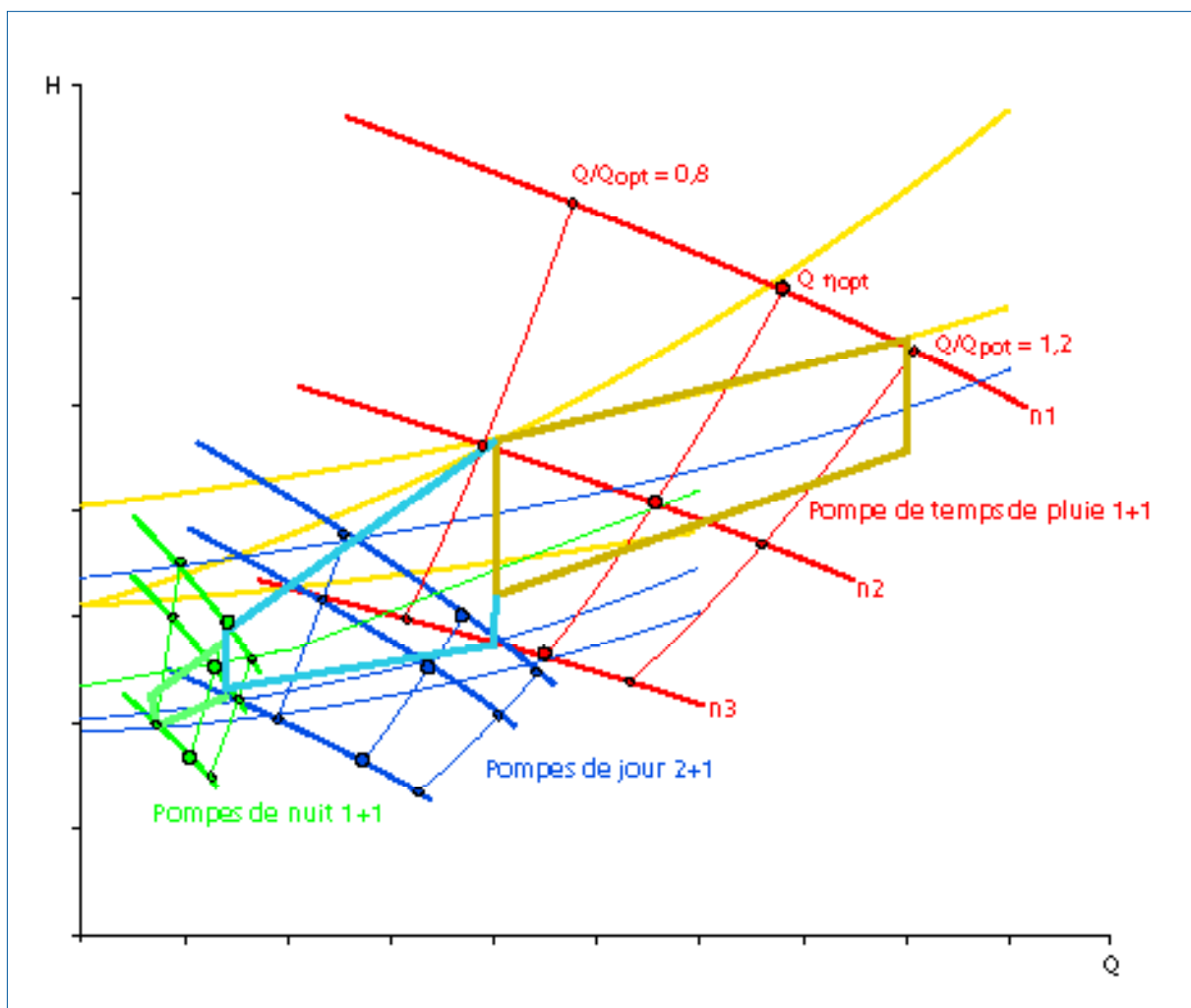


Fig. 1.23 : Échelonnement des pompes destinées au fonctionnement par temps de pluie, de jour et de nuit en réponse aux besoins des différents parcours de pompage, niveaux d'eau et événements.

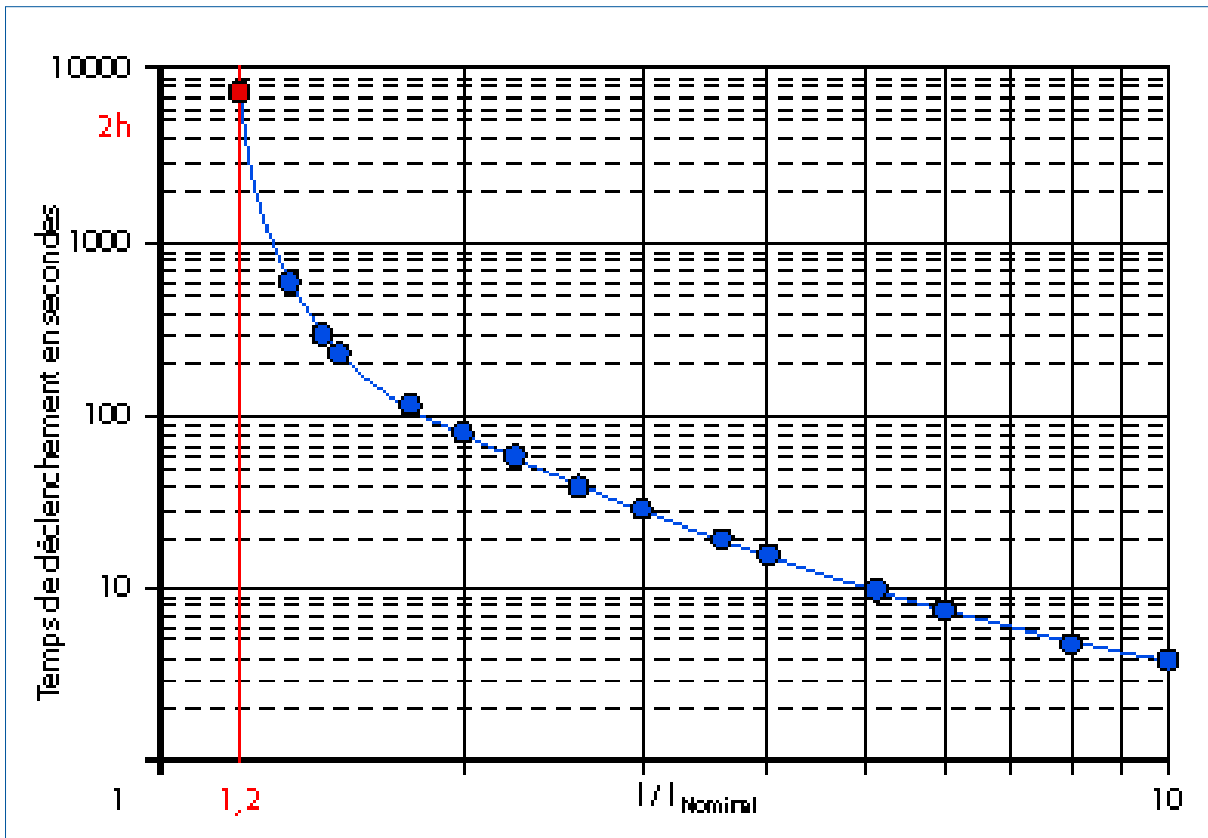


Fig. 3.5 : Courbe de déclenchement pour relais de surintensité à temporisation thermique classe 10 suivant EN 60947-6-2

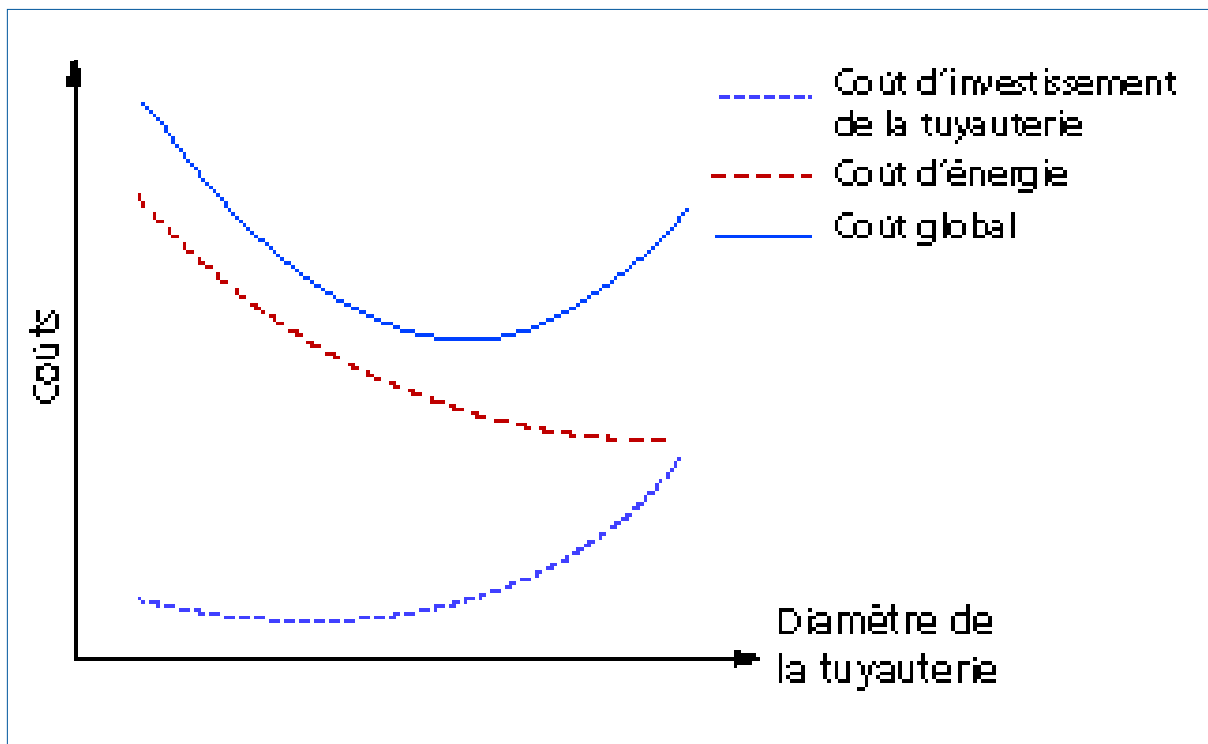


Fig. 4.1.1.1a : Diagramme des coûts de réalisation et d'exploitation d'une tuyauterie

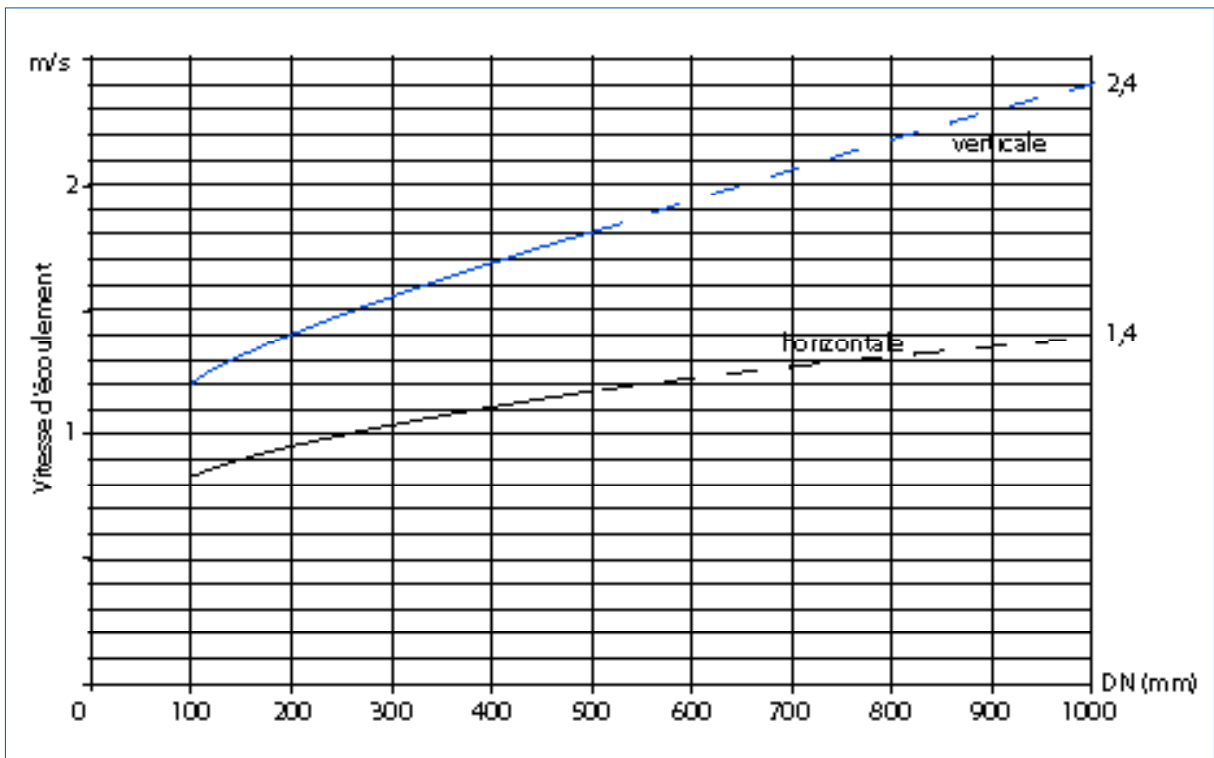


Fig. 4.1.1.1b : Vitesse d'écoulement minimale

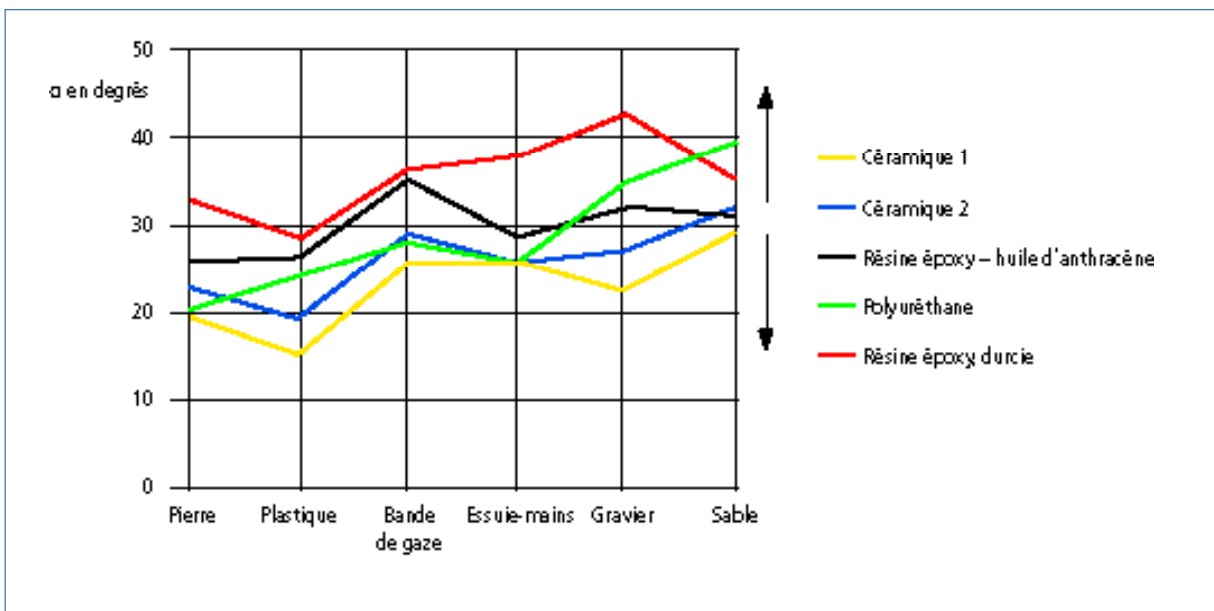


Fig. 5.4 b : Angle de glissement de différents corps solides contenus dans les eaux usées pour divers types de revêtement (en négligeant l'influence de l'écoulement)

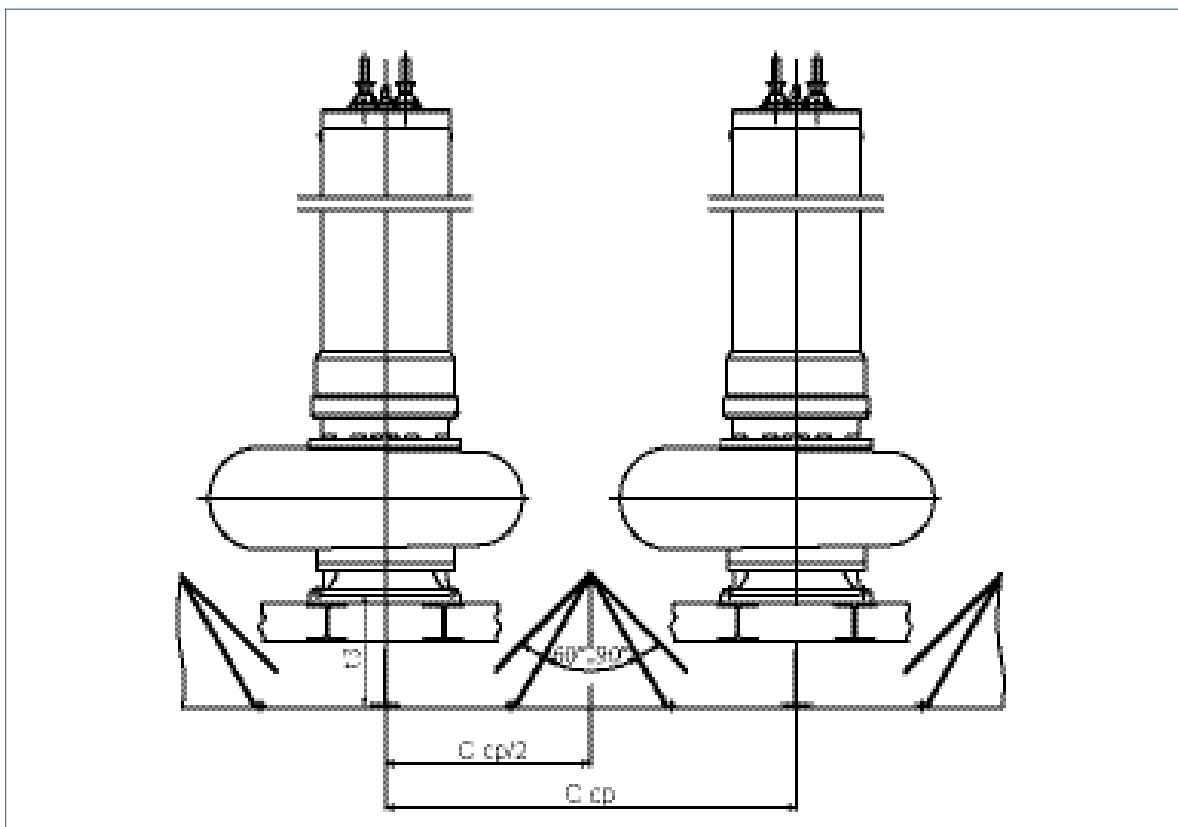
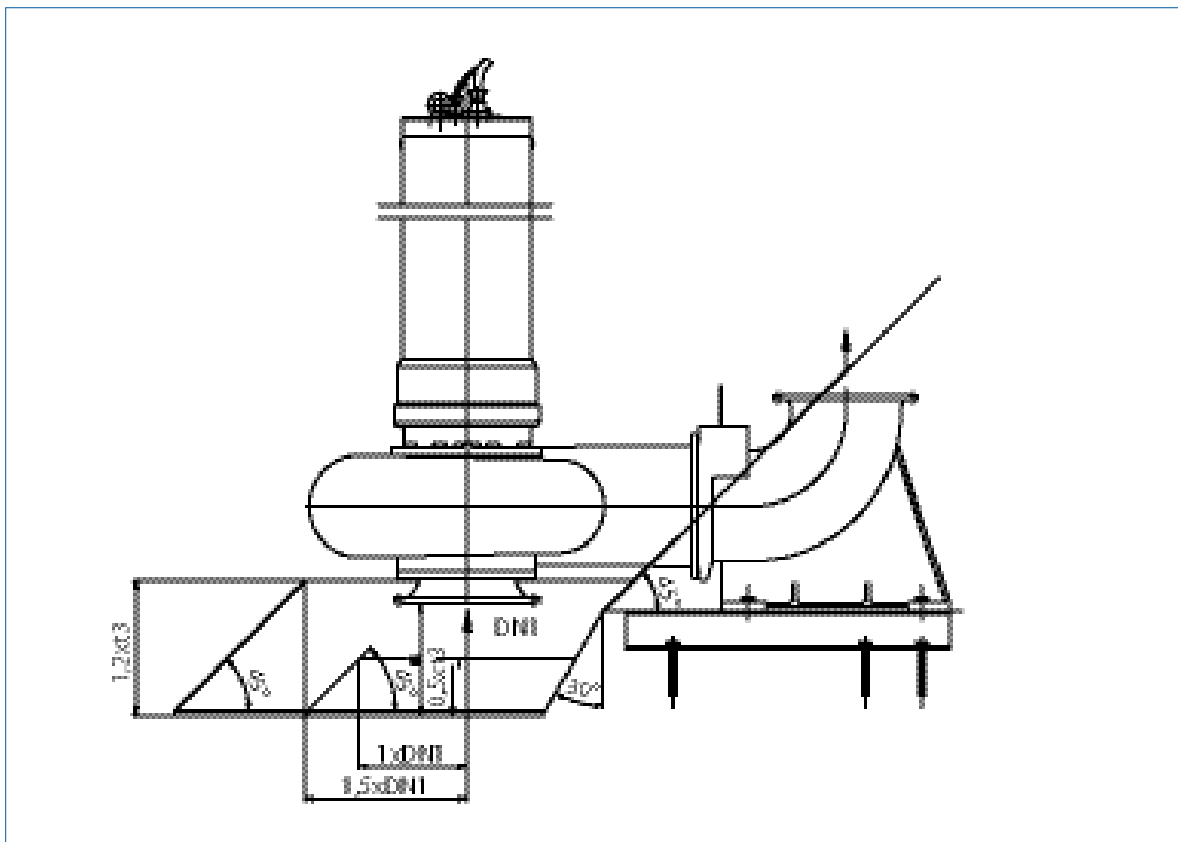


Fig. 5.5a : Géométrie des nervures de radier placées en dessous ou entre les pompes

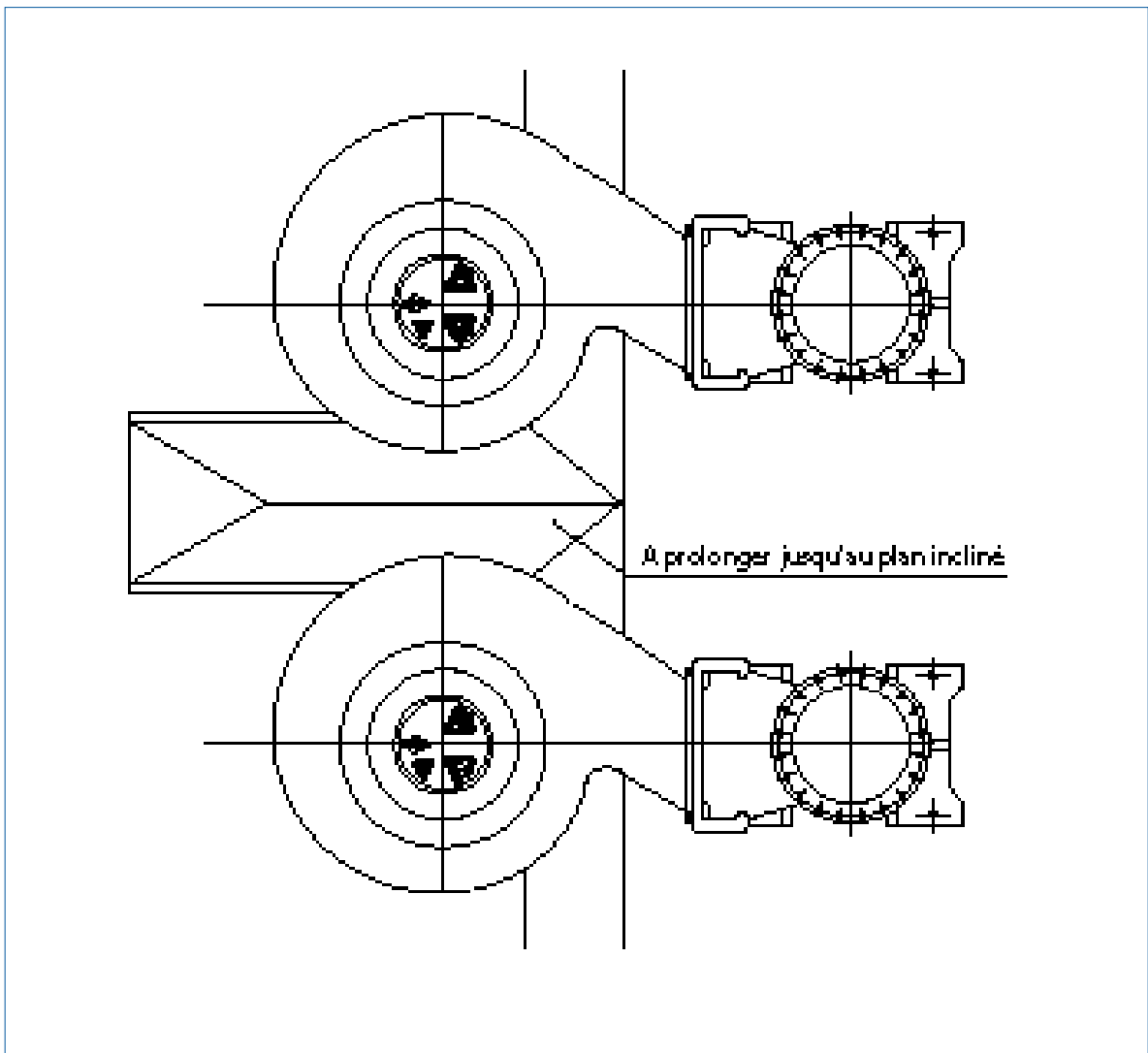


Fig. 5.5b : Vue de dessus - nervures de radier entre deux pompes

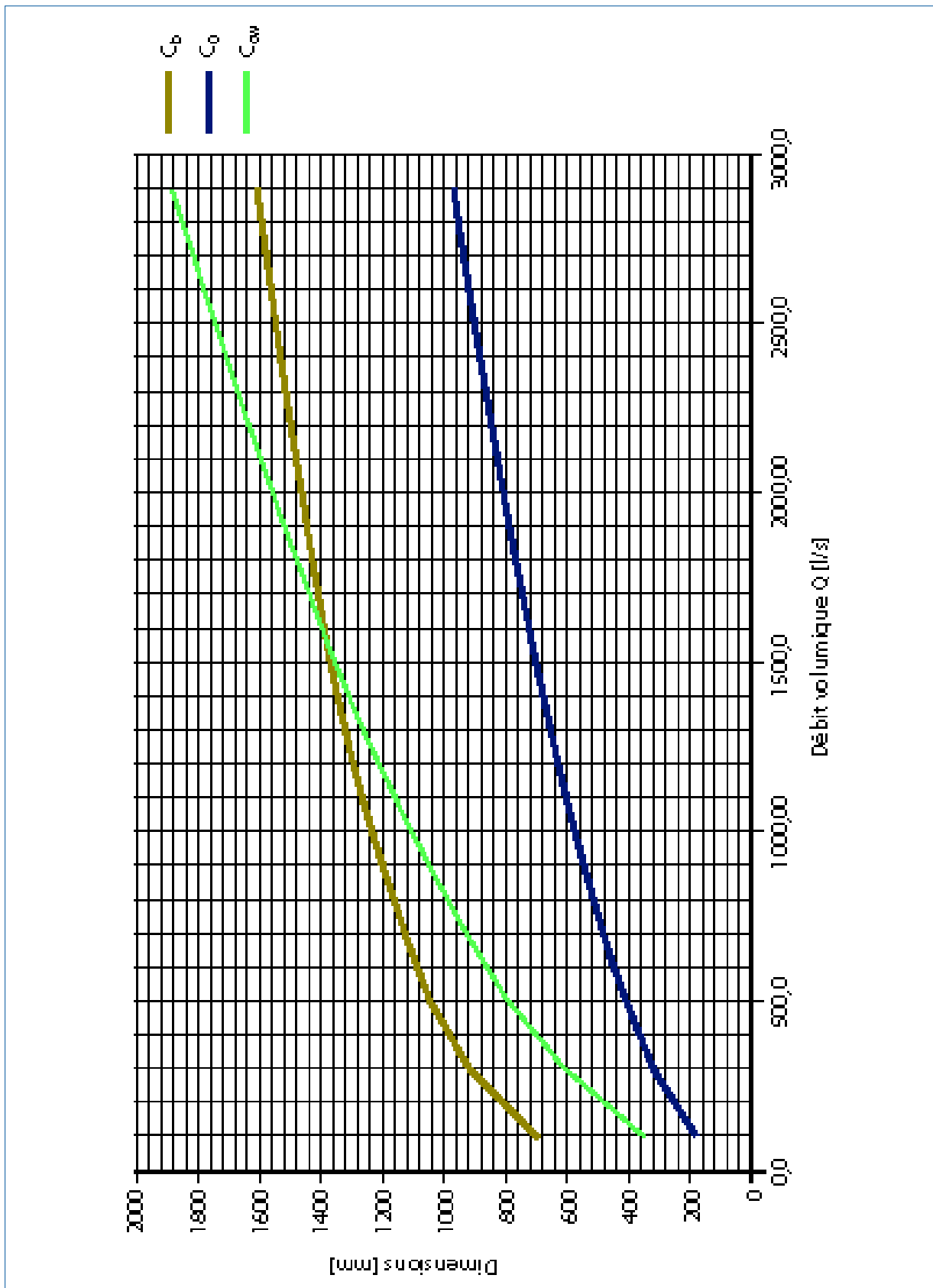


Fig. 5.6a : Dimensions minimales de la bêche de pompage

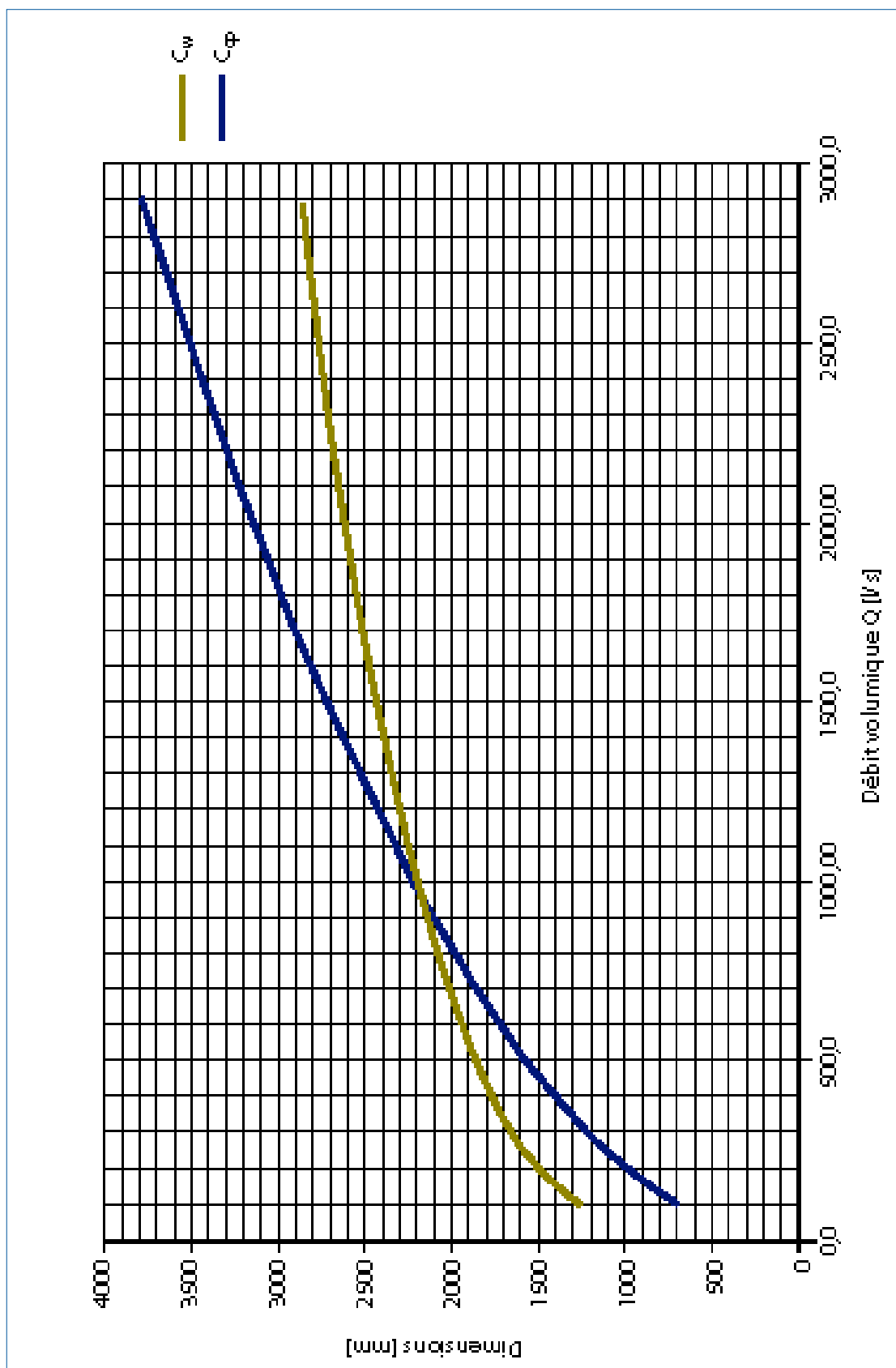


Fig. 5.6b : Dimensions minimales de la bache de pompage



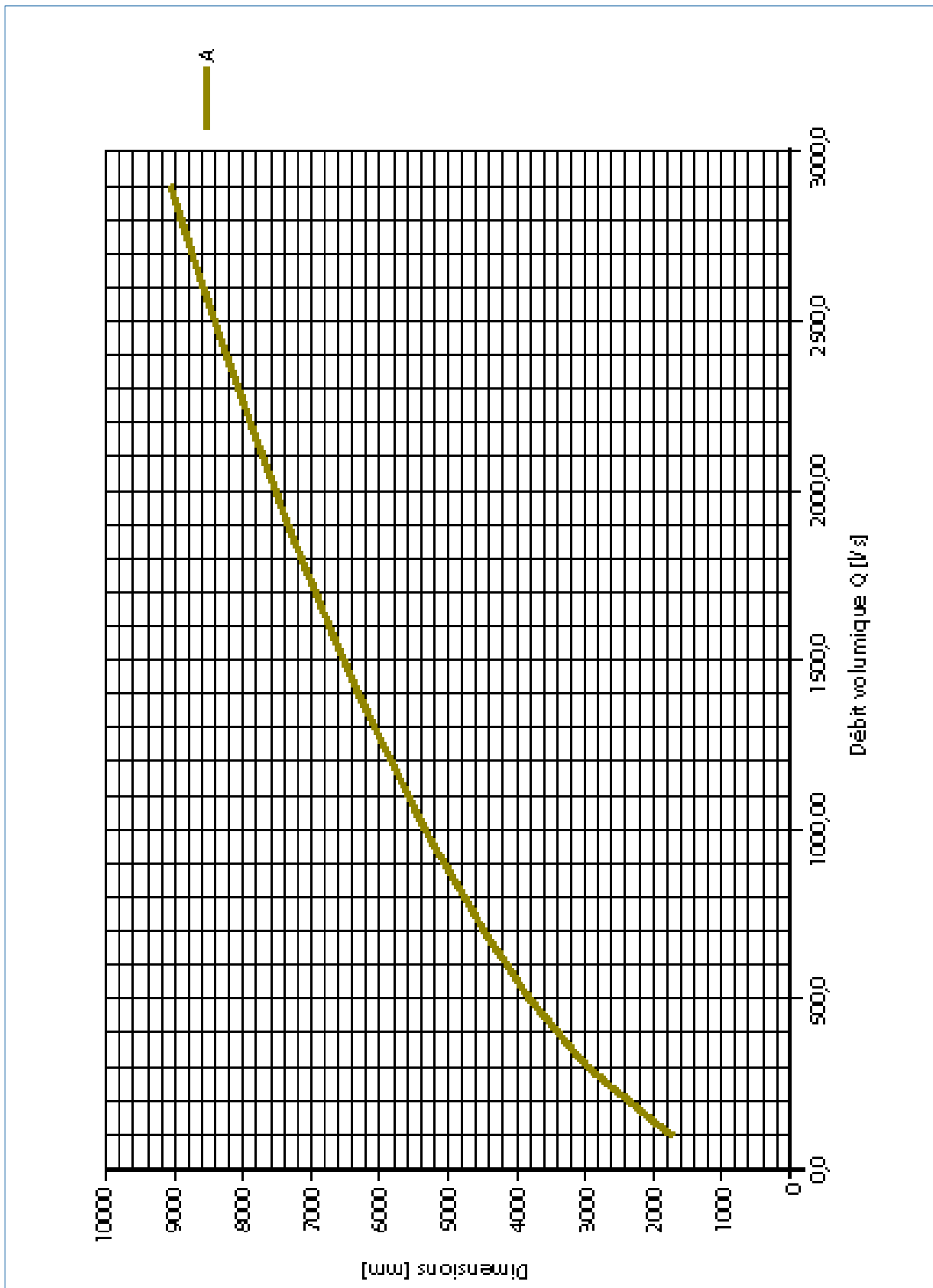


Fig. 5.6c : Dimensions minimales de la bache de pompage

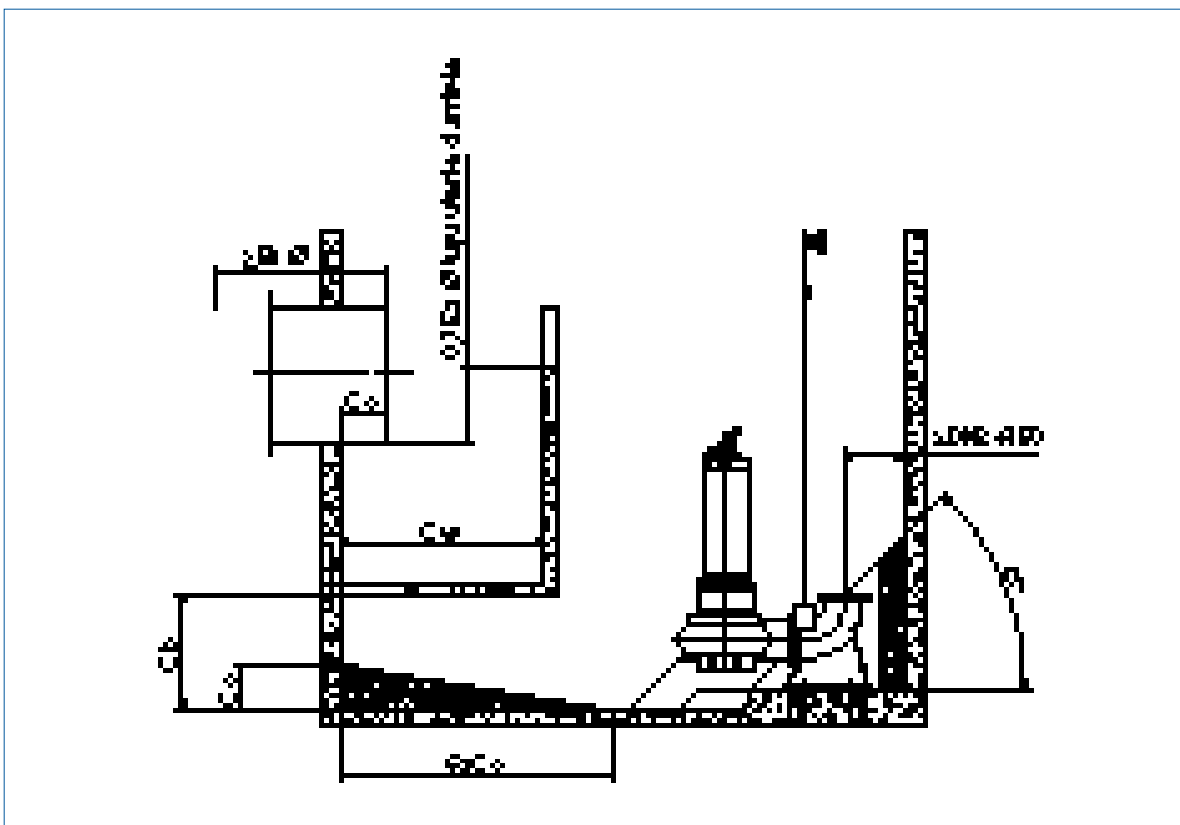
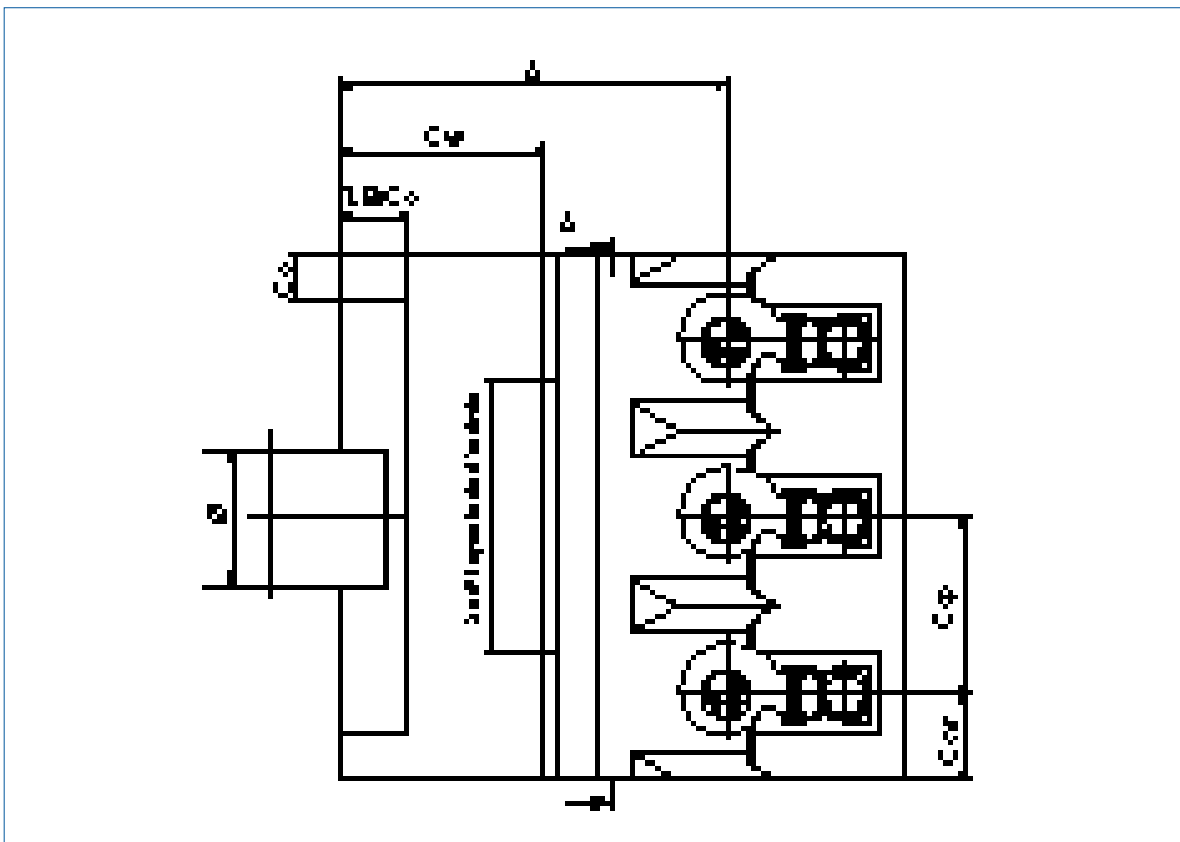


Fig. 5.6.1a : Pompes KRT (installation noyée) à alimentation frontale et dénivelé entre le radier de la canalisation et la bache de pompe

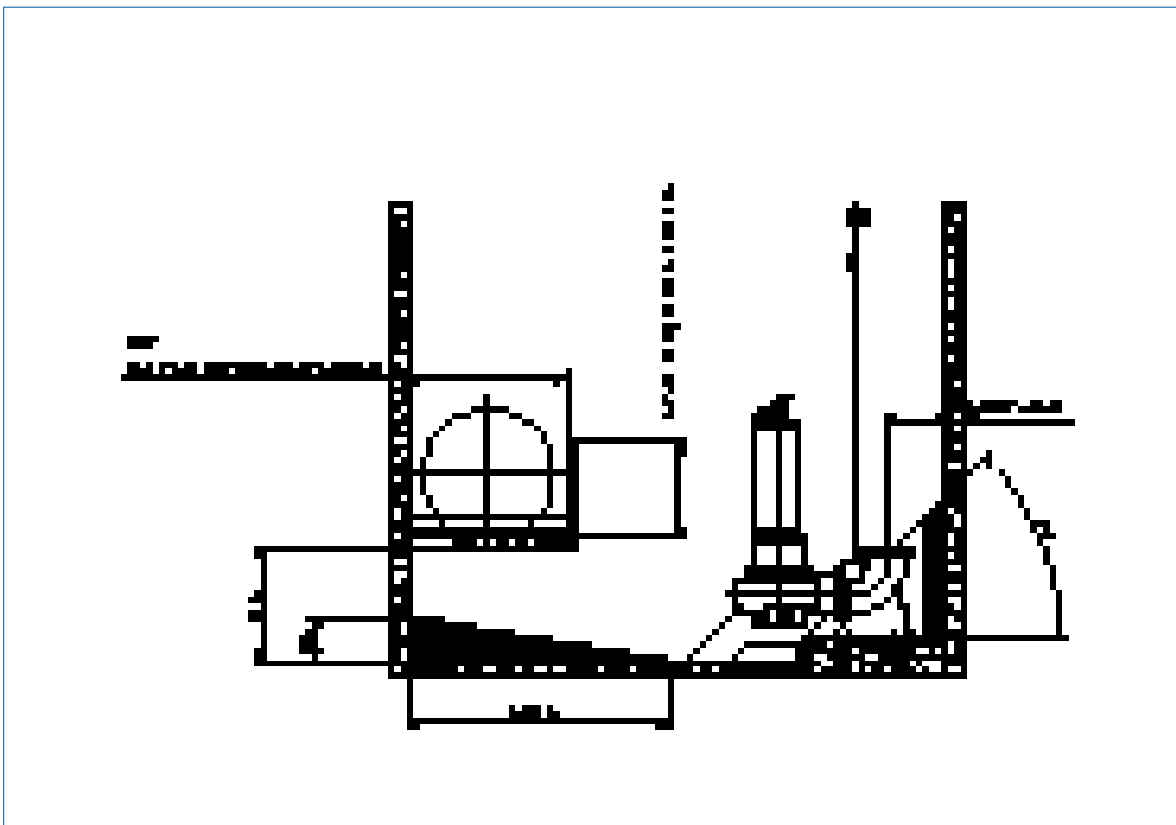
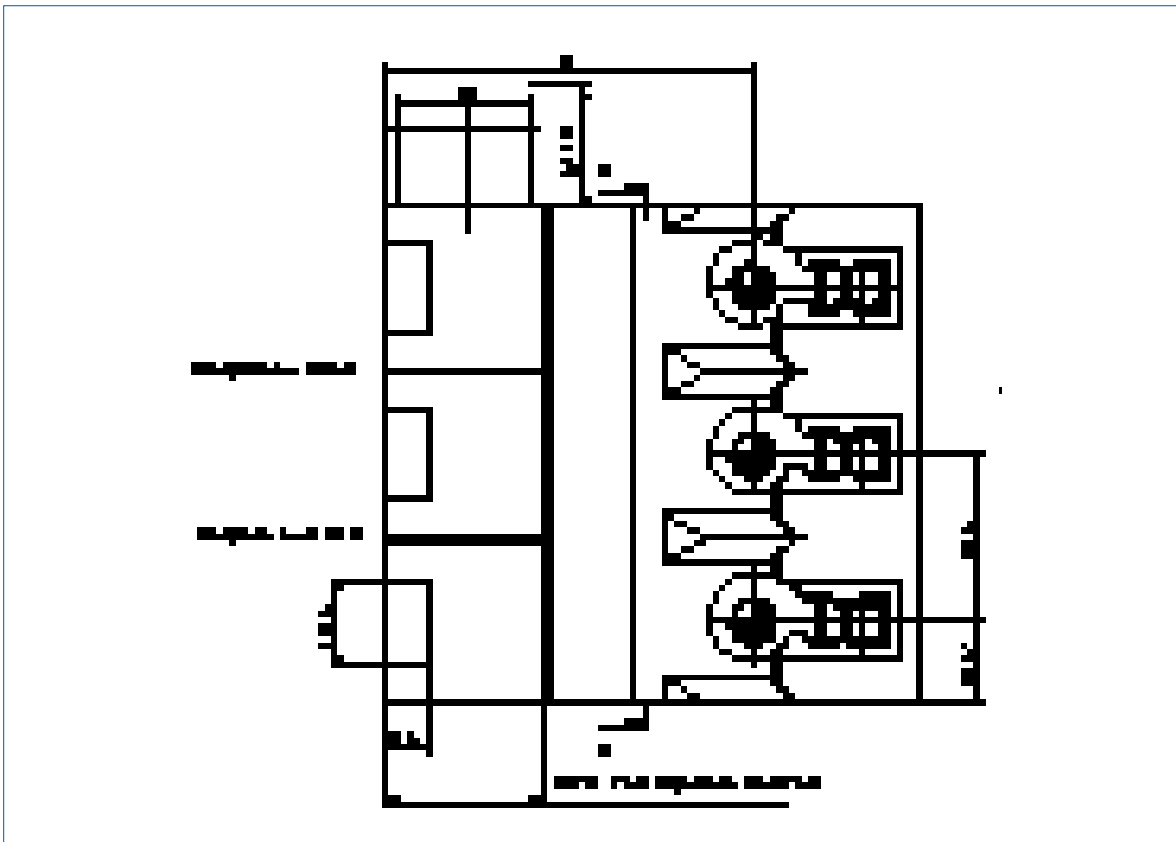


Fig. 5.6.1b : Pompes KRT (installation noyée) à alimentation latérale par rapport aux pompes et dénivelé entre le radier de la canalisation et la bache de pompage

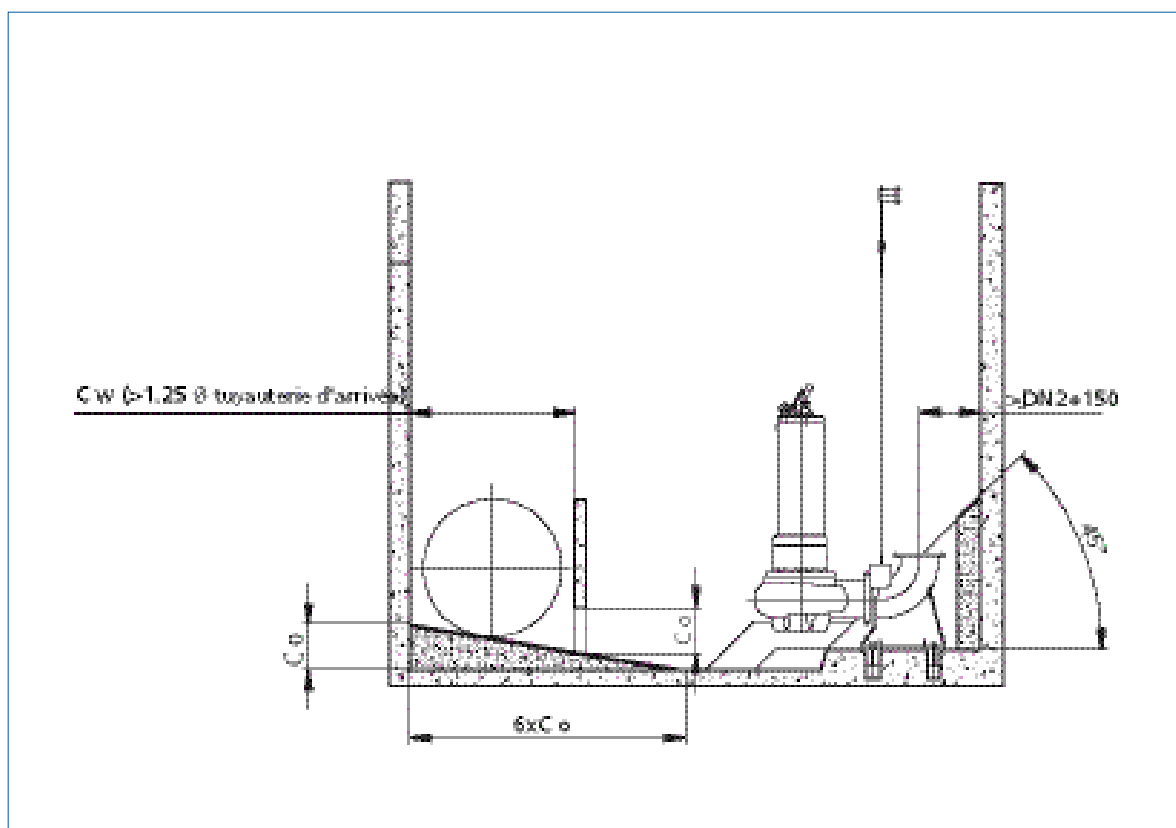
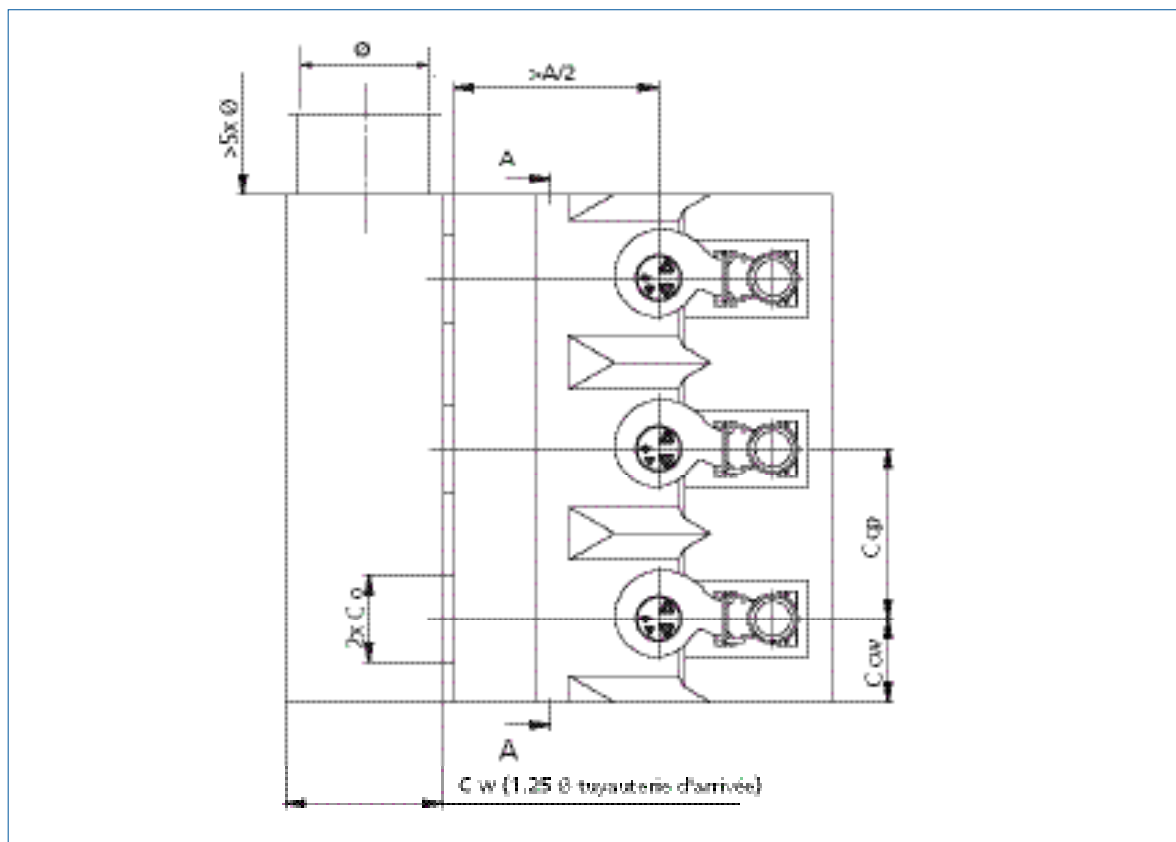


Fig. 5.6.1c : Pompes KRT (installation noyée) à alimentation latérale par rapport aux pompes, sans dénivelé entre le radier de la canalisation et la bâche de pompage

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



# Demande par fax

Pour recevoir nos brochures «Savoir-faire KSB», veuillez compléter vos coordonnées

Société :

Adresse :

A l'attention de :

Rue :

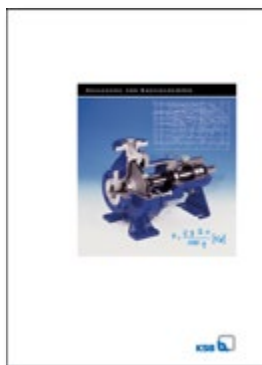
Code postal / Ville :

Tél. :

Fax :

e-mail :

## Choisissez votre brochure «Savoir-faire» KSB



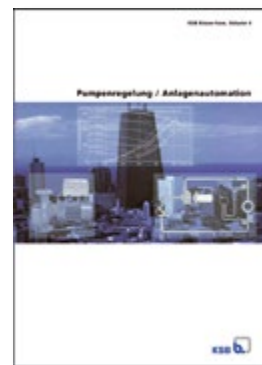
Détermination  
des pompes centrifuges



Le coup de bélier



Étude de projets  
de relevage



Régulation de pompes /  
Automatisation de pompes



Pompes submersibles pour  
installations en tube



Recommandations  
pour l'installation  
des pompes submersibles  
Amarex KRT

Faxer votre demande au :

**01 41 47 75 10**

A l'attention du Service Marketing

**KSB S.A.S.**

4 allée des Barbanniers

F-92635 Gennevilliers Cedex



## La technologie qui **fait référence**

**France**  
KSB S.A.S.  
4, allée des Barbanniers  
92635 Gennevilliers Cedex  
Tél. +33 1 41 47 75 00  
Fax +33 1 41 47 75 10  
[www.ksb.fr](http://www.ksb.fr)

Région Paris - Nord & Est  
Tél. +33 1 41 47 75 00  
Fax +33 1 41 47 75 95

Engineering  
Tél. +33 1 41 47 75 41  
Fax +33 1 41 47 77 26

Région Atlantique  
Tél. +33 5 56 77 30 10  
Fax +33 5 56 77 30 25

Région Rhône-Méditerranée

Contact pompes :  
Tél. +33 4 42 60 72 10  
Fax +33 4 42 60 72 25

Contact robinetterie :  
Tél. +33 4 72 15 19 18  
Fax +33 4 72 15 19 25

Usines de service  
Pièces de Rechange

Pompes  
Tél. +33 2 32 82 82 00  
Fax +33 2 32 82 82 09

Robinetterie  
Tél. +33 5 53 92 44 00  
Fax +33 5 53 92 44 01

Inscrivez-vous  
à la newsletter KSB !  
[www.ksb.fr](http://www.ksb.fr)



**KSB S.A.S.**  
4 allée des Barbanniers  
92635 Gennevilliers Cedex (France)  
[www.ksb.fr](http://www.ksb.fr)