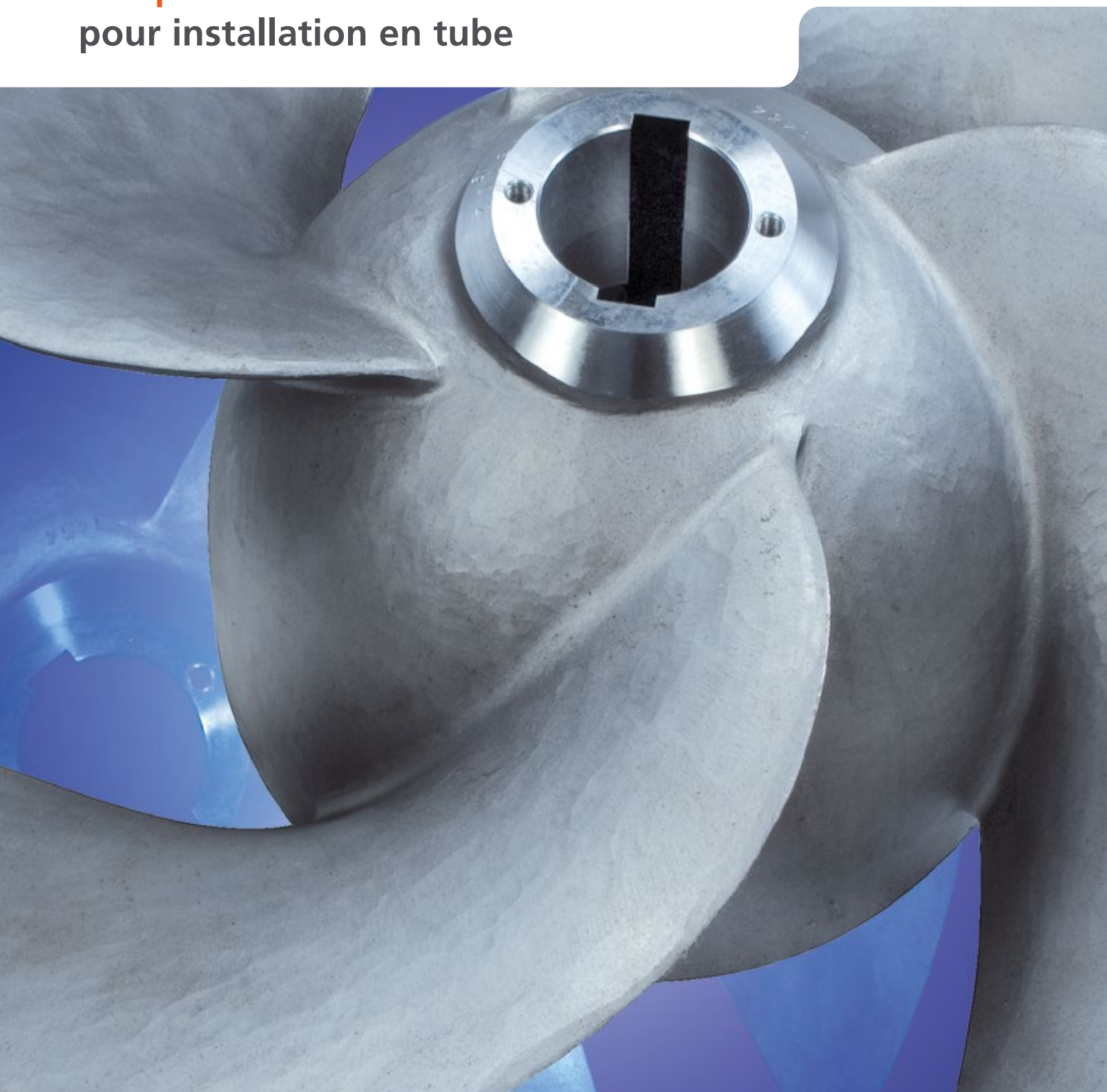


Pompes submersibles Amacan® pour installation en tube



Sommaire

Introduction

1. La gamme Amacan
 - 1.1 Formes de roues et plages de fonctionnement
 - 1.2 Détermination des points de fonctionnement
 - 1.3 Fonctionnement des pompes avec variateur de fréquence
2. Conception de l'ouvrage
 - 2.1 Remarques générales
 - 2.2 Etude de l'installation des pompes
 - 2.2.1 Chambre d'aspiration ouverte
 - 2.2.2 Chambre d'aspiration ouverte avec plaque d'aspiration
 - 2.2.3 Chambre d'aspiration couverte
 - 2.2.4 Réflexions détaillées sur la chambre d'aspiration
 - 2.2.5 Exemples d'études de stations de relevage
 - 2.2.6 Amacan K, un cas particulier
 - 2.3 Conception de la bêche de pompage
 - 2.4 Solutions spéciales
 - 2.5 La nécessité d'essais sur modèle physique
 - 2.6 L'importance des simulations MFN
 - 2.7 Installations de dégrillage
3. Variantes de tubes
 - 3.1 Configurations
 - 3.2 Détails de conception du tube
 - 3.3 Câblage
4. Bibliographie et crédit photographique

Introduction

Dans la gestion des eaux propres et des eaux usées, les pompes submersibles constituent une alternative technique et économique intéressante aux pompes conventionnelles de surface. Elles présentent de nombreux avantages, notamment en termes d'entretien et de montage, qui sont de plus en plus appréciés par les exploitants soucieux de réduire leurs interventions.

Dans le cas spécial des groupes submersibles en tube, des avantages constructifs de poids s'ajoutent. En effet, les groupes submersibles sont beaucoup plus compacts que les pompes conventionnelles à corps tubulaire de puissance hydraulique comparable (pas de longues lignes d'arbre, pas de paliers supplémentaires dans le tube). Il n'est pas nécessaire de prévoir des bâtiments pour abriter les moteurs électriques, le moteur d'un groupe submersible étant immergé dans le tube.

Ces avantages sont de nature à convaincre de plus en plus d'exploitants : les pompes Amacan de KSB équipent des installations d'irrigation, des stations de relevage, des usines d'eau, des stations d'épuration,

des centrales de production d'énergie, des installations de distribution d'eau industrielle et des systèmes de protection contre les crues. Les pompes sont utilisées pour le transport d'eaux brutes et propres (eaux souterraines, eau de pluie, eau de rivière), d'eaux usées et de boues activées.

Plus encore que pour d'autres types de pompes, l'exécution et la conception de l'environnement de la pompe, autrement dit la station de relevage dans son ensemble, revêtent une importance cruciale pour le fonctionnement rentable et fiable des pompes submersibles en tube.

La sélection de l'hydraulique des pompes, la conception de l'ouvrage ainsi que l'étude de l'installation des pompes et la conception de la bache de pompage sont traitées en détail dans les chapitres suivants. Des réflexions sur l'équipement électrique viennent compléter ces informations.

La présente brochure s'adresse aux prescripteurs et aux exploitants d'installations de gestion de l'eau propre et des eaux usées.

1. La gamme Amacan

1.1 Formes de roues et plages de fonctionnement

Les pompes submersibles en tube sont utilisées avec succès dans les applications les plus diverses pour transporter les forts débits.

Ces pompes submersibles peuvent être équipées au choix de trois types de roues différents. Elles s'adaptent ainsi au transport

de fluides très divers, depuis les eaux grises relativement propres jusqu'aux eaux usées et aux boues activées.

Le choix de la roue la mieux adaptée à l'application concernée dépend de la nature et de la composition du liquide, d'une part, et des caractéristiques hydrauliques demandées, d'autre part. Les grilles de sélection insérées ci-après pour les différents types de roue

indiquent la plage de fonctionnement pour chaque taille de pompe. Lors de la sélection, il est important d'assurer que le type de roue est compatible avec le liquide pompé. Le type de roue peut éventuellement entraîner des contraintes supplémentaires en matière de conception et équipement de la station de relevage.

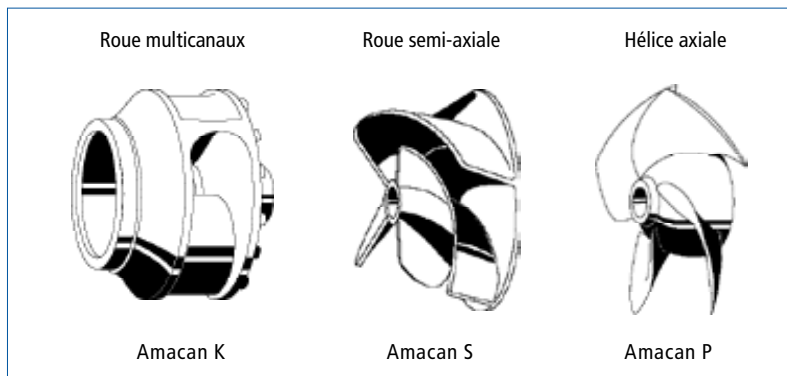


Fig. 1 : Types de roues disponibles pour les pompes Amacan

Liquides pompés	Remarques et recommandations
Eaux usées	- Vérifier la section de passage libre de la roue - Retenir les grosses particules par dégrillage ou déversoir
Eau de rivière	- Retenir les grosses particules par dégrillage ou piège à cailloux
Eaux pluviales / eaux usées	- Vérifier la section de passage libre de la roue - Retenir les grosses particules par dégrillage ou déversoir - Le montage d'une bague d'usure spéciale peut être nécessaire si la pompe est équipée d'une hélice axiale
Boues activées	- 1% de matière sèche au maximum
Eau de mer	- Vérifier les combinaisons de matériaux possibles, monter des anodes à contrôler tous les six mois

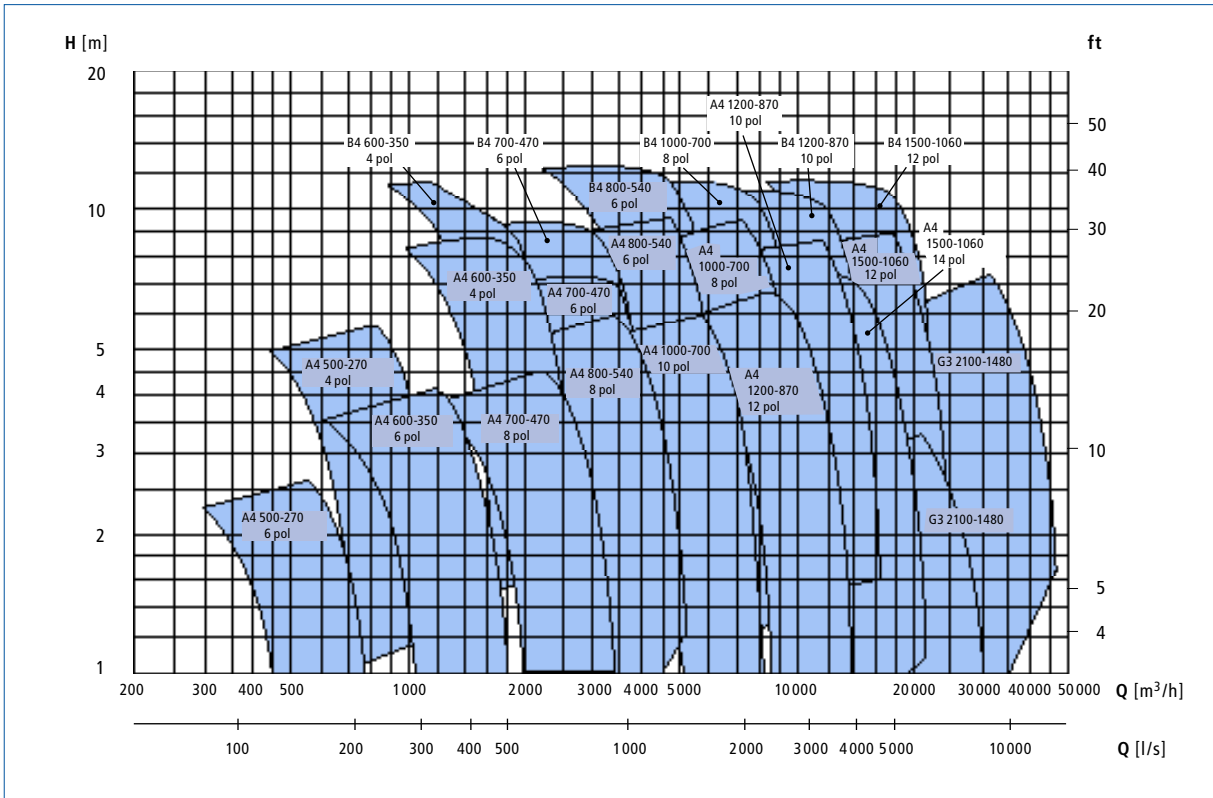


Fig. 2 : Grille de sélection Amacan P (50 Hz)

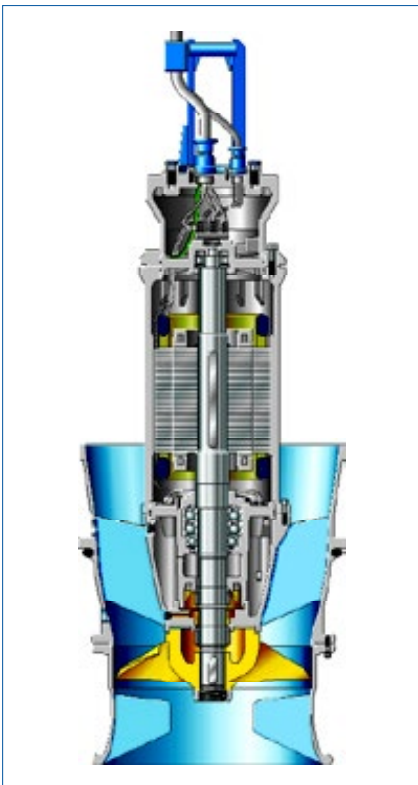


Fig. 3 : Amacan P

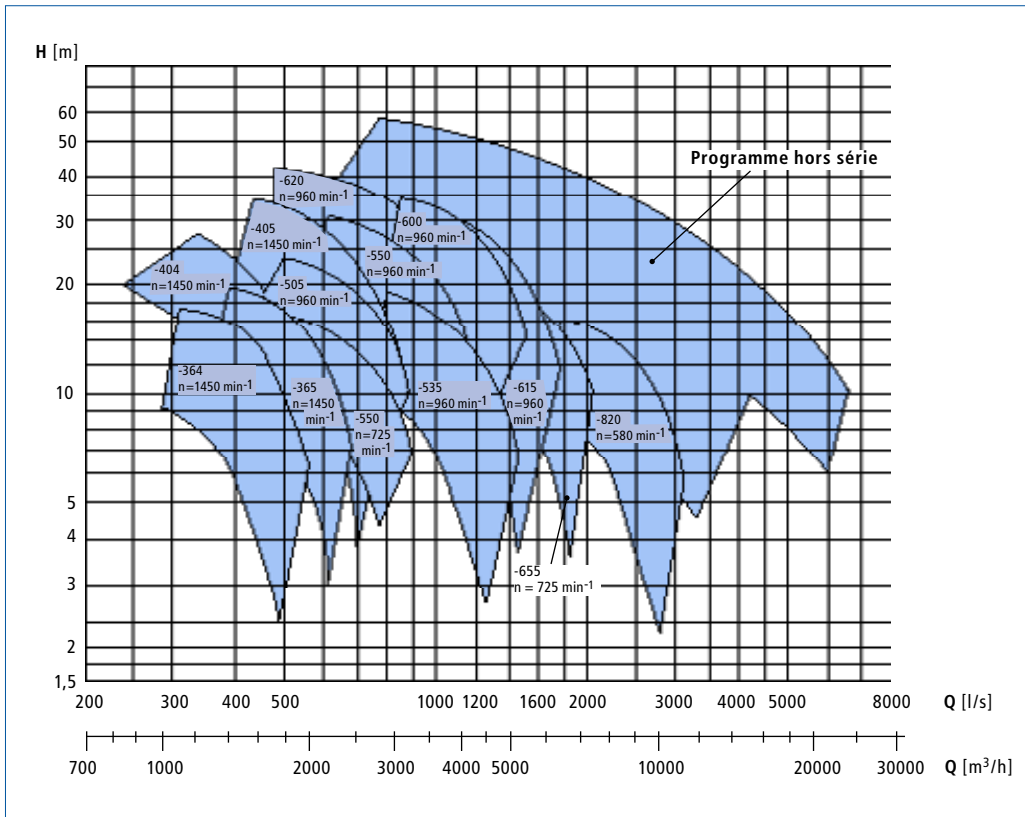


Fig. 4 : Grille de sélection Amacan S (50 Hz)

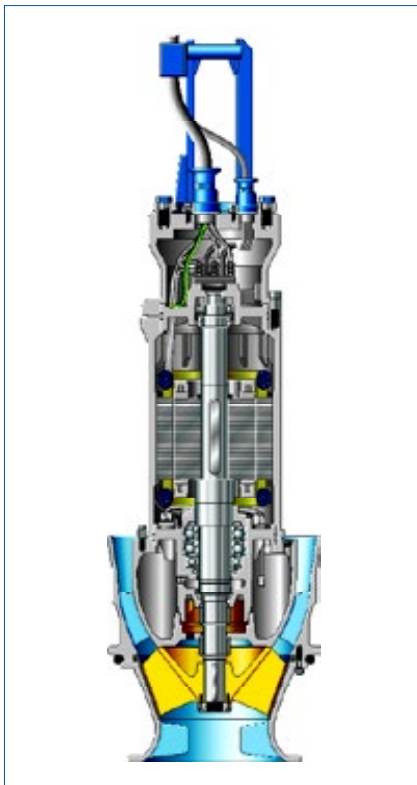


Fig. 5 : Amacan S

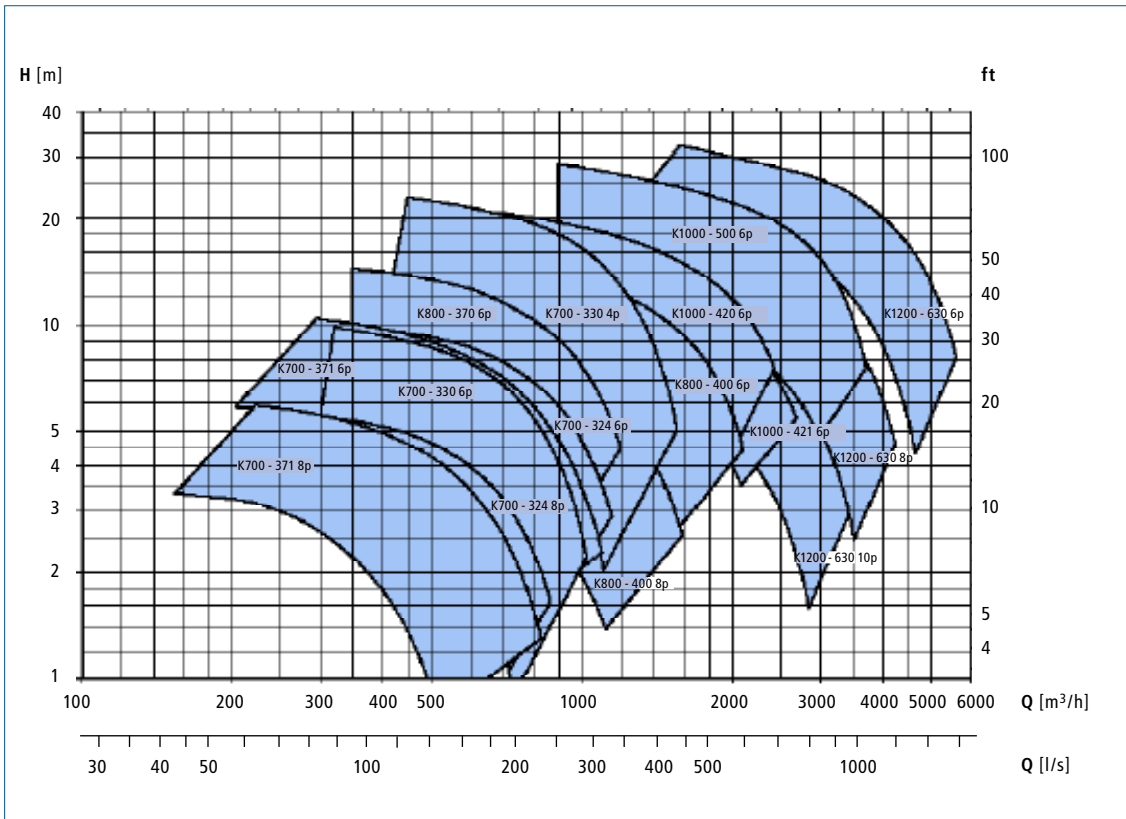


Fig. 6 : Grille de sélection Amacan K (50 Hz)

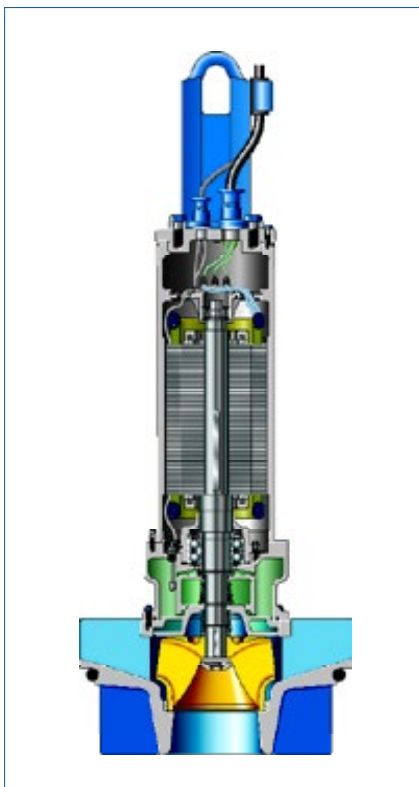


Fig. 7 : Amacan K

Comparé aux pompes conventionnelles à corps tubulaire droit, les pompes submersibles modernes installées en tube présentent, de par leur conception, toute une série d'avantages. A puissance hydraulique identique (roue) ces dernières sont beaucoup plus compactes (pas de longue ligne d'arbre, pas de paliers supplémentaires dans le tube). La manipulation d'une pompe submersible est bien plus simple ce qui facilite les travaux de maintenance et de montage. Il n'est pas nécessaire de prévoir

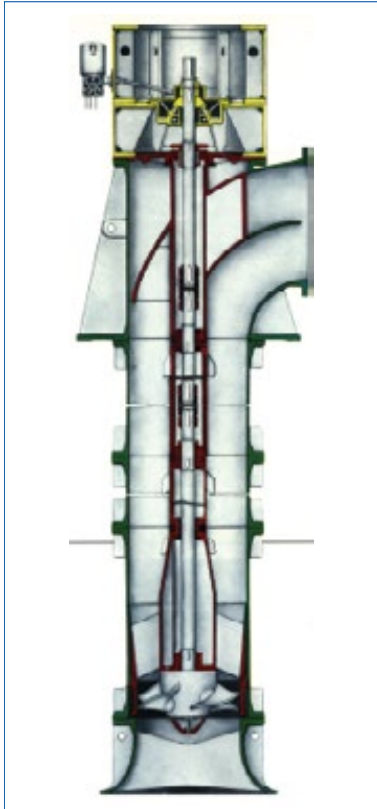


Fig. 8 : Pompe conventionnelle à corps tubulaire droit

des bâtiments pour abriter les moteurs électriques ou des installations de climatisation pour évacuer la chaleur.

Le moteur d'une pompe submersible est installé dans le tube.

En général, des équipements de levage de taille importante, adaptée à la profondeur d'installation des pompes, sont installés sur le site pour les travaux de pose/dépose et de maintenance.

Ceux-ci entraînent un investissement lourd bien qu'ils ne soient utilisés que pour les travaux de maintenance cycliques et pour la pose et dépose des pompes. Pour les pompes submersibles Amacan une grue mobile, moins coûteuse, suffit en général pour assurer ces travaux. Pour pouvoir profiter de cet avantage, il faut prévoir les voies d'accès nécessaires dès la phase d'avant-projet.



Fig. 9 : Pose d'une pompe submersible à l'aide d'une grue mobile



Fig. 10 : Station de relevage avec bâtiment

1.2 Détermination des points de fonctionnement

Pour les pompes Amacan, la hauteur manométrique totale requise pour un débit donné est calculée, en principe, comme pour toute autre pompe centrifuge.

Les courbes de pompe documentées comprennent les pertes de charge internes générées entre l'entrée de roue et 0,5 m au-dessus du couvercle du moteur. Les pertes à l'aspiration et celles au refoulement à plus de 0,5 m au-dessus du couvercle du moteur ainsi que les pertes de charge générées par les déviations, structures internes et les pertes en sortie sont à prendre en compte en tant que part de hauteur manométrique dynamique.

La courbe de réseau comprend une hauteur manométrique géométrique (différence des niveaux d'eau) et une hauteur manométrique dynamique (pertes de charge par frottement dans les pièces traversées par le liquide) :

$$H_{ges} = H_{geo} + H_{dyn}$$

$$H_{dyn} = \sum_{i=1}^{j+n} \lambda_i \times \frac{L_i}{d_i} \times \frac{v_i^2}{2g} + \sum_{i=1}^{j+n} \xi_i \times \frac{v_i^2}{2g}$$

Les pompes à hélice en particulier ne fournissant que de faibles hauteurs manométriques, les pertes à la sortie de la tuyauterie ne doivent pas être négligées dans le calcul (d'autant plus qu'un clapet anti-retour y est souvent installé).

Lors de la détermination des parts de HMT géométriques, les différences maximales de niveau entre l'aspiration et le refoulement de la station de

relevage revêtent un intérêt particulier, notamment pour les stations d'assèchement à faible hauteur manométrique. Ces niveaux d'eau maximum ne doivent pas entraîner le dépassement vers le haut ou vers le bas des limites de hauteur manométrique de la pompe et le fonctionnement éventuel de la pompe dans un point à gauche de Q_{min} .

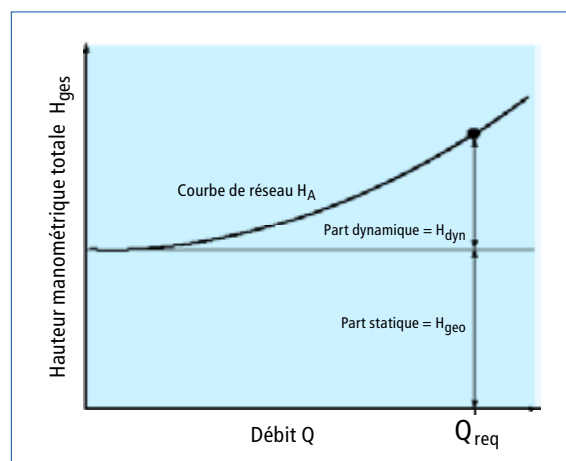


Fig. 1.2-a : Exemple d'une courbe de réseau [H = f(Q)]

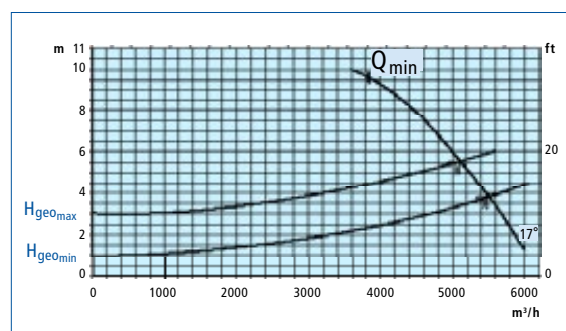


Fig. 1.2-b : Représentation des niveaux d'eau possibles

i représente la portion de tuyauterie considérée avec une longueur L_i , un diamètre de tuyauterie d_i , un coefficient de pertes ξ_i et une vitesse d'écoulement v_i régnante dans cette portion de tuyauterie.

Si certains coefficients de pertes ξ_i ne sont pas connus en calculant les parts de hauteur manométrique dynamique, les références bibliographiques en fin de cet ouvrage peuvent vous aider (voir Détermination des pompes centrifuges [1]).

Les différences de niveaux d'eau sont d'une importance particulière pour la sélection de pompes submersibles en tube. En effet, le niveau d'eau minimal W_{sp_min} dans l'ouvrage ne doit pas chuter en dessous du niveau d'eau t_1 requis pour le débit de la pompe afin d'éviter les vortex de surface. Ce niveau d'eau permet de déterminer la profondeur d'ouvrage nécessaire t_{BW} de la station de relevage.

Le niveau d'eau minimum dépend du débit demandé de la pompe [$t_1 = f(Q)$] et de la conception de la chambre d'aspiration (voir paragraphes 2.2.1 à 2.2.3).

Outre la profondeur d'immersion de la roue (dépendant de la taille de pompe) et le niveau limite

empêchant des vortex aérés (dépendant du débit) – ces deux paramètres sont représentés dans la fig. 1.2-c – le NPSH requis au point de fonctionnement de la pompe revêt une importance pour le niveau d'eau requis t_1 . La condition suivante doit être remplie :

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requis} + 1,0 \text{ m de marge de sécurité}$$

Si cette condition n'est pas remplie, il faut augmenter la valeur de t_1 de la différence.

$$t_{BW} = W_{sp_min} - t_1$$

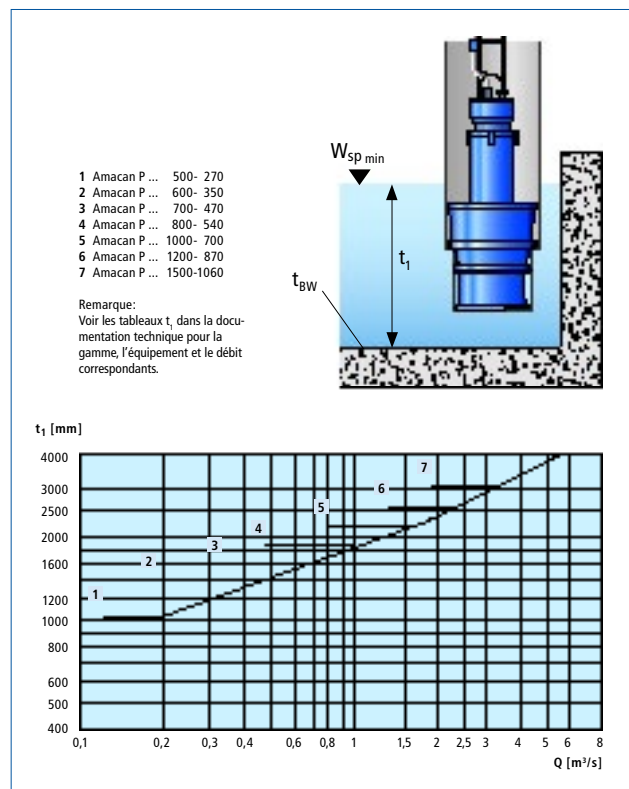


Fig. 1.2-c : Détermination du niveau d'eau minimum t_1 pour Amacan P (pour Amacan K et Amacan S, voir livret technique)

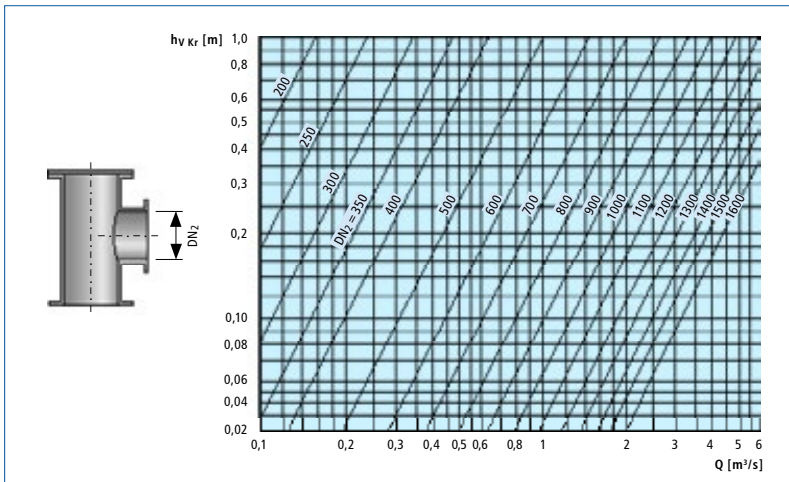


Fig. 1.2-d : Détermination des pertes de charge dans un coude de sortie

Si le tube est ouvert en haut (déversement libre de l'eau du tube, par exemple) la hauteur de la lame déversante h_{ii} doit être prise en compte pour la détermination de la hauteur manométrique totale de la pompe H_{ges} .

A défaut d'indications précises, la hauteur de déversement h_{ii} peut être lue dans le diagramme ci-dessous.

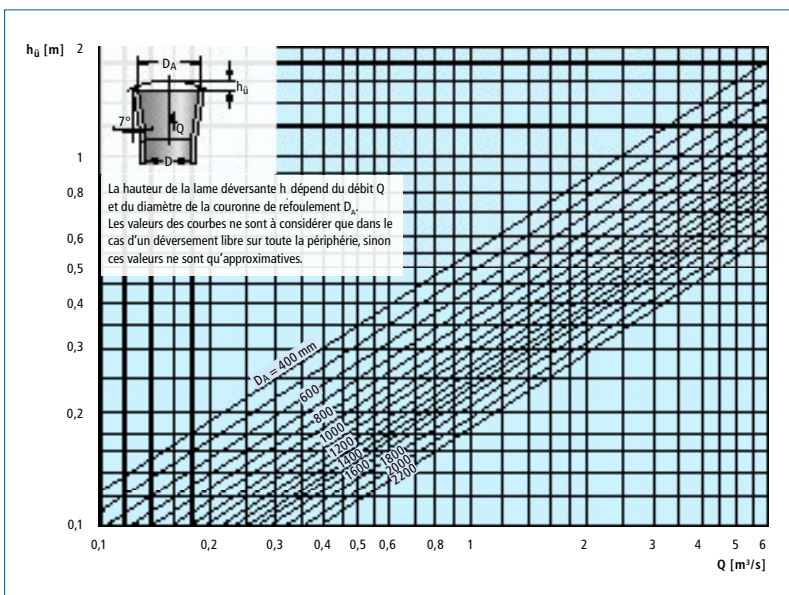
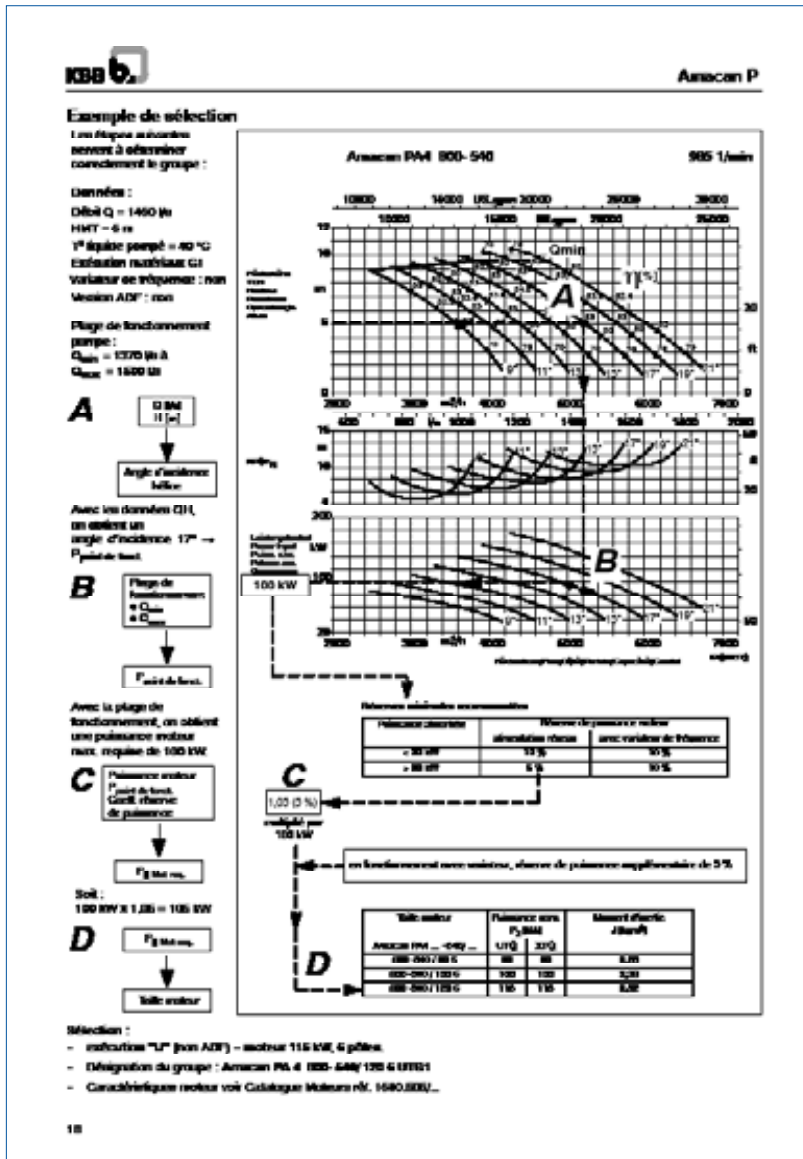


Fig. 1.2-e : Détermination de la hauteur de la lame déversante h_{ii}



Une fois que la courbe de réseau a été déterminée, celle-ci devra toujours être représentée avec la courbe de pompe pour vérifier les points de fonctionnement obtenus (point d'intersection des courbes). Le prescripteur pourra ainsi éviter un fonctionnement à l'extérieur de la plage de fonctionnement définie.

Fig. 1.2-f : Etapes de sélection des pompes Amacan (voir livret technique)

1.3 Fonctionnement des pompes avec variateur de fréquences

Par principe, tous les moteurs de pompes conviennent pour un fonctionnement avec variateur de fréquence. Les courbes des pompes submersibles en tube Amacan peuvent être calculées à l'aide des lois de similitude, tout comme pour les autres types de pompes centrifuges.

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

n_1 vitesse de départ
 n_2 vitesse modifiée

En changeant la vitesse on poursuit en général l'objectif d'adapter le point de fonctionnement de la pompe de manière optimale aux exigences de l'installation. Comme nous l'avons dit ci-dessus, les pompes submersibles en tube offrent le choix entre trois formes de roues différentes qui entraînent des courbes caractéristiques différentes.

Pour chacun de ces trois types de roue, il convient de vérifier systématiquement la plage de régulation. Cette vérification comprend la détermination de la (des) courbe(s) de réseau avec $H_{geo,min}$ et $H_{geo,max}$.

Par ailleurs il faut :

- (a) contrôler la vitesse d'écoulement dans la tuyauterie pour garantir, le cas échéant, que les fibres et particules soient entraînées ($v_{moyenne} > 2 \text{ m/s}$) et
- (b) vérifier la vitesse périphérique sur le diamètre extérieur de la roue des pompes à hélice (15 m/s au minimum). Avec la régulation de vitesse et en tenant compte des niveaux d'eau variables, aucun point de fonctionnement ne doit être situé à gauche de la limite de fonctionnement. Cela signifie que les vitesses limites doivent être harmonisées avec les niveaux d'eau respectifs.

Si deux pompes ou plus, disposant d'une tuyauterie de refoulement commune, sont équipées de variateurs, il est recommandé de faire fonctionner toutes les

pompes à la même vitesse. Ceci permet d'éviter que les pompes se mettent mutuellement en régime de charge réduite (avec les conséquences néfastes que l'on sait sur la roue, l'étanchéité d'arbre et les paliers).

Si des problèmes surviennent lors de la vérification des vitesses d'écoulement minimum, il est éventuellement possible de réduire légèrement les valeurs (en fonction du liquide pompé). Afin d'empêcher de manière fiable un colmatage des pompes, le système de commande peut être programmé de manière à effectuer une brève opération de rinçage en augmentant la vitesse à une heure définie. Celle-ci peut ensuite être abaissée automatiquement à la vitesse d'origine.

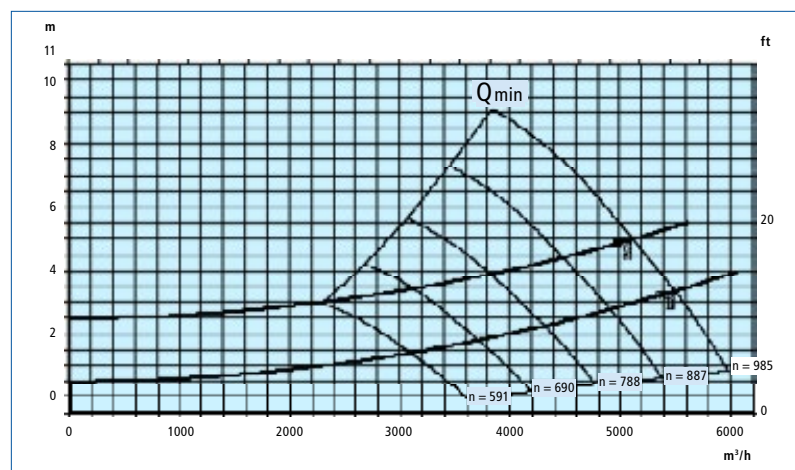


Fig. 1.3-a : Courbes de vitesse de l'Amacan P 800 - 540 A 4

2. Conception de l'ouvrage

2.1 Remarques générales

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 comprend la zone d'entrée de l'eau à la station de relevage, la géométrie de la chambre d'aspiration (requis dans certains cas), 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 des chambres d'aspiration

éventuelles et 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 chambres d'aspiration, des niveaux d'eau minimum ou de la géométrie des parties de la station de relevage en contact avec l'écoulement, peut mettre en cause le bon fonctionnement de la station toute entière. Il est peu important que ce soit le non-respect d'un aspect individuel ou toute une série d'écarts qui ont entraîné les 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 [6] 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 vannes de commande
2. Changements brusques de direction (par ex. angles aigus)
3. Zones d'écoulement immergées à vitesse importante (par 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 bêche de pompage
8. Arrivée d'eau au dessus du niveau d'eau dans la bêche 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.

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 bache 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. Débits d'amenée à vitesse d'écoulement importante (jets creux) 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. Ecoulements à grande vitesse ($v > 2$ m/s)
4. Ecoulements 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 géométries requises de la chambre d'aspiration 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.

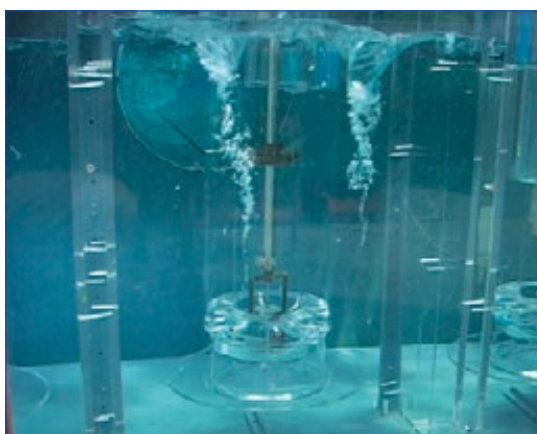


Fig. 2.1-a : Formation de vortex due à des conditions inadmissibles d'arrivée d'eau dans la chambre : un écoulement en jet heurte directement le tube

2.2 Etude de l'installation des pompes

Lorsque que toutes les réflexions hydrauliques concernant la répartition du débit sont achevées et que la taille de pompe adaptée a été définie, on peut déterminer les dimensions de la chambre d'aspiration.

Grâce à la variabilité de la conception du tube, les pompes Amacan offrent un grand choix de variantes pour une réalisation optimale de la station de relevage. Ceci permet au prescripteur une adaptation facile aux spécificités de l'ouvrage et aux conditions d'installation. Quelques-unes des variantes d'installation sont présentées brièvement ci-après.

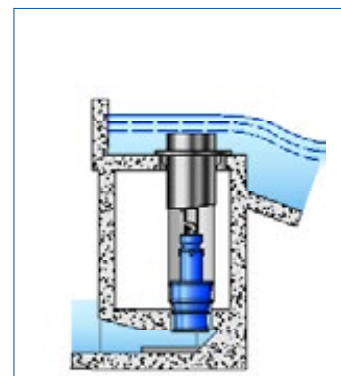
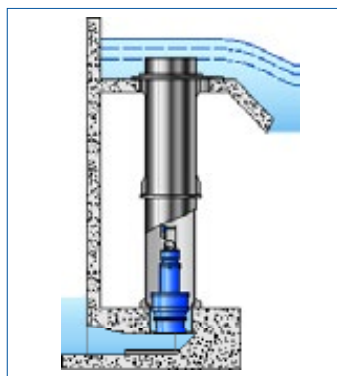


Fig. 2.2-a : Variantes de tubes à déversement libre

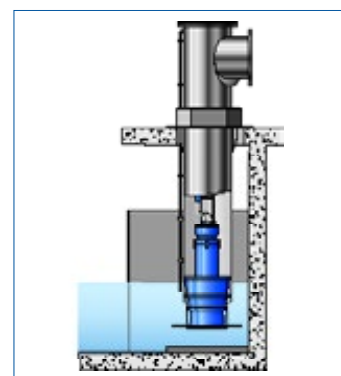
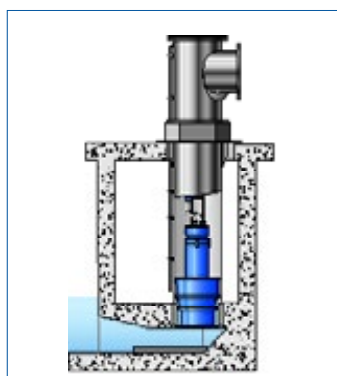


Fig. 2.2-b : Variantes de tubes avec refoulement au-dessus du plan de pose

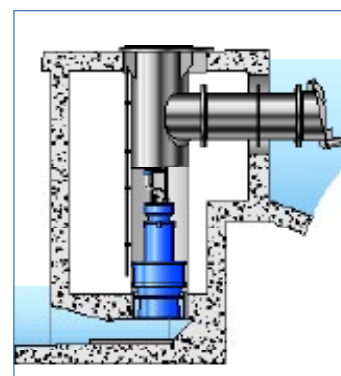
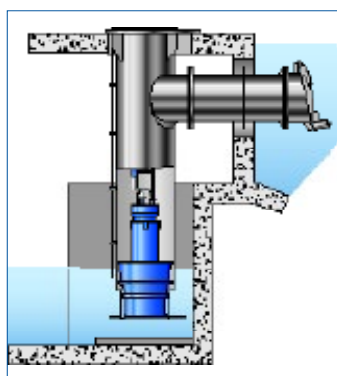


Fig. 2.2-c : Variantes de tubes avec refoulement sous plan de pose

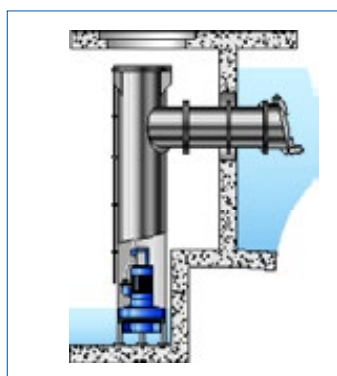


Fig. 2.2-d : Variante de tube avec refoulement sous plan de pose, conçu pour la circulation de véhicules

Outre les documentations des constructeurs, les normes internationales en vigueur servent d'orientation pour la pré-étude (voir références bibliographiques).

Une fois que les dimensions approximatives de la station de relevage sont définies, il convient de procéder à l'étude détaillée de l'installation des pompes à l'aide de la documentation technique des constructeurs (par ex. livrets techniques ou programmes de sélection). On y trouve les dimensions d'ouvrage détaillées requises pour chaque taille de pompe. Ces dimensions sont à respecter impérativement pour assurer un fonctionnement sans incident des pompes.

Des informations sont données sur les vitesses d'écoulement maximales en amont de la pompe et le sens d'écoulement pour les différentes géométries de chambre d'aspiration (voir chapitre 2.3).

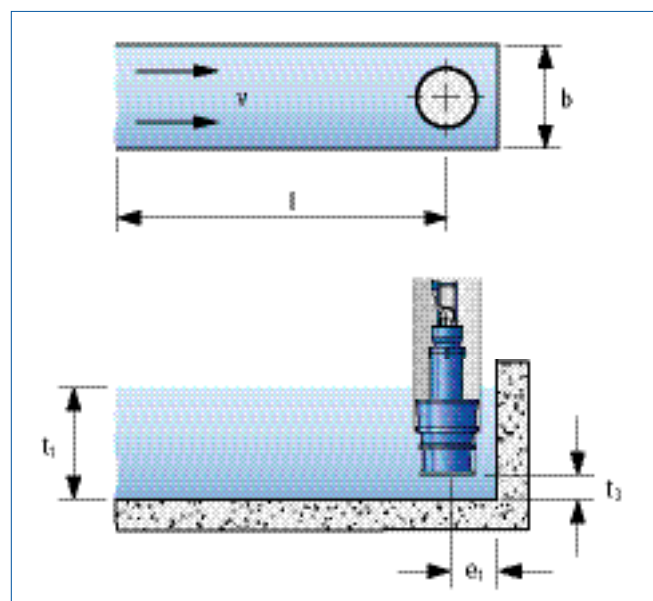
Les dimensions principales sont la largeur et la longueur de la chambre d'aspiration ainsi que les distances à respecter entre le tube et la paroi arrière et entre le tube et le radier. Il faudra ensuite déterminer le niveau d'eau minimum requis en fonction du débit de la pompe pour assurer à celle-ci de bonnes conditions

d'alimentation dans la chambre d'aspiration, sans formation de vortex de surface introduisant de l'air.

En déterminant la géométrie de la chambre d'aspiration, il convient de prendre en compte les conditions de fonctionnement qui peuvent éventuellement se produire lorsque, dans une installation multi-pompes, le fonctionnement d'un nombre réduit de pompes entraîne des conditions d'écoulement

sensiblement modifiées dans la chambre d'aspiration (vitesse d'écoulement, sens d'écoulement), voir aussi paragraphe 2.3.

Le nombre de pompes équipant la station de relevage n'a pas de répercussion sur les dimensions de la chambre d'aspiration et le tube.



- e_1 Distance entre la pompe et la paroi de derrière
- b Largeur du canal d'alimentation
- l Longueur du canal d'alimentation à écoulement régulier sans modification du sens d'écoulement
- v Vitesse d'écoulement moyenne dans le canal d'alimentation
- Q Débit
- t_1 Profondeur d'immersion minimale
- t_3 Garde au sol

Fig. 2.2-e : Dimensions principales de la chambre d'aspiration (pour les dimensions, voir le livret technique ou le programme de sélection)

2.2.1 Chambre d'aspiration ouverte

Ce type de chambre d'aspiration constitue la variante la plus économique au cas où le niveau d'eau dans la bête de pompage est suffisamment élevé et l'eau entre dans la chambre directement par devant, une légère déviation de 10° au maximum étant autorisée.

La vitesse d'écoulement dans la chambre d'aspiration ne doit pas dépasser 1 m/s. Un écoulement oblique de plus de 10° doit être exclu pour éviter les décollements et la formation de vortex. Ceci s'applique également en cas de changement des conditions de fonctionnement.

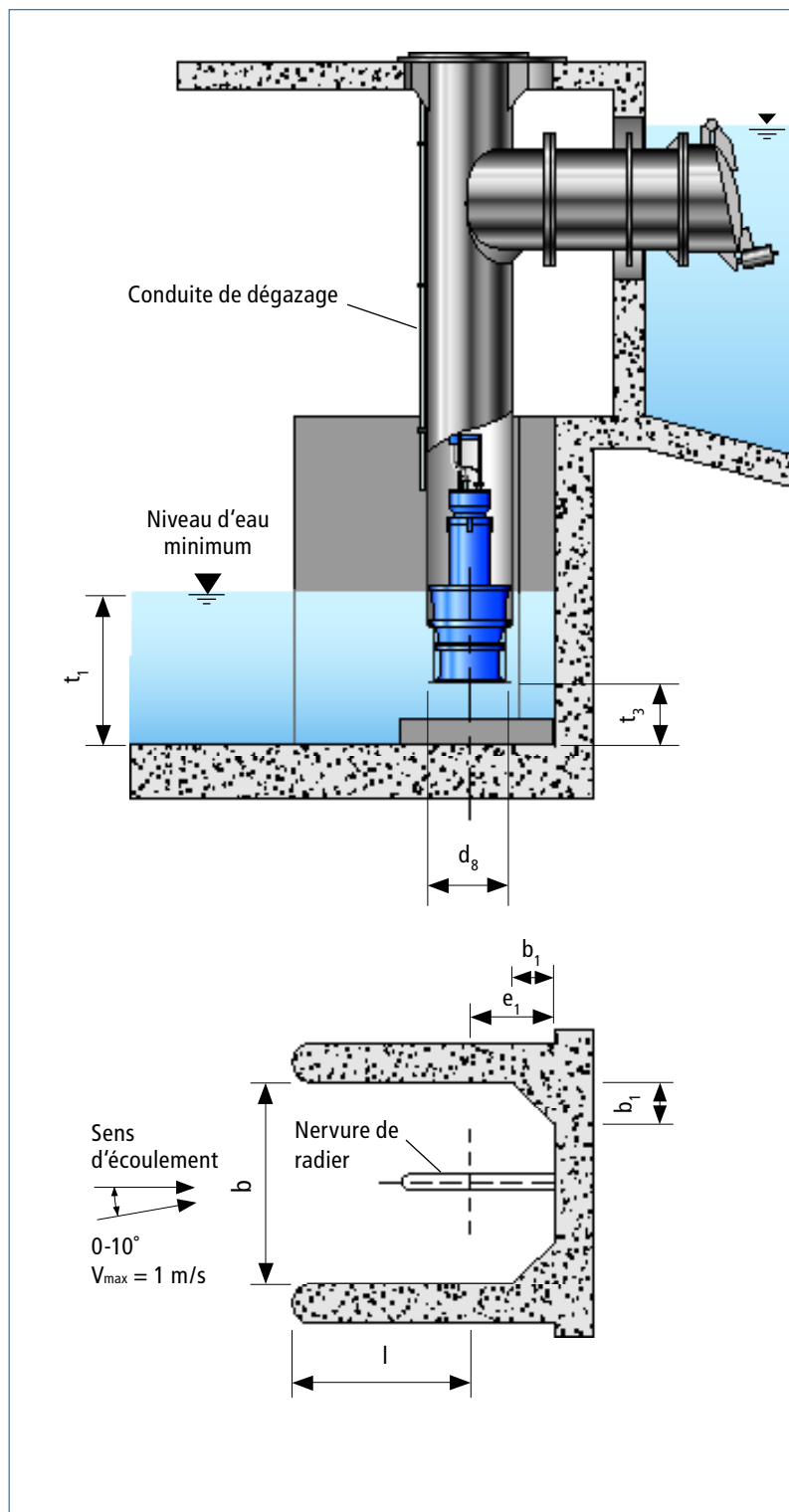


Fig. 2.2.1-a : Chambre d'aspiration ouverte
(dimensions voir livret technique)

2.2.2 Chambre d'aspiration ouverte avec plaque d'aspiration

Si l'on constate, lors de la vérification du niveau d'eau minimum dans la bache de pompage, que celui-ci est insuffisant, une conception modifiée de la chambre d'aspiration peut assurer une profondeur d'immersion suffisante, nécessaire pour éviter les vortex entraînant de l'air. Une des variantes, qui ne demande que de légères modifications, est la chambre d'aspiration ouverte avec plaque d'aspiration. Elle permet le fonctionnement de la pompe avec un niveau d'eau minimum réduit t_1 à l'aspiration en conservant la taille de pompe et le point de fonctionnement.

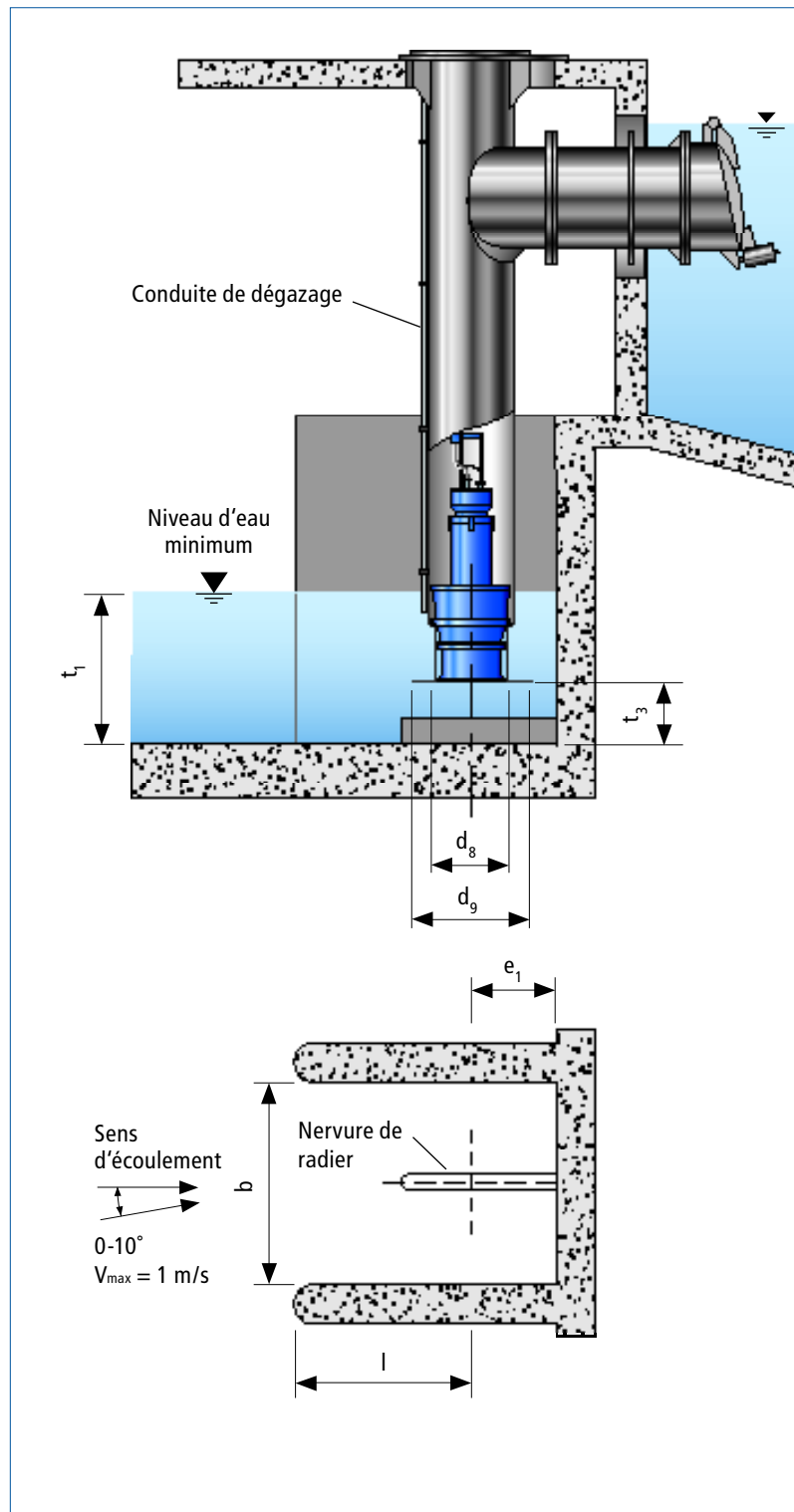


Fig. 2.2.2-a : Chambre d'aspiration ouverte avec plaque d'aspiration (dimensions voir livret technique)

2.2.3 Chambre d'aspiration couverte

La chambre d'aspiration couverte est une variante spéciale qui permet de réduire au maximum le niveau d'eau minimum requis pour éviter les vortex entraînant de l'air. Elle accepte sans problème une arrivée d'eau avec un angle compris entre 0 et 90° à une vitesse d'écoulement max. de 1 m/s. Mais elle entraîne un coût de réalisation légèrement supérieur comparé aux deux variantes de chambres décrites ci-avant.

Ce type de chambre d'aspiration a souvent fait ses preuves dans des installations caractérisées par des conditions défavorables d'arrivée d'eau et par un niveau d'eau bas.

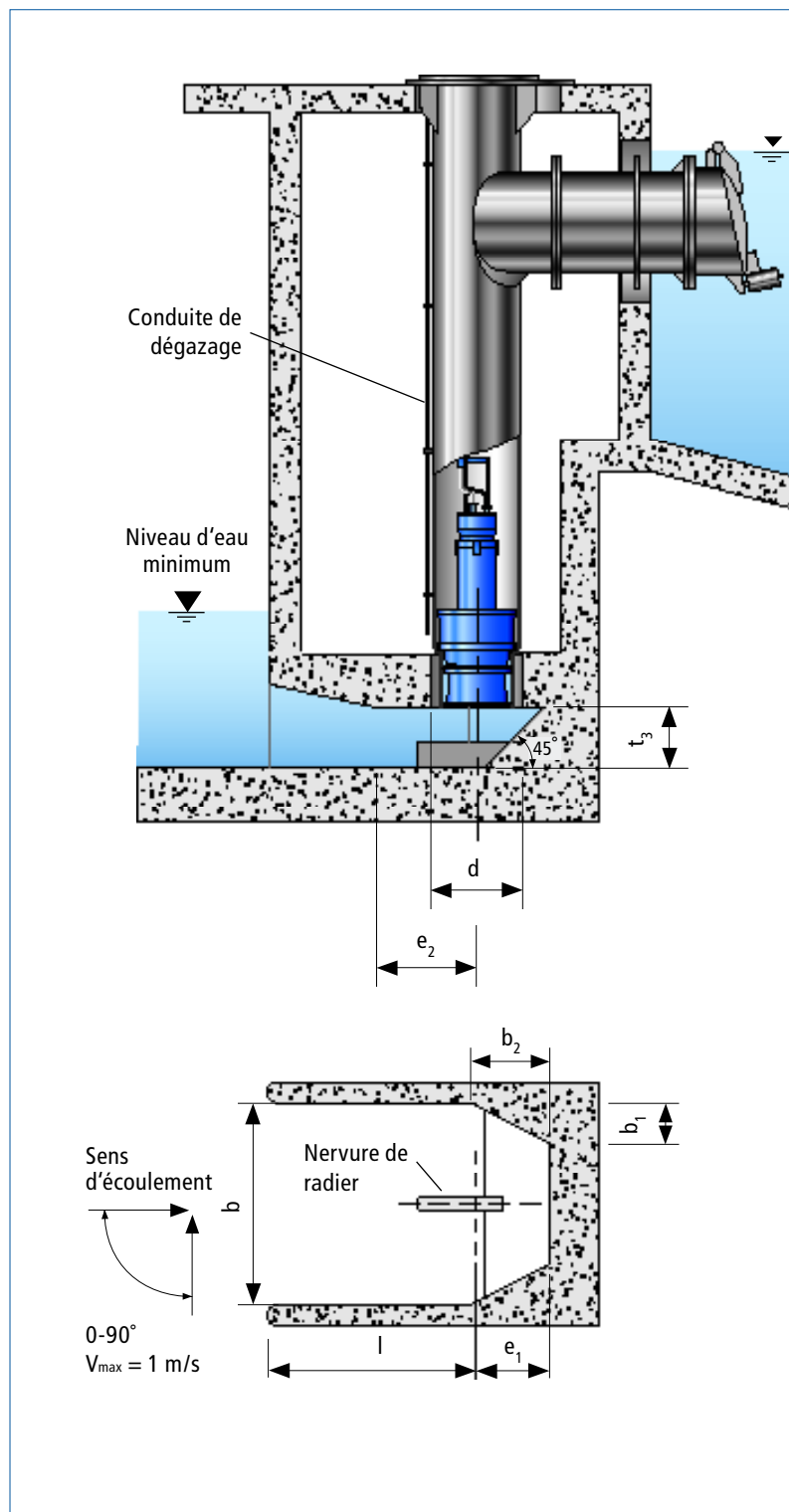


Fig. 2.2.3-a : Chambre d'aspiration couverte
(dimensions voir livret technique ou programme de sélection)

2.2.4 Réflexions détaillées sur la chambre d'aspiration

A la différence des pompes Amacan K, les pompes Amacan P et Amacan S doivent être dotées de chambres d'aspiration individuelles. Il est important d'assurer que les parois de la chambre dépassent de 150 mm au minimum le niveau d'eau max. dans la bêche. Ainsi la géométrie de la chambre d'aspiration ne favorise pas la formation de vortex en cas de niveau d'eau maximal.

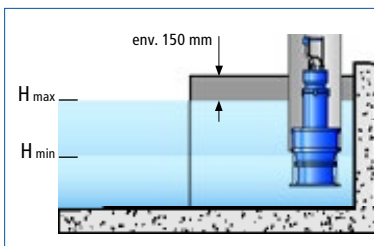


Fig. 2.2.4-a : Hauteur de paroi de la chambre d'aspiration

La paroi de la chambre doit toujours avoir un profil arrondi dans la zone d'arrivée de l'eau pour minimiser le risque de formation de vortex dans le cas d'une éventuelle entrée oblique de l'eau dans la chambre. Cette mesure est valable aussi bien pour les chambres individuelles à arrivée d'eau oblique que pour les chambres multiples à arrivée d'eau centrale.

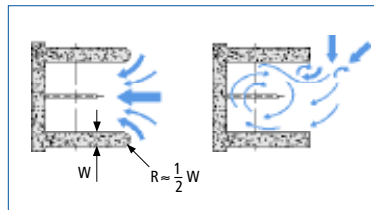


Fig. 2.2.4-b : Conception de la zone d'entrée

Pour tous les types de chambre d'aspiration des gammes Amacan P et Amacan S, il est important de prévoir une nervure anti-vortex en dessous de l'aspiration de la pompe. Celle-ci prévient la formation d'un vortex immergé qui peut entraîner,

entre autres, une dégradation des caractéristiques. Cette nervure peut être réalisée en béton ou acier.

Les dimensions exactes de la nervure sont indiquées dans le programme de sélection ou le livret technique.

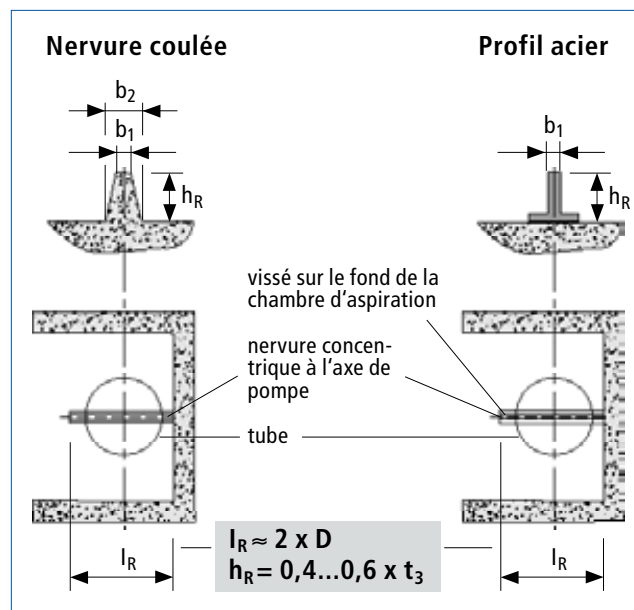


Fig. 2.2.4-c : Dimensions de la nervure

L'expérience des dernières années a montré que les frais d'enrobage de béton des chambres d'aspiration peuvent être réduits en adoptant des contours droits. On peut éviter les zones d'eau morte en leur substituant des zones de béton. Les contours angulaires de la chambre d'aspiration sont alors bétonnés jusqu'à une hauteur de 150 mm au minimum au-dessus du niveau d'eau maximal. En fonction de la conception de la station de relevage, le prescripteur peut prévoir la possibilité d'isoler des chambres individuelles de la bache de pompage remplie et de les vidanger, le cas échéant.

Pour cela, des rainures pour le montage d'un batardeau peuvent être intégrées dans la paroi de la chambre, ou bien la chambre peut être isolée par une vanne appropriée. Si ces ouvrages prévus au niveau des parois de la chambre entraînent des étranglements de la section d'écoulement libre, il convient de vérifier et, le cas échéant, d'augmenter la distance entre la pompe et l'obstacle à l'écoulement.

Les surfaces des chambres d'aspiration et les parois de la bache de pompage doivent être en béton rugueux. Si ces zones en contact avec le liquide pompé sont trop lisses, voire revêtues de peinture, la réduction des contraintes au cisaillement qui en résulte accroît le risque de formation de vortex (vortex immergés, éventuellement vortex de surface). La rugosité de ces surfaces mouillées doit être comprise entre 1 et 3 mm.

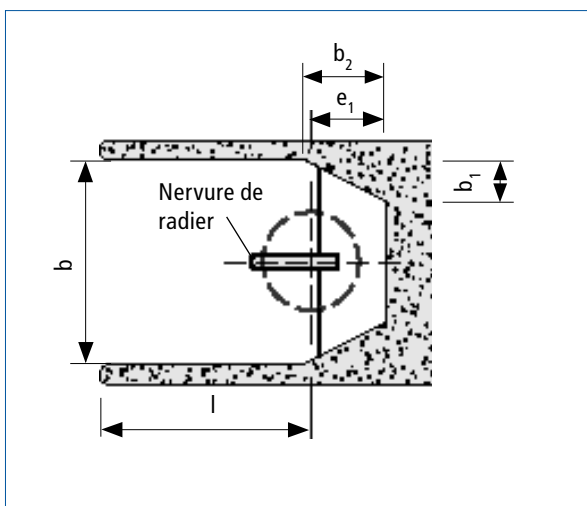


Fig. 2.2.4-d : Enrobage des angles

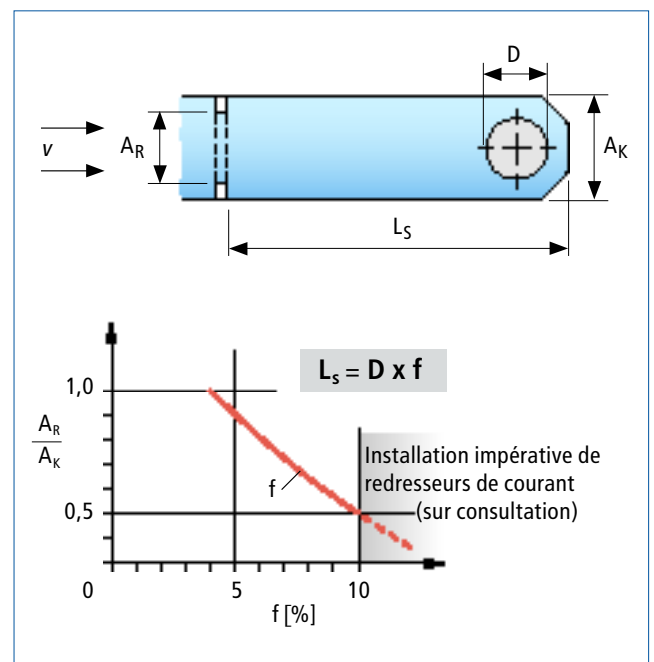


Fig. 2.2.4-e : Influence d'un étranglement de section

Dans certaines circonstances, il peut être nécessaire d'adapter la chambre d'aspiration aux conditions spécifiques d'un projet. On peut envisager, par exemple, de remplacer la chambre d'aspiration par un coude d'aspiration. Celui-ci remplit alors une fonction similaire à une chambre d'aspiration couverte : il oriente l'écoulement et assure à l'hydraulique de la pompe une répartition régulière de la vitesse sur toute la section d'entrée.

Le dimensionnement exact de ces cas spécifiques doit être déterminé en adéquation précise avec les caractéristiques de l'installation et nécessite une consultation du centre de compétences de KSB.

Si une solution spéciale est inévitable pour un projet donné, celle-ci doit être validée par des études sur modèle physique et/ou des simulations MFN (Mécanique des Fluides numérique). Ces moyens sont mis en œuvre pour confirmer le fonctionnement sans problème des solutions hors standard dans les conditions spécifiques d'une installation (cf. paragraphes 2.5 et 2.6).

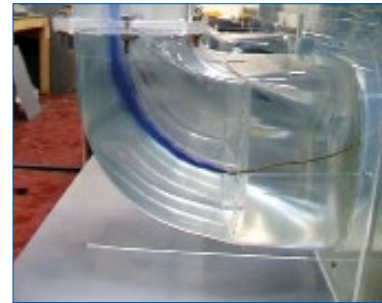


Fig. 2.2.4-g : Essai sur modèle physique d'une solution avec coude double

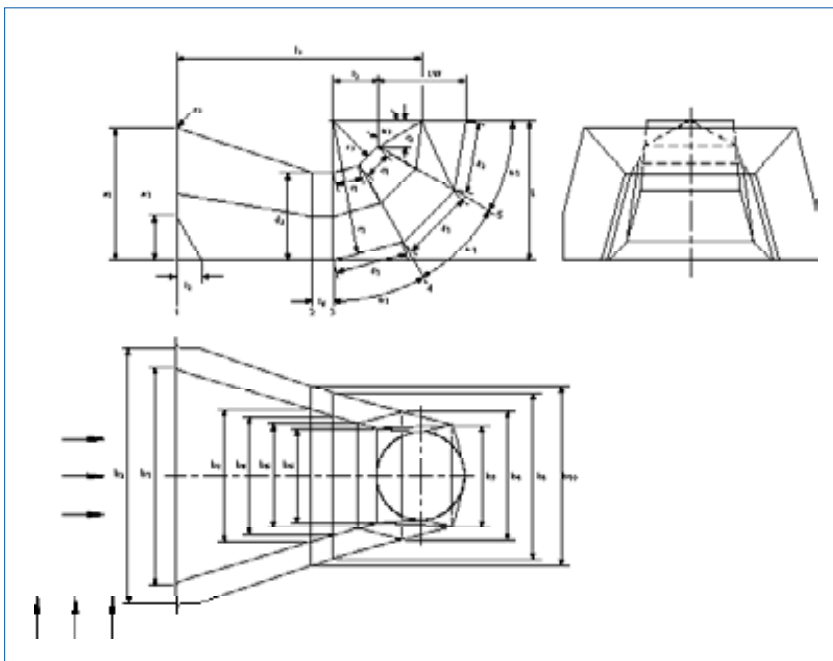


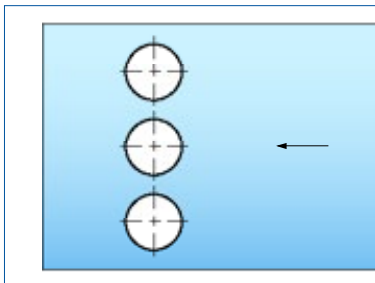
Fig. 2.2.4-f : Solution avec coude à segments

2.2.5 Exemples d'études de stations de relevage

Cas 1

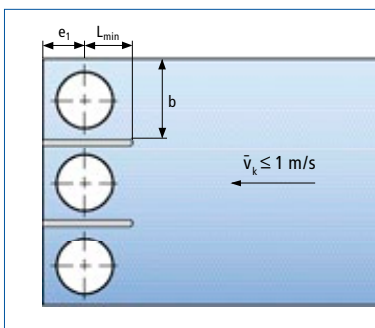
Situation de départ :

Une station de relevage équipée de trois pompes doit relever l'eau d'un aqueduc. L'écoulement en amont des pompes est décrit comme étant régulier sur toute la largeur de l'aqueduc.



Problème :

Distance trop grande entre les tubes et la paroi arrière entraînant le risque de décollements turbulents derrière les tubes. Absence de chambres d'aspiration, d'où risque d'interférences entre les pompes et conditions d'alimentation non définies en cas de fonctionnement mono-pompe.



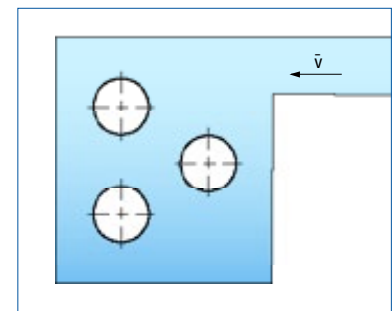
Solution :

Une chambre d'aspiration individuelle est prévue pour chacune des pompes. Les encombrements de la chambre sont à déterminer en fonction de la taille de pompe (voir livret technique ou programme de sélection). Ceci permet d'assurer des conditions d'écoulement définies en amont des pompes et d'éviter les interférences pendant le pompage.

Cas 2

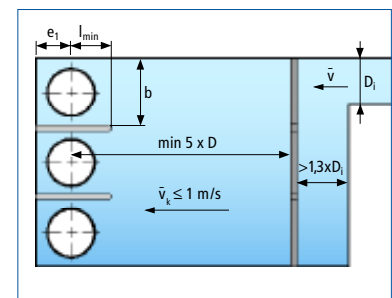
Situation de départ :

Une station de relevage équipée de trois pompes doit relever l'eau d'une bache de pompage alimentée de front par un aqueduc excentré. Les pompes sont installées de manière asymétrique par rapport à l'arrivée d'eau. L'installation ne comporte pas de chambres d'aspiration.



Problème :

L'alimentation excentrée de la bache de pompage entraîne une rotation anti-horaire du liquide dans la bache. L'importance de cette rotation et, par conséquent, de l'écoulement irrégulier en amont des pompes dépend de la vitesse d'écoulement dans l'aqueduc d'alimentation.



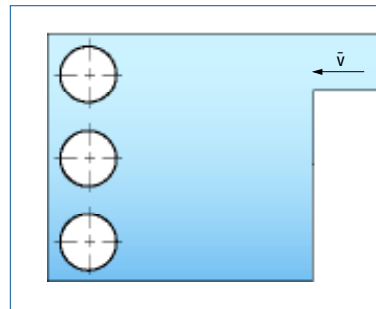
Cas 3

Solution :

Une chambre d'aspiration individuelle est prévue pour chacune des pompes. Les encombrements de la chambre sont à déterminer en fonction de la taille de pompe (voir livret technique ou programme de sélection). Les interférences entre les pompes sont ainsi évitées pendant le pompage. Pour assurer un écoulement plus régulier à l'aspiration des pompes, un voile ouvert en partie basse est installé dans la bache de pompage. Celui-ci prévient la rotation du liquide.

Situation de départ :

Une station de relevage équipée de trois pompes doit relever l'eau d'une bache de pompage alimentée de front par un aqueduc excentré. Les pompes sont installées de manière asymétrique par rapport à l'arrivée d'eau. L'installation ne comporte pas de chambres d'aspiration.

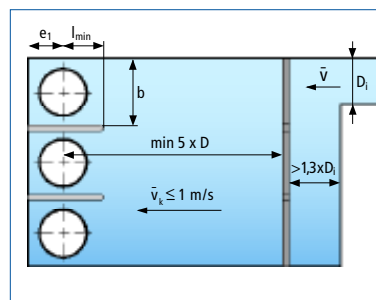


Solution :

Un voile ouvert en partie basse est installé devant les chambres d'aspiration. Celui-ci prévient la rotation du liquide et assure un écoulement frontal, sans prérotation, vers les chambres d'aspiration.

Problème :

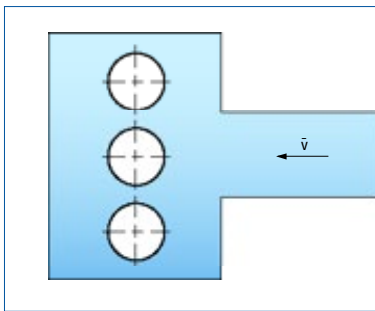
L'alimentation excentrée de la bache de pompage entraîne une rotation anti-horaire du liquide dans la bache. L'importance de cette rotation et, par conséquent, de l'écoulement irrégulier en amont des pompes dépend de la vitesse d'écoulement dans l'aqueduc.



Cas 4.1

Situation de départ :

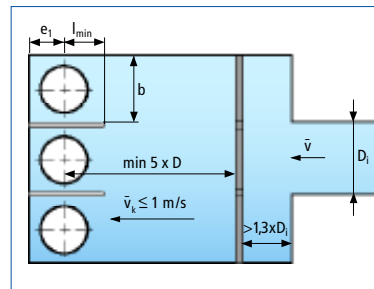
Une station de relevage équipée de trois pompes doit relever l'eau d'un aqueduc excentré. Les pompes sont alimentées latéralement à partir de l'aqueduc. Elles ne sont pas séparées entre elles par des cloisons.

*Problème :*

L'écoulement de la canalisation vers la bache de pompage est symétrique par rapport à l'installation des pompes. Or, des décollements turbulents peuvent se former. Il y a risque de répartition irrégulière de la vitesse d'écoulement entre les pompes. L'absence de chambres d'aspiration peut entraîner des conditions d'écoulement non définies et des interférences entre les pompes.

Solution :

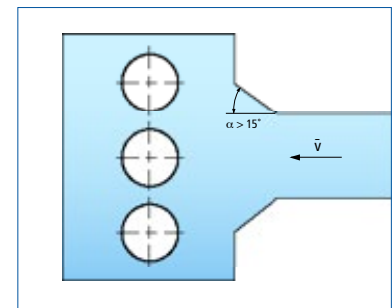
Une chambre d'aspiration individuelle est prévue pour chacune des pompes. Les encombrements de la chambre sont à déterminer en fonction de la taille de pompe (voir livret technique ou programme de sélection). Les pompes sont installées dans la bache de pompage près de la paroi opposée à l'arrivée d'eau. Une voile ouverte en partie basse est installée sur toute la longueur devant les chambres d'aspiration. Les interférences entre les pompes pendant le pompage sont ainsi évitées et un écoulement régulier est assuré.



Cas 4.2

Situation de départ :

Le relevage doit être assuré par trois pompes installées dans une bache de pompage. L'arrivée d'eau dans la bache est centrale. Les pompes sont installées sans chambre d'aspiration, perpendiculairement au sens d'écoulement. Un évasement de la canalisation d'alimentation doit réduire la vitesse d'écoulement dans la bache de pompage. Les pompes sont installées très loin de la paroi arrière par rapport à la zone d'alimentation en amont des pompes.

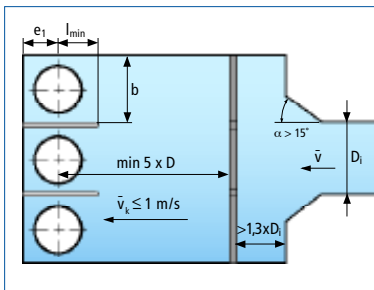
*Problème :*

L'arrivée d'eau de la canalisation dans la bache de pompage peut entraîner des décollements turbulents. Il y a risque de répartition irrégulière de la vitesse d'écoulement en amont des pompes. L'angle d'évasement est trop grand, il entraîne des turbulences et un écoulement irrégulier à l'aspiration des pompes. L'absence de chambres d'aspiration peut provoquer des interférences entre les pompes et des conditions d'écoulement non définies.

Cas 5

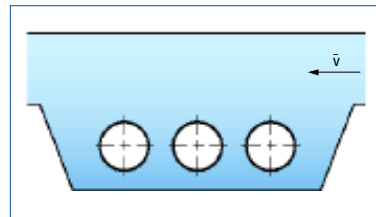
Solution :

Une chambre d'aspiration individuelle est prévue pour chacune des pompes. Les encombrements de la chambre sont à déterminer en fonction de la taille de pompe (voir livret technique ou programme de sélection). Les pompes sont installées dans la bêche près de la paroi opposée à l'arrivée d'eau. Un voile ouvert en partie basse est installée sur toute la longueur devant les chambres d'aspiration. Les interférences entre les pompes pendant le pompage sont ainsi évitées et un écoulement régulier est assuré.



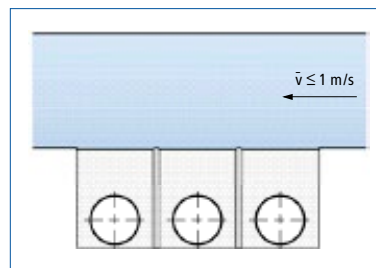
Situation de départ :

Une station de relevage équipée de trois pompes doit relever l'eau d'un aqueduc. Les pompes ne sont pas dotées de chambres d'aspiration. L'écoulement est transversal par rapport à l'installation des pompes.



Problème :

Les pompes sont pleinement exposées à l'écoulement de l'aqueduc qui longe la ligne des pompes. Des tourbillons marginaux peuvent se former derrière les tubes, et des interférences entre les pompes peuvent se produire pendant le pompage.



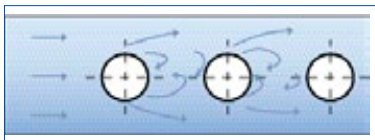
Solution:

Chaque pompe est dotée d'une chambre d'aspiration couverte. Les écoulements transversaux jusqu'à 1 m/s au maximum sont ainsi possibles sans problème. Les encombrements de la chambre sont à déterminer en fonction de la taille de pompe (voir livret technique ou programme de sélection). Les chambres d'aspiration doivent se terminer à hauteur de la paroi de l'aqueduc pour éviter des étranglements d'écoulement supplémentaires et des variations importantes du profil de vitesse de l'aqueduc.

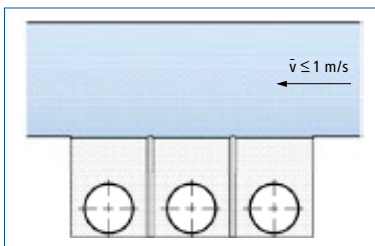
Cas 6

Situation de départ :

Une station de relevage équipée de trois pompes doit relever l'eau d'un aqueduc. Les pompes sont installées l'une derrière l'autre. Aucun élément de séparation (chambres, cloisons, etc.) n'a été prévu entre les pompes.

*Problème :*

L'écoulement de la canalisation entraîne le risque de décollements turbulents et de répartition irrégulière de la vitesse d'écoulement en amont et en aval des pompes. L'absence de chambres d'aspiration favorise des conditions de pompage non définies et augmente le risque d'interférences entre les pompes.

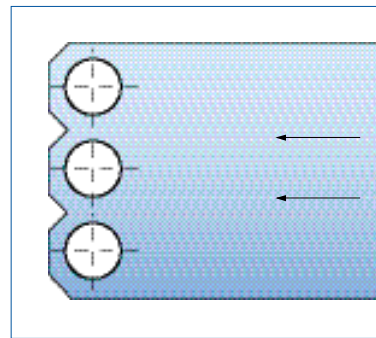
*Solution :*

Une chambre d'aspiration couverte est prévue pour chacune des pompes. Les encombrements de la chambre sont à déterminer en fonction de la taille de pompe (voir livret technique ou programme de sélection). Les interférences entre les pompes pendant le pompage sont ainsi exclues et les conditions d'écoulement sont définies de manière précise.

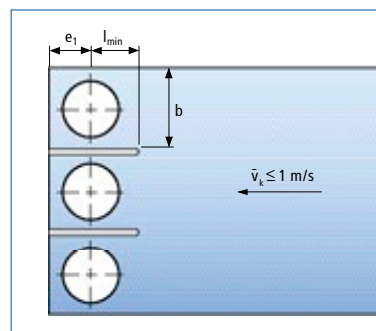
Cas 7

Situation de départ :

Une station de relevage équipée de trois pompes doit relever l'eau d'une canalisation. L'écoulement en amont des pompes est décrit comme étant régulier sur toute la largeur de la canalisation. Les pompes sont séparées entre elles par des pointes sur la paroi arrière de la bête.

*Problème :*

Les pompes ne sont pas installées dans des chambres d'aspiration intégrales. Ceci peut provoquer des conditions d'écoulement non définies et entraîner des interférences entre les pompes. Des conditions d'écoulement non prévisibles en amont des pompes peuvent en résulter, notamment lors du fonctionnement d'un nombre réduit de pompes.

*Solution :*

Chaque pompe est installée dans une chambre d'aspiration intégrale. Les encombrements de la chambre sont à déterminer en fonction de la taille de pompe (voir livret technique ou programme de sélection). Les interférences entre les pompes sont ainsi exclues.

2.2.6 Amacan K, un cas particulier

En raison de sa roue multi-canaux, ce type de pompe est relativement peu exigeant en terme de conception de l'ouvrage. Les tubes peuvent être installés sans prévoir de chambres d'aspiration ou de cloisons de séparation entre les pompes. Or, il est impératif de respecter les distances latérales (par rapport à l'ouvrage et entre les pompes) et la distance par rapport à la paroi arrière e_1 pour éviter les interférences entre les pompes.

La fig. 2.2.6-a présente un schéma d'installation simplifié. Les conditions suivantes peuvent être retenues comme valeurs approximatives pour une pré-étude :

La distance par rapport à la paroi arrière $e_1 \approx 0,6 \times D$ doit être impérativement respectée.

Le niveau d'eau minimum requis t_1 est fonction du débit Q , tout comme pour les autres pompes submersibles en tube. Il est documenté dans le livret technique.

La distance latérale minimum $s_{\min} \approx 1,6$ à $1,8 \times D$ devra également être respectée.

Le coefficient 1,6 doit être pris en compte pour un diamètre de tube $D = 700$ et le coefficient 1,8 pour $D = 1400$. Les valeurs intermédiaires sont à interpoler. Des nervures de radier ne sont pas nécessaires pour Amacan K, contrairement à l'Amacan P ou l'Amacan S.

Dans le cas d'un angle d'écoulement différent ou d'une vitesse d'écoulement supérieure à 1 m/s à l'aspiration des pompes, il convient de réagir en prenant des mesures adéquates (voir chapitre 2.3 «Conception de la bêche de pompage»).

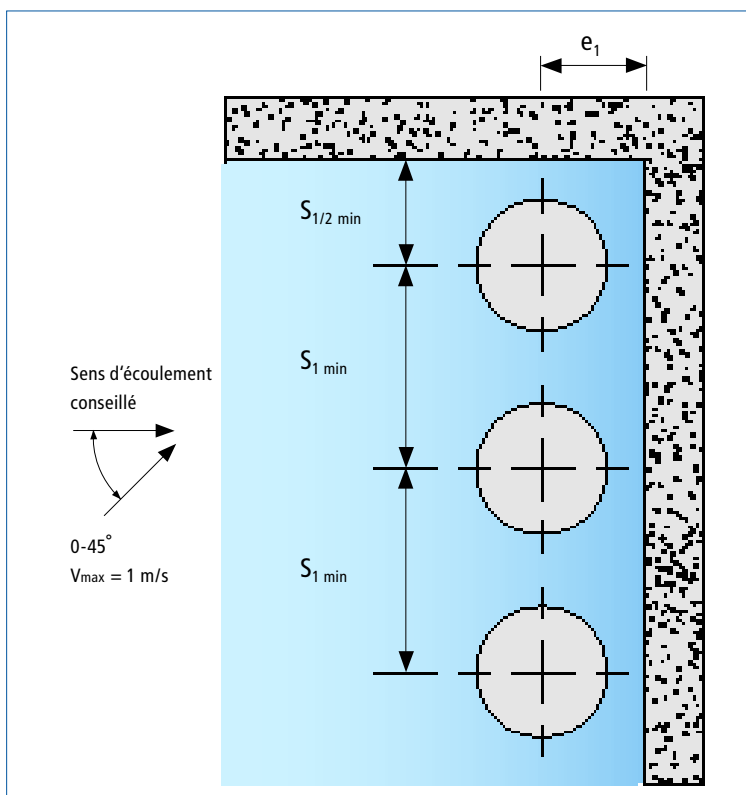


Fig. 2.2.6-a : Dimensions minimales

2.3 Conception de la bête de pompage

Le volume d'eau en amont des pompes ou la bête de pompage relie la zone d'arrivée de l'eau de la station de relevage aux pompes installées en tube. La conception de cette zone peut être aussi variée que les possibilités d'installation des pompes. Nous ne pouvons donc présenter ci-dessous que quelques exemples. Les valeurs dimensionnelles indiquées ne sont valables que pour ces cas précis. Si, lors de l'étude d'une installation nouvelle ou la transformation d'une installation existante, les conditions diffèrent de celles présentées ici à titre d'exemple, nous vous recommandons de contacter KSB.

Pour une conception optimale de la bête de pompage, il faut éviter des paliers importants ou gradins au fond de la bête ainsi que des pentes de plus de 8 degrés. En outre, le dernier obstacle ou la dernière modification doit être distante d'au moins 4 D à 5 D de l'axe de la pompe (D = diamètre de tube). Des gradins importants (> 100 mm) doivent être absolument exclus pour éviter des zones de décollements immergés ou des vortex de fond.

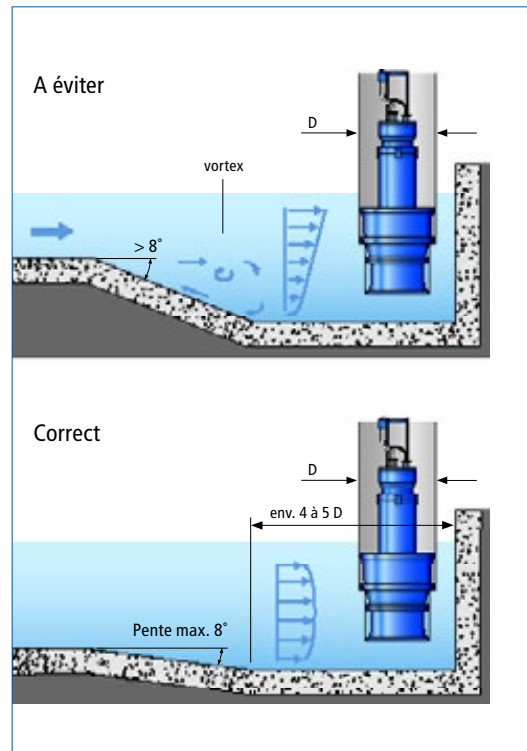


Fig. 2.3-a : Conception du fond de la bête de pompage

À l'entrée de l'eau dans l'ouvrage, deux solutions sont envisageables : réaliser un élargissement de la section de l'aqueduc, de type diffuseur, jusqu'à obtenir la largeur requise (nombre de pompes n + largeur de chambre $\times n + (n-1) \times$ épaisseur de paroi), ou bien prévoir un voile. Il doit être décidé au cas par cas laquelle de ces deux solutions est la mieux adaptée au projet.

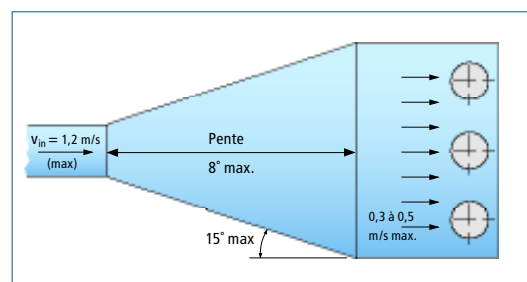


Fig. 2.3-b : Elargissement max. autorisé de la section mouillée et vitesses maximales suivant l'«Hydraulic Institute» [5] et CEN CR 13930 [12]

Certains auteurs admettent l'installation de pompes submersibles en tube sans chambre d'aspiration individuelle. KSB adhère à une philosophie différente : chaque pompe doit disposer d'une chambre d'aspiration individuelle complète (voir les paragraphes «Chambre d'aspiration ouverte» à «Chambre d'aspiration couverte» ci-avant) pour exclure les interférences entre les pompes. Les conditions d'écoulement réelles étant difficilement prévisibles, des influences très diverses dans l'ouvrage ou le mode de fonctionnement, même à des débits faibles des pompes, peuvent entraîner des vortex avec les conséquences néfastes que l'on sait pour les pompes.

KSB admet des vitesses d'écoulement maximales de 1 m/s en amont des pompes pour les géométries de chambre d'aspiration préconisées dans sa documentation technique. Les conditions dans l'environnement immédiat des pompes doivent donc être optimales (en vue d'une réduction éventuelle de la structure de l'ouvrage) pour éviter tout problème.

Si le sens de l'écoulement provenant de l'aqueduc d'arrivée change par rapport à la position des chambres d'aspiration des pompes, ceci doit être corrigé par des structures adéquates (redresseurs de courant). Ces redresseurs détruisent l'énergie cinétique du liquide entrant dans la station de relevage et l'ouverture en partie basse entraîne un changement de direction délibéré du flux.

Le résultat en est un écoulement symétrique vers les chambres des pompes. En l'absence d'une telle cloison, l'énergie de l'eau entrant peut provoquer la formation de vortex et un écoulement asymétrique vers les chambres d'aspiration ce qui est très défavorable à un fonctionnement correct des pompes.

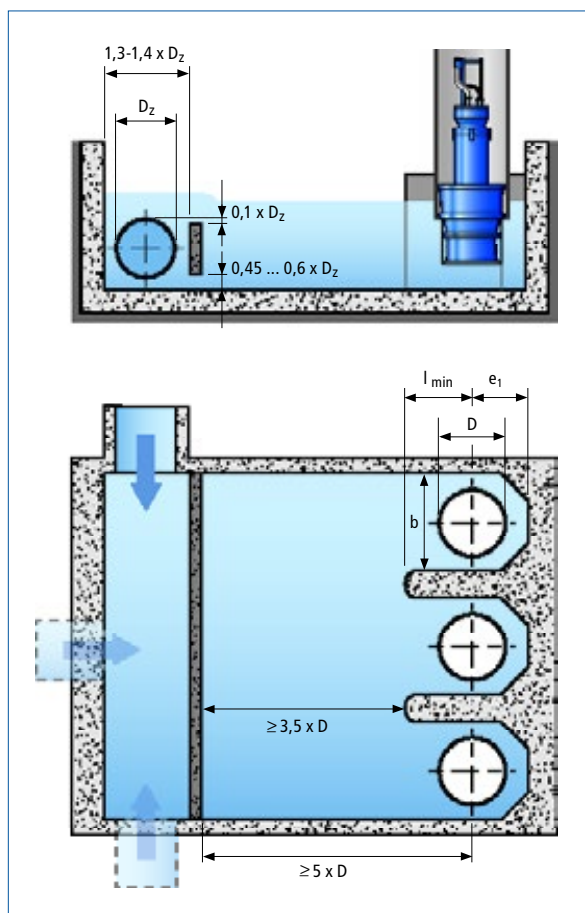


Fig. 2.3-c : Station de relevage avec arrivée d'eau transversale et voile de redressement

Si un dénivelé important existe entre l'aqueduc d'arrivée et le niveau d'eau dans la bache de pompage, il faut prévoir des ouvrages de chute appropriés pour empêcher un entraînement d'air. Une différence de niveau de 0,3 m est considéré comme la limite à partir de laquelle il faut réagir pour maîtriser le dénivelé [7]. Là aussi, les conditions sont très différentes d'une installation à l'autre. Une solution spécifique doit être trouvée qui peut impliquer, par exemple, la réalisation de structures internes.

Des changements de direction de l'écoulement peuvent se produire lorsque, dans une station de relevage équipée de plusieurs pompes, un nombre réduit de pompes est en fonctionnement. Un pré-dimensionnement est utile pour retenir, le cas échéant, une chambre d'aspiration couverte au lieu d'une chambre ouverte.

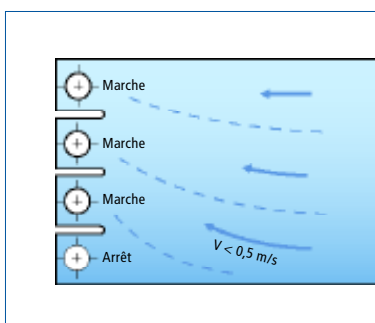


Fig. 2.3-d : Profil d'écoulement en cas de fonctionnement d'un nombre de pompes réduit

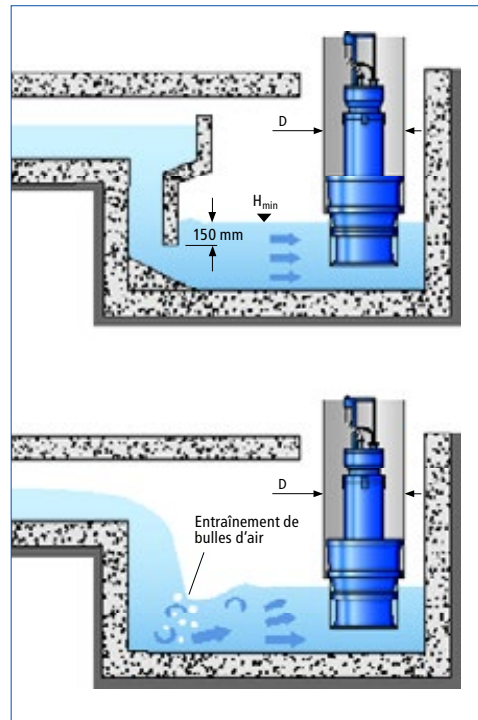


Fig. 2.3-e : Station de relevage avec chute d'eau

Si un angle d'élargissement de l'ouvrage de plus de 15° est prévu pour réduire la vitesse d'arrivée d'eau v_i , il faut prévoir des mesures pour empêcher les décollements turbulents : cloisons ou tôles de redressement, déflecteurs ou chicanes. La faisabilité de ces solutions dépend de la nature du liquide pompé.

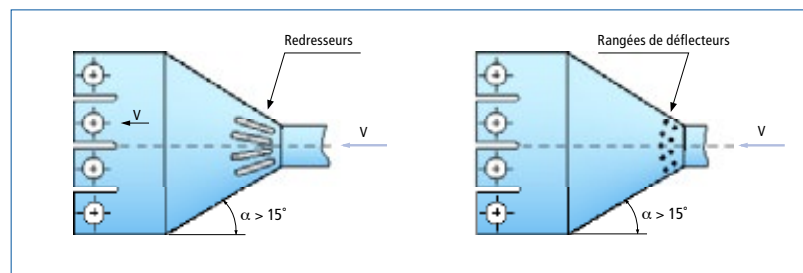


Fig. 2.3-f : Optimisation de l'écoulement

Les conditions d'alimentation à partir d'un aqueduc ressemblent au captage d'eau dans une rivière. Selon la vitesse d'écoulement du cours d'eau, des zones de décollement peuvent survenir à l'arrivée du liquide dans la zone des chambres d'aspiration. Si la solution avec chambre d'aspiration couverte est impossible, il faut augmenter de manière considérable la longueur des parois de chambre. A titre approximatif, le prescripteur pourra retenir une augmentation d'un facteur 3 de la longueur L_{\min} indiquée dans les documentations.

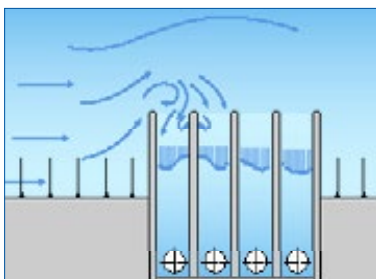


Fig. 2.3-g : Station de relevage avec chambre ouverte pour le captage d'eau d'une rivière

Si l'eau est captée dans une nappe d'eau stagnante, l'aspect «écoulement transversal» n'est pas à prendre en compte. Si la profondeur d'immersion des pompes est suffisante en fonction du débit, c'est-à-dire si le niveau d'eau t_1 requis entre le niveau d'eau minimum de la nappe d'eau et le radier de la chambre d'aspiration est assuré (voir documentation technique), des chambres d'aspiration ouvertes conviennent sans problème. Suivant la conception des parois latérales de la station de relevage, celles-ci peuvent être légèrement allongées au-delà de la longueur de la chambre d'aspiration L_{\min} pour réduire l'influence de la déflexion de l'écoulement sur les chambres d'aspiration extérieures.

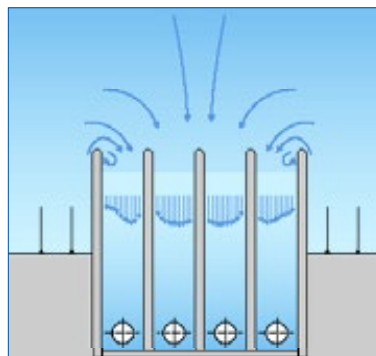


Fig. 2.3-h : Station de relevage avec chambre ouverte pour le captage d'eau dans une nappe d'eau stagnante

2.4 Solutions spéciales

Si des ouvrages standard ne sont pas réalisables ou si les conditions dans la station de relevage sont différentes de celles décrites ci-dessus, nous vous recommandons de faire appel à l'expérience des spécialistes de KSB pour étudier des solutions spéciales. Dans un tel cas spécial, il est très souhaitable que l'échange d'informations commence dès un stade précoce pour pouvoir identifier très vite les problèmes

éventuels et définir une solution praticable en prévoyant des mesures adéquates.

Ces cas spéciaux sont caractérisés, par exemple, par une vitesse maximale d'alimentation des pompes de $v > 1$ m/s combinée à un écoulement transversal important. Dans ces cas, on peut optimiser l'écoulement en amont des pompes par un dimensionnement judicieux de déflecteurs ou l'étude de chambres d'aspiration spécifiques. Là aussi, la nature

du liquide pompé joue un rôle important ce qui souligne, une fois de plus, la nécessité d'une solution d'ingénierie individuelle. KSB a réalisé avec succès de nombreuses études dans ce domaine. La nécessité de confirmer la validité de ces solutions par des essais sur modèle physique ou des simulations MFN (Mécanique des Fluides numérique) est à décider au cas par cas.

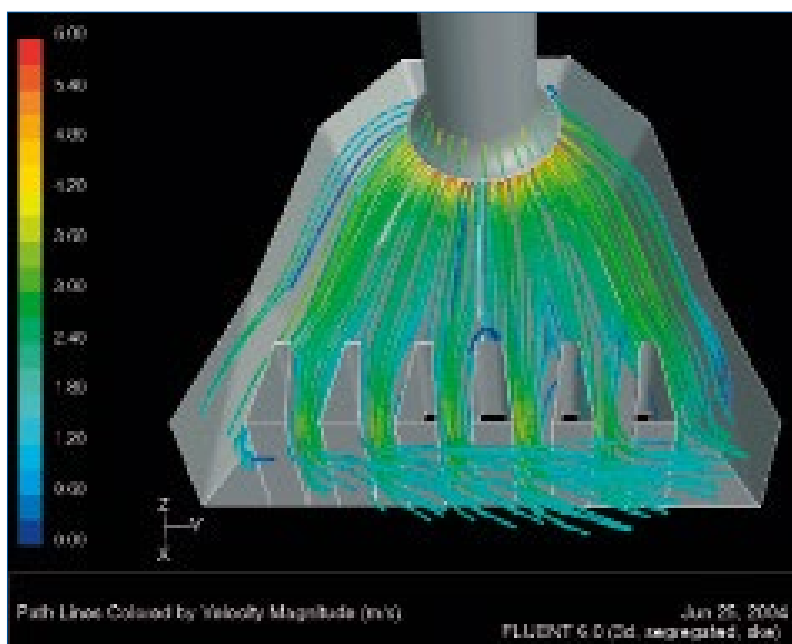


Fig. 2.4-a : Chambre d'aspiration spéciale étudiée pour les écoulements transversaux à $v = 1,8$ m/s

2.5 La nécessité d'essais sur modèle physique

Ces essais 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 survenants (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, la tension superficielle et l'inertie de l'écoulement du liquide.

Les nombres sans dimension applicables sont les suivants :

Nombre de REYNOLDS	$Re = \frac{vd}{\nu}$
Nombre de FROUDE	$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot d}}$
Nombre de WEBER	$We = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot d}{\sigma}$

avec :

v = vitesse d'écoulement en m/s
 d = diamètre hydraulique en m
 ν = viscosité cinématique en m²/s
 g = accélération de la pesanteur en m/s²
 σ = tension superficielle en N/mm²

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

La réalisation d'essais sur modèle physique 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 termes de dimensions de chambre d'aspiration, aménagement de tuyauterie, distances par rapport aux parois, changement important de direction entre l'arrivée d'eau à l'ouvrage et la zone d'aspiration en amont des pompes, etc.
- Le débit par pompe est supérieur à 2,5 m³/s ou le débit total de la station de relevage est supérieur à 6,3 m³/s.
- L'écoulement à l'aspiration des pompes est asymétrique et/ou irrégulier.
- Des changements importants du sens d'écoulement surviennent en cas de fonctionnement alternatif des pompes dans une station de relevage multi-pompes.
- Problèmes survenant dans une station de relevage existante.

Montage expérimental

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.



Fig. 2.5-a : Modèle acrylique d'une station de relevage Amacan P

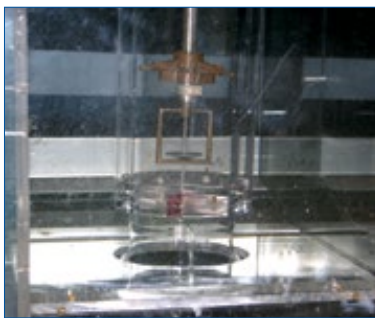


Fig. 2.5-b : Vortomètre

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 l'évaluation des vortex, on observe non seulement la surface du liquide, mais aussi les zones inférieures sur la paroi ou le fond. L'intensité des vortex présents dans une section d'écoulement définie est rendue visible par des sondes de couleur alors que leur taille est mesurée par l'angle de rotation (°) du rotamètre selon la formule suivante :

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

avec :

- d_m = diamètre de tube
(ici, tube d'aspiration de la pompe)
- n = rotations du rotamètre
- u = vitesse d'écoulement axial

Selon Hecker, les vortex de surface sont classés en six catégories (de 1 = faible à 6 = très fort) et les vortex immergés en trois catégories ou bien en quatre catégories selon Tillack [16].

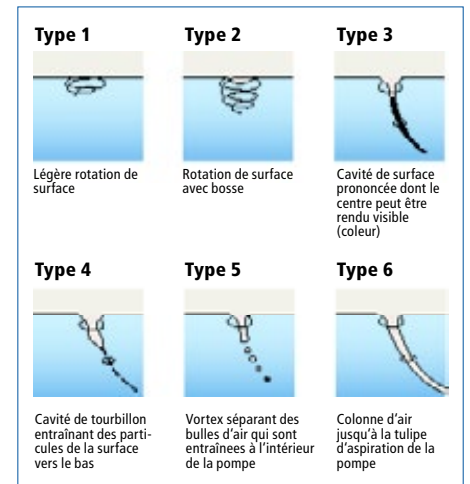


Fig. 2.5-c : Classification des vortex de surface selon Hecker (types 1 à 6)

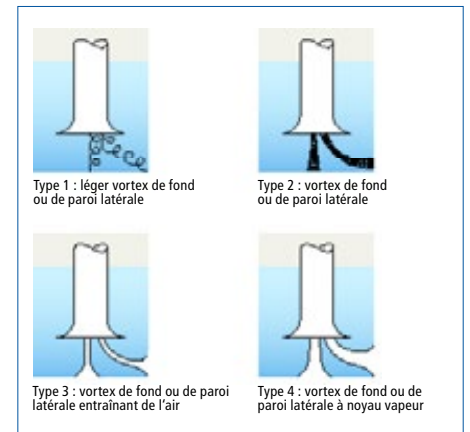


Fig. 2.5-d : Classification des vortex immergés selon Tillack (types 1 à 4)

Sur les graphiques, ces formations de vortex peuvent paraître bien anodines. Or, les vortex engendrés dans le cadre d'études sur modèle physique donnent déjà 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. Aussi est-il difficile de déceler les formations de vortex comme cause de problème, notamment lorsqu'il s'agit de vortex immergés.



Fig. 2.5-e : Prise de vue en laboratoire d'un vortex de surface type 6



Fig 2.5-f : Prise de vue en laboratoire d'un vortex de surface type 3

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.

Evaluation des résultats

Avant le terme de la phase d'étude, les résultats de mesure doivent être validés conjointement par le prescripteur 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 7 degrés peut être considéré comme acceptable si celui-ci survient pendant moins de 10% de la durée d'étude ou si le constructeur de pompe définit une limite différente.
3. Seuls les vortex de surface de type 1 ou 2 ainsi que les vortex immergés de type 1 sont acceptables à condition qu'ils ne portent pas atteinte de manière excessive au profil de vitesse mesuré.

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

L'étude se termine par un rapport détaillé des régimes de fonctionnement examinés. Les formations de vortex et états de fonctionnement observés en fonction des niveaux d'eau testés dans l'ouvrage sont à enregistrer sur bande vidéo et à remettre au client.

KSB soutient et coordonne sur demande la réalisation d'études sur modèle physique dans le cadre de projets d'installations.

2.6 L'importance des simulations MFN

La simulation numérique d'écoulement (MFN : Mécanique des Fluides numérique) ne cesse de gagner en importance. Les logiciels développés spécialement à cet effet constituent un instrument efficace pour prévoir les conditions d'écoulement avec une grande précision. L'investissement en terme de temps et d'argent que demande une telle simulation dépend :

- 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'analyse et de la visualisation des résultats (rapport) ainsi que de leur ampleur.

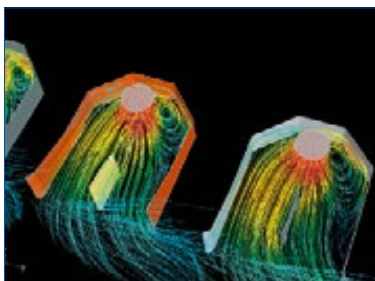


Fig. 2.6-a : Ecoulement dans des chambres d'aspiration Amacan

Méthode

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right]$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right]$$

Le calcul de 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. Lors de la modélisation, les distances entre les points de maillage peuvent varier. Ces différences dépendent des gradients de la vitesse d'écoulement.

Les points de maillage calculés sont plus resserrés au niveau des parois et angles, qui sont considérés comme des discontinuités du point de vue de la dynamique des fluides. Dans les zones de faibles gradients de vitesse, les points peuvent être plus éloignés les uns des autres.

Des hypothèses concernant la répartition des turbulences doivent être émises pour les points de maillage. Le spécialiste MFN doit alors choisir le modèle de turbulence le mieux adapté. Il faut une grande expérience pour adopter la modélisation adéquate, d'une part, et interpréter correctement les résultats obtenus, d'autre part.

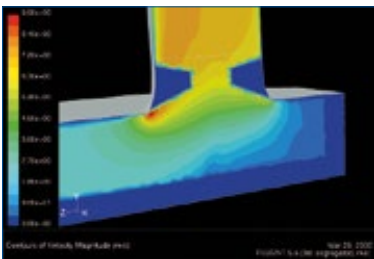


Fig. 2.6-b : Simulation de l'écoulement à l'entrée d'un tube

La simulation MFN est un moyen utile pour évaluer les écoulements dans des ouvrages de prise d'eau et des bâches de pompage d'autant plus qu'elle permet d'analyser de manière très précise l'influence de pompes individuelles sur l'écoulement dans les installations multi-pompes.

Le problème réside dans le fait que les vortex de surface et immergés ainsi que les écoulements asymétriques ne présentent pas toujours un comportement stationnaire, d'où les difficultés de les prédire avec précision.

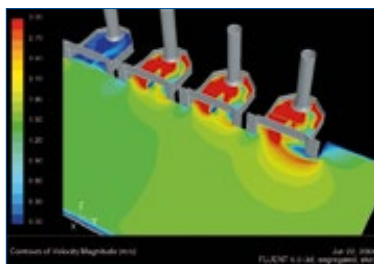


Fig. 2.6-c : Simulation d'une station de relevage multi-pompes

Chez KSB, la simulation MFN est l'un des outils d'ingénierie standard mis en œuvre depuis de longues années. La concordance entre les calculs MFN et les essais sur modèle physique, observée dans les études réalisées, permet aujourd'hui une prévision plus précise des conditions d'écoulement et une meilleure optimisation des stations de relevage. Cependant, dans des cas complexes, l'essai sur modèle physique est à préférer aux simulations MFN pour les études d'ouvrages.

La mise en œuvre de simulations MFN et d'essais sur modèle physique permettra de réduire de manière significative le coût global des stations de relevage à l'avenir.

2.7 installations de dégrillage

L'installation de dégrilleurs grossiers (écartement entre 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 dispositifs de nettoyage sont particulièrement importants 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).



Fig. 2.7-a : Dégrilleur grossier en amont d'une station de relevage Amacan (captage d'eau de rivière)

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 bache de pompage pour prévenir la pénétration de grosses particules dans l'ouvrage, ou intégrer des dégrilleurs individuels dans les chambres d'aspiration. Dans ce dernier cas, il peut être nécessaire d'augmenter la longueur de la chambre vu que l'installation du dégrilleur réduit légèrement la section de passage libre. Derrière le dégrilleur, une répartition égale de la vitesse est obtenue sur toute la section d'écoulement. Ceci est favorable au fonctionnement des pompes à condition que le dégrilleur ne contienne la grille pas de particules retenues (voir fig. 2.7-b).

En ce qui concerne le niveau d'eau minimum t_1 dans la bache 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. 2.7-b : Dégrilleur automatique

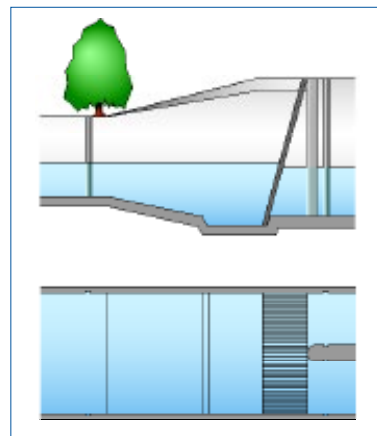


Fig. 2.7-c : Piège à cailloux en amont d'une station de relevage

A titre indicatif, l'écartement maximal entre les barreaux devra correspondre à la section de passage libre de la roue de pompe divisée par deux. Cette valeur ressort de la courbe de pompe (voir livret technique ou programme de sélection).



Fig. 2.7-d : Morceau de bois retenu dans le corps redresseur d'une pompe Amacan

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 [10] si l'on ne procède pas à une détermination précise.

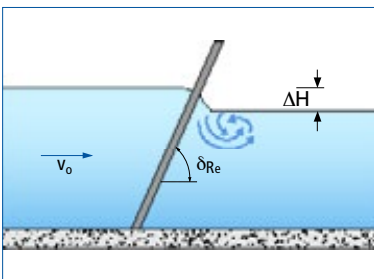


Fig. 2.7-e : Passage de l'eau par le dégrilleur, fond plat

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

$$\Delta H = \xi_{RE} \times \frac{v_0^2}{2g}$$

v_0 est la vitesse d'écoulement en amont du dégrilleur. Le coefficient des pertes globales β_{RE} est fonction de l'angle d'inclinaison de la grille δ_{RE} par rapport à l'horizontale,

du coefficient de correction pour le type de nettoyage c_{RE} et du coefficient ζ_{RE} . 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 ζ_{RE} 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} .

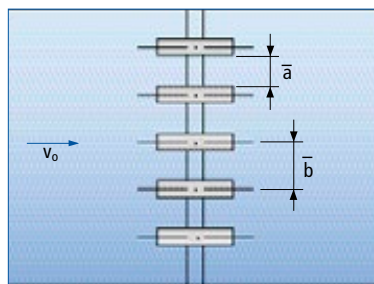


Fig. 2.7-f : Projection horizontale du dégrilleur

On obtient donc :

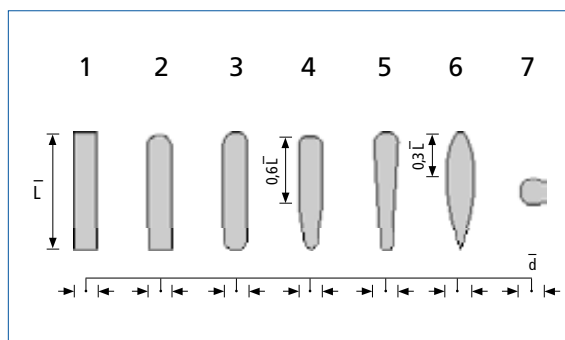
$$\xi_{RE} = \beta_{RE} \times \zeta_{RE} \times c_{RE} \times \delta_{RE}$$


Fig. 2.7-g : Formes de barreaux

Les valeurs suivantes sont applicables aux différentes formes de barreaux :

Forme	1	2	3	4	5	6	7
β_{RE}	1	0,76	0,76	0,43	0,37	0,3	0,74

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

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

Pour compenser les pertes de charge ΔH générées par le passage du dégrilleur, le fond de l'ouvrage ou de la canalisation derrière le dégrilleur est souvent abaissé de cette valeur Δz .

$$\Delta H = \Delta z$$

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.

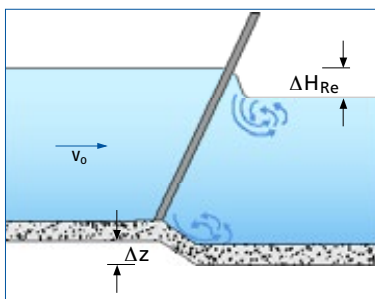


Fig. 2.7-b : Dégrilleur dans une installation à fond abaissé

Pour la sélection précise du dégrilleur, nous recommandons de procéder selon la méthode d'Idel'cik [11, 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. 2.7-g.



Fig. 2.7-i : Station de relevage avec dégrilleur automatique

Il est fréquent que le dégrilleur soit directement intégré dans la chambre d'aspiration. Ainsi chaque pompe est équipée d'un dégrilleur individuel. La distance entre celui-ci et le tube de pompe doit correspondre au moins à $4xD$ (D = diamètre de tube).

Si une arrivée d'eau en biais devant le dégrilleur ne peut pas être exclue et si l'influence de ces conditions d'écoulement sur le niveau d'eau en aval du dégrilleur est difficilement prédictible, la prolongation de la paroi de la chambre d'aspiration et l'intégration

du dégrilleur dans la chambre d'aspiration peuvent contribuer à des conditions d'écoulement mieux définies et plus régulières pour la pompe et le dégrilleur.

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.

3. Variantes de tubes

La conception des pompes Amacan permet un grand nombre de variantes d'installation si bien qu'il n'y a presque pas de limite à la créativité du prescripteur. Les tubes peuvent être fabriqués dans différentes métallurgies ou réalisés à partir d'éléments en béton. Le critère essentiel pour toutes les variantes d'installation est la réalisation précise du plan de pose de la pompe dans le tube avec une inclinaison de 45 degrés.

3.1 Configurations

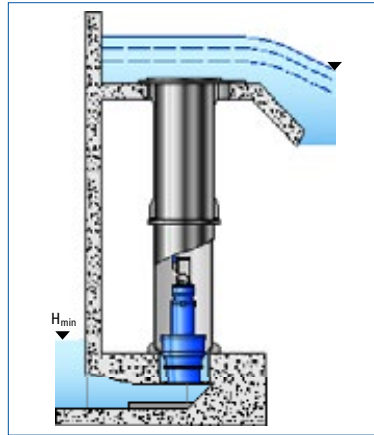


Fig. 3.1-a : Configuration A

Après le scellement de la bague d'appui dans le béton de la chambre d'aspiration, le tube est réalisé à partir d'éléments en béton. Cette conception peut convenir aux stations de relevage et stations d'irrigation peu complexes.

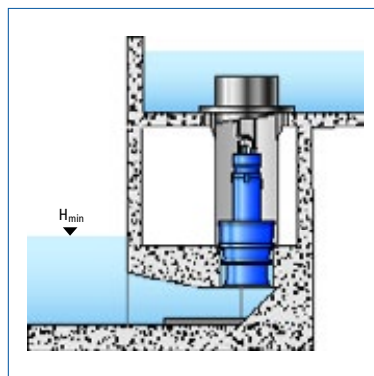


Fig. 3.1-b : Configuration BG

Le schéma ci-dessus présente l'installation de la pompe dans une chambre d'aspiration couverte. Cette fois-ci, le tube est en métal ou en résine SVR.

Pour cette variante, le tube doit être étanché par rapport au liquide pompé au niveau du plancher supérieur de l'ouvrage et supporté pour résister aux contraintes mécaniques. Le bord supérieur du tube doit donc être dimensionné en fonction des conditions d'écoulement au refoulement et des vitesses d'écoulement maximales à l'intérieur du tube.

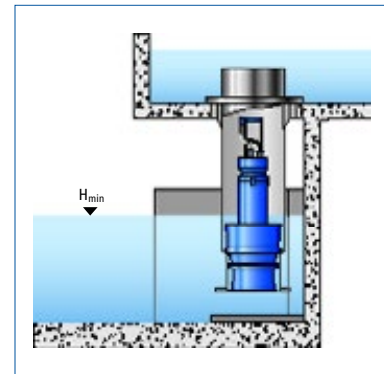


Fig. 3.1-c : Configuration BU

Bien entendu, ce type de tube convient également aux chambres d'aspiration ouvertes. Le choix du type de chambre dépend en dernier ressort du niveau d'eau minimum requis en fonction du débit de la pompe et du sens d'écoulement à l'aspiration (voir diagramme $t_1 = f(Q)$ dans le livret technique ou le programme de sélection).

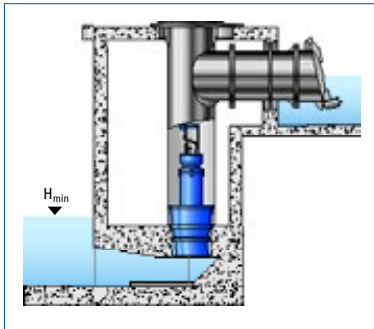


Fig 3.1-d : Configuration CG

L'installation en dessous du plan de pose est une autre variante possible. Dans ce cas, le refoulement est latéral en dessous du plancher supérieur de l'ouvrage. Un ouvrage de surface tel qu'on le connaît des stations de relevage conventionnelles, n'est pas nécessaire ce qui représente un gain de coût.

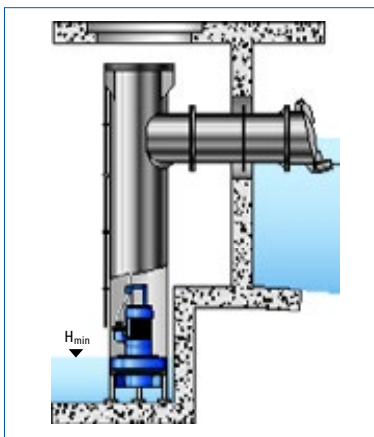


Fig. 3.1-e : Configuration CS

Si des véhicules doivent pouvoir circuler dans la zone de la station de relevage, le tube peut être supporté par des pieds prévus au fond de la chambre d'aspiration. Après la mise en place et le montage du tube, cette zone

est fermée avec un couvercle permettant le passage de véhicules. Les câbles électriques sont installés en sous-sol jusqu'à la source d'alimentation.

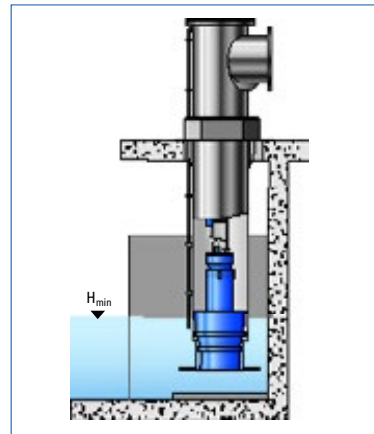


Fig. 3.1-f : Configuration DU

Cette variante convient lorsque les conditions d'installation exigent le raccordement de la bride en surface. Une plaque s'appuyant sur l'ouvrage reprend les forces du tube. Pour le dimensionnement mécanique de ce support, il faut prendre en compte les forces maximales survenant pendant le fonctionnement de la pompe (poids de pompe, forces et moments de tuyauterie, etc.).

3.2 Détails de conception du tube

La conception du tube est essentielle pour le fonctionnement correct de la pompe et de la station de relevage. Le centrage et le blocage de la pompe étant assurés par l'intermédiaire d'un plan incliné de 45° dans le tube et la compression d'une bague en caoutchouc prévue sur le corps de pompe (poids propre plus poussée axiale de la pompe en fonctionnement), cette zone demande une attention particulière lors de la fabrication. En cas de mauvaise concentricité et qualité de surface, il peut arriver que la pompe repose sur quelques points seulement. Dans ce cas, l'étanchéité insuffisante côté aspiration entraîne la formation d'un débit de fuite. La pompe n'atteint pas le débit demandé pour le système raccordé.

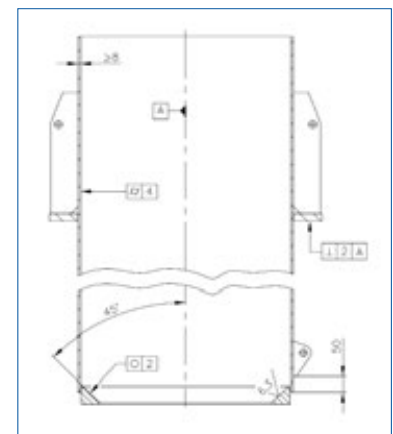


Fig. 3.2-a : Plan de pose de la pompe Amacan K dans le tube

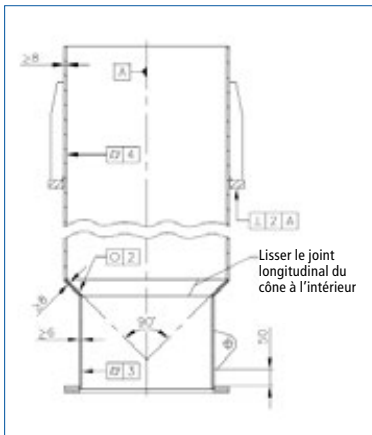


Fig. 3.2-b: Tube en tôle pour Amacan P / S

Pour les tubes en tôle mécano-soudée, les joints de soudure dans la zone du plan de pose incliné de 45° doivent être lissés. En plus, il convient de contrôler la concentricité du tube entier. Etant donné que des tôles minces ont tendance à se déformer sous l'influence du soudage, l'épaisseur de la tôle ne doit pas être inférieure à 8 mm.

En alternative, le plan d'appui peut être une pièce usinée soudée au tube. Pour une meilleure concentricité du tube, il est recommandé de réaliser les tubes très longs à partir de segments individuels assemblés par brides. Ces segments sont faciles à monter sur le chantier et les brides assurent une stabilité mécanique dans le sens radial.

Les tubes fermés par couvercle ont besoin d'un dégazage adéquat. En l'absence de celui-ci, un tampon d'air comprimé se forme en partie haute du tube qui, à l'instar d'un ressort, empêche un fonctionnement régulier de la pompe. Dans des cas extrêmes, des vibrations du tube tout entier peuvent en résulter. Pour prévenir ce risque, il faut installer une conduite de dégazage qui part de l'extrémité supérieure du tube pour déboucher dans la bêche de pompage. Alternativement, le couvercle du tube peut être doté d'un dispositif d'aération et de purge d'air. Si une conduite de dégazage doit être installée, l'espace supplémentaire doit être pris en compte lors du dimensionnement des ouvertures de montage nécessaires.



Fig. 3.2-c : Ventilation du tube par vanne d'aération et de purge d'air

Pour des longueurs de tube en tôle mécano-soudée supérieures à 4 m, il faut prévoir des

dispositifs de centrage ou de support du tube. Cet aspect est particulièrement important pour les tubes en acier inoxydable. En raison de l'épaisseur de paroi relativement faible de ceux-ci, la fréquence propre du tube peut vite atteindre le niveau de la fréquence d'excitation (en raison du principe de fonctionnement de la pompe centrifuge). La conséquence en est une résonance s'accompagnant de vibrations extrêmes.

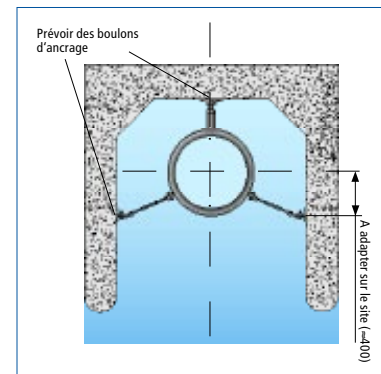


Fig. 3.2-d : Maintien en place du tube par l'intermédiaire de tendeurs

3.3 Câblage

Toutes les pompes Amacan sont équipées d'une entrée de câble absolument étanche. Ce brevet KSB protège la pompe contre la pénétration de liquide pompé dans le compartiment moteur ou la boîte à bornes au cas où l'isolation du câble aurait été endommagée pendant le montage ou l'exploitation de la pompe.

Les différents conducteurs sont dénudés et les embouts étamés. Par l'intermédiaire d'entretoises, ils sont fixés dans l'entrée de câble proprement dite et moulés en résine. Un presse-étoupe en caoutchouc assure une étanchéité supplémentaire par rapport à l'isolation extérieure du câble.

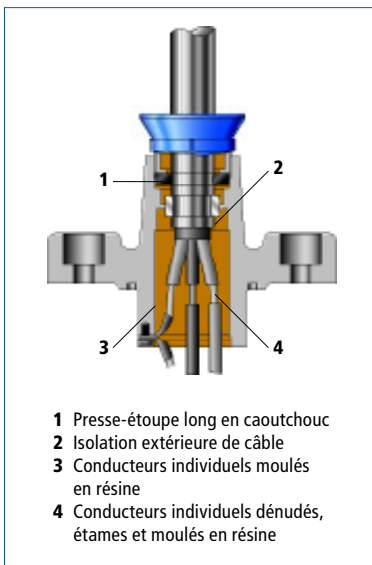


Fig. 3.3-a : Plan en coupe d'un passage de câble parfaitement étanche sur une pompe

Ce principe d'étanchéité est appliqué aux câbles de puissance et de commande.

Au moment de la mise en place de la pompe, le poids propre des câbles dans le tube doit être supporté. En même temps, les câbles doivent être protégés des turbulences d'écoulement. KSB a développé à cet effet un dispositif breveté de support de câble. Les câbles de puissance et de commande sont fixés par l'intermédiaire de profilés en caoutchouc sur un câble porteur. Celui-ci est vissé sur le couvercle du tube ou, dans le cas de tubes ouverts, fixé sur un portique. Cette solution permet d'assurer une grande longévité des câbles et de garantir l'étanchéité du passage de câble dans le compartiment moteur.

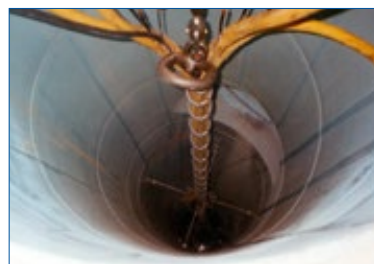


Fig. 3.3-b : Exemple d'un câble porteur avec support de câble pour une pompe installée à 50 m de profondeur

Le passage des câbles par le couvercle du tube peut être assuré par des chemises à souder ou latéralement à l'aide de profilés en caoutchouc vissés. Le choix

du passage de câble dépend essentiellement de la forme du tube et de la pression du système. Dans le cas d'un tube fermé par couvercle, les câbles doivent être soutenus par une fixation adéquate juste avant le passage par le couvercle pour éviter qu'ils ne soient soumis aux forces résultantes de leur poids et de l'écoulement dans le tube.



Fig. 3.3-c : Suspension de câble et passage de câble dans le tube

Dans le cas d'un tube ouvert, les câbles sortent verticalement du tube et sont fixés sur un portique.

Pour les pompes Amacan installées à grande profondeur, il convient de prévoir des éléments de support qui maintiennent le câble porteur en place. Ces supports doivent réduire l'effet des turbulences d'écoulement sur le câble porteur. Ils s'appuient radialement sur le tube.



Fig. 3.3-d : Eléments de support pour le maintien en place du faisceau de câbles dans le tube

La profondeur d'installation exacte de la pompe doit être spécifiée à la commande pour pouvoir déterminer avec précision la longueur des câbles électriques et du câble porteur ainsi que le nombre des éléments de support requis. Des écarts dimensionnels entre l'étude et la réalisation peuvent entraîner deux situations extrêmes : si le câble porteur est trop court, la pompe ne repose pas solidement sur le fond du tube et le couple de réaction de la pompe au démarrage peut endommager les câbles. Si le faisceau de câbles est trop long ou trop détendu, l'écoulement fait cogner les œillets du faisceau de câbles contre le tube. Des dommages au tube, au câble porteur et aux câbles électriques en sont la conséquence.

La hauteur de levage de l'équipement de levage mis en œuvre est un autre élément important pour déterminer le nombre

requis d'œillets de levage pour le câble porteur. Si ces composants ne sont pas commandés avec la pompe, des solutions de remplacement peuvent avoir des répercussions néfastes sur le fonctionnement de la pompe. Pour donner un exemple, les câbles de puissance et de commande sont souvent fixés sur le câble porteur au moyen de simples colliers de serrage. Ceci peut entraîner la destruction de l'isolation de câble et une rupture de conducteur à l'intérieur du câble pendant le fonctionnement de la pompe.



Fig. 3.3-e : Blocage de câble par de simples colliers de serrage

Le système des supports de câble et du câble porteur est important pour assurer un fonctionnement sans incident des pompes dans le cas de profondeurs d'installation supérieures à 5 m.

4. Bibliographie

- [1] Dr.-Ing. K. Holtzenberger, KSB AG, Détermination des pompes centrifuges, 5^e édition 2006, ISBN 3-00-004734-4
- [2] KSB AG, livret technique Amacan P, 1580.5/7-20
- [3] KSB AG, livret technique Amacan S, 1589.5/2-28
- [4] KSB AG, livret technique Amacan K, 1579.5/4-28
- [5] Hydraulic Institute, American National Standard for Pump Intake Design, ANSI / HI 9.8-1998
- [6] M.J. Prosser, The Hydraulic Design of Pump Sumps and Intakes, BHRA, juillet 1997
- [7] Henry T. Falvey, Air-Water Flow in Hydraulic Structures, Engineering and Research Center Denver, Colorado 80225, décembre 1980
- [8] Jost Knauss, Swirling Flow Problems at Intakes, IAHR+AIRH, ISBN 90 6191 643 7, Rotterdam 1987
- [9] Christian Frey, Peer Springer, Dr. Sven Baumgarten, Bernd Kothe, Optimization of Waste Water Pumping Station Architecture Using CFD Analysis, Validated by Model Testing, Pump Users International Forum 2004, Section 5 : Pumps for Waste Water, Karlsruhe, Allemagne
- [10] W. H. Hager, Abwasserhydraulik : Theorie und Praxis, Editions Springer, ISBN 3-540-55347-9, 1994
- [11] I.E. Idel'cik, Handbook of Hydraulic Resistance, 3^e édition, Research Institute for Gas Purification, Moscou 1994, ISBN 0-8493-9908-4
- [12] Norme CEN CR 13930: 2000 : Pompes rotodynamiques - Conception des ouvrages d'aspiration - Recommendations d'installation des pompes
- [13] Charles E. Sweeney, Rex A. Elder, Duncan Hay, Pump Sump Design Experience : Summary, mars 1982
- [14] US Army Corps of Engineers, Pumping Station Inflow – Discharge Hydraulics, Generalized Pump Sump Research Study, Technical Report HL-88-2
- [15] Robert Sanks, Pumping Station Design, 2^e édition, Butterworth Heinemann, Boston - Oxford - Johannesburg - Melbourne - New Delhi - Singapore
- [16] P. Tillack, D.-H. Hellmann, A. Rùth, Description of surface vortices with regard to common design criteria of intake chambers, 2nd International Conference on Pumps and Fans, Beijing, Chine 1995

Crédit photographique

- Page 15 Fig. 2.1-a : Université technique de Kaiserslautern, Institut de mécanique des fluides
- Page 23 Fig. 2.2.4-i : Hydrotec Consultants Ltd., Leeds, UK
- Page 37 Fig. 2.5-e et 2.5-f : Université technique de Kaiserslautern, Institut de mécanique des fluides

Auteur

L'ingénieur diplômé Bernd Kothe, né en 1955, a fait ses études à l'Université technique «Otto von Guericke» à Magdeburg (Allemagne) avant d'entrer dans les «Pumpenwerke Halle (Saale)» où il se consacre au développement de pompes pour centrales énergétiques.

De 1993 à 1998, il est en charge d'études anti-bélier et de calculs hydrauliques complexes pour le marché des Eaux usées dans le bureau d'études de KSB AG.

Depuis 2002, il est Manager Sales Support dans le Centre de compétences Eaux usées à Halle (Saale).

Demande par fax

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

Société :

Adresse :

A l'attention de :

Rue :

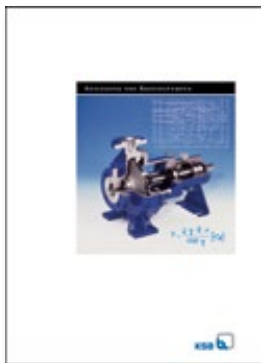
Code postal / Ville :

Tél. :

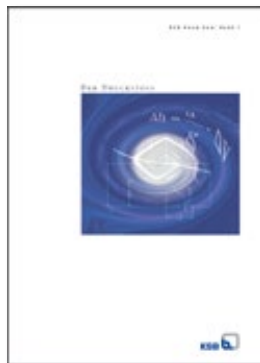
Fax :

e-mail :

Choisissez votre brochure «Savoir-faire» KSB



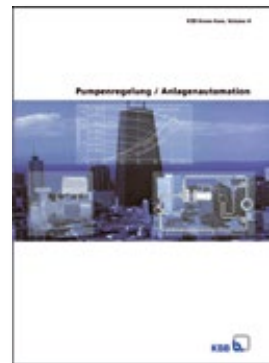
Détermination
des pompes centrifuges



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 Barbanners
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

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



KSB S.A.S.
4 allée des Barbanniers
92635 Gennevilliers Cedex (France)
www.ksb.fr