

CHAPITRE 5

CLASSIFICATION ET ENTRETIEN DES STATIONS DE POMPAGE

5.1 Considérations générales

5.1.1 Préambule

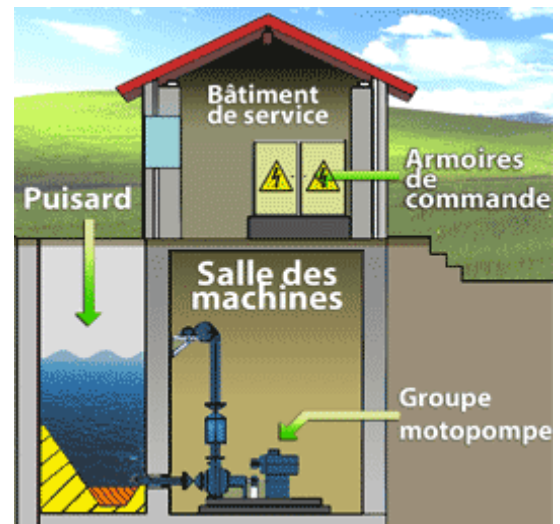
En hydraulique urbaine, il existe une très grande variété de stations de pompage liée :

- à la nature de l'eau à pomper (eau traitée (potable), eau brute, eau usée, eau pluviale) ;
- au type de service demandé ;
- aux conditions locales des sites et conditions d'exploitation (taille de l'ouvrage, topologie du terrain, conditions climatiques, accès, implantation en site urbain, risques d'inondation, etc.).

Il est donc irréaliste d'essayer de donner une vue exhaustive du problème. L'expérience montre que chaque cas possède ses spécificités. Cependant, il est possible de définir une méthodologie et des éléments de conception applicables dans la majorité des cas, ainsi que des règles de l'art et les bonnes pratiques d'ingénierie qu'il convient de suivre.

En se référant à la terminologie ordinaire utilisée en hydraulique urbain (eau traitée (ou eau potable) et eau brute pour les systèmes d'alimentation en eau, eaux usées et eaux pluviales pour les systèmes d'assainissement, nous développons dans le présent chapitre, cette méthodologie et ces éléments de conception pour les stations de pompage d'eau potable, puis les particularités propres aux stations de pompage d'eau brute et aux stations de pompage d'eaux usées et d'eaux pluviales.

Enfin, à signaler que les aspects relatifs au génie civil des ouvrages ne sont pas développés dans ce chapitre.



5.1.2 Stations de pompage-Données économiques générales

Coûts des divers postes de dépenses de construction

Lors de la conception d'une station de pompage, il peut être utile de se référer aux données de la figure 5.1, qui donne des ordres de grandeur pour divers postes de dépenses de construction entrant dans la construction d'une station de pompage.

La figure 5.1, plutôt valable pour les grosses stations de pompage d'eau potable (puissance supérieure à 1000kW) met en particulier en évidence que le coût des pompes et moteurs (parties essentielles d'une station de pompage) ne représente, en ordre de grandeur, qu'environ 15

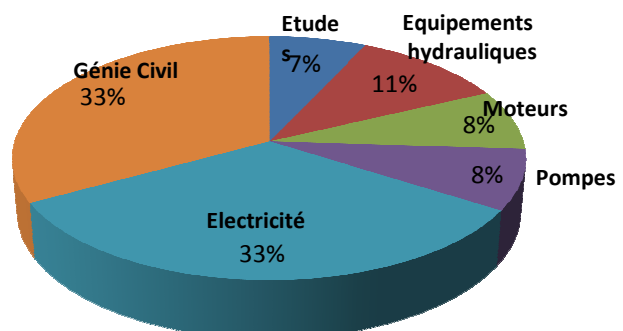


Fig. 5.1 Répartition des divers postes de dépenses de construction

% du coût total de la station alors qu'elles concourent de façon importante à la fiabilité et au coût d'exploitation de l'installation.

Facteurs intervenant dans la conception

Le tableau 5.1 montre que la conception d'une station de pompage fait intervenir de multiples éléments dans de nombreux domaines.

Tableau 5.1 Stations de pompage. Eléments de conception

Domaines	Eléments de conception
Nature, Qualité et Prétraitement de l'eau	- nature et utilisation de l'eau - prétraitement éventuel de l'eau avant pompage : dégrillage, dessablage, débouillage, etc.
Hydraulique	- conditions d'aspiration (dimensionnement et niveaux des bassins d'aspiration) ; - réseau aspiration/refoulement ; - débit et hauteur de refoulement minimum et maximum ; - Plage de fonctionnement ; - coup de bélier. Protection et contrôle ;
Mécanique	- types de pompes. Types d'installation (axe horizontal ou vertical) ; - choix des types de vannes, clapets, etc. ; - schéma d'installation et d'implantation des tuyauteries et équipements - choix des matériaux, etc.
Electricité	- puissance nécessaire et puissance instantanée appelée ; - équipement d'alimentation en secours.
Génie civil et Bâtiment	- implantation, accès, facilité de construction ; - architecture extérieure du bâtiment, superstructures ; - pompage en fosse sèche ou humide, groupes immergés ; - locaux annexes, atelier de maintenance, stockage.
Environnement	- impact sur les zones adjacentes, cours d'eau et écologie ; - esthétique, odeur, bruit, etc.
Exploitation et Maintenance	- sûreté d'exploitation ; - besoins en personnel d'exploitation, degré d'automatisation ; - contrôle locale ou à distance.

Toute cette liste met bien en évidence que la conception d'une station de pompage d'eau fait appel à des compétences très variées.

Le processus de conception d'une station de pompage doit conduire à l'établissement des documents suivant :

- études hydrauliques d'ensemble et architecture hydraulique ;
- études d'ensemble de la station (installation des matériels, bâtiment et génie civil) et dessins de détail ;
- spécifications techniques des divers matériels, y compris le suivi de la fabrication, la vérification des performances et la réception des équipements ;
- manuels d'opération et de maintenance.

Une partie de ces études, dessins de détail et documents doit être fournie par les constructeurs, fournisseurs et entrepreneurs selon les spécialisations de leurs contrats.

5.2 Pompage eau traitée (potable)

5.2.1 Détermination des caractéristiques hydrauliques et de fonctionnement des pompes

Pour une nouvelle station de pompage ou pour le renforcement d'une station existante, l'objectif premier est de définir les caractéristiques hydrauliques et de fonctionnement des groupes de pompage.

Il convient pour cela de déterminer :

- les débits à assurer par la station ;
- les hauteurs totales de refoulement (de charge) correspondantes ;
- le nombre de pompes et les conditions de régulation des pompes de la station ;
- les vitesses de rotation des groupes « électropompes » ;
- et, enfin, les types de pompes envisageables.

5.2.1.1 Débits

Les débits à assurer par une station de pompage résultent de données pouvant être :

- des volumes :
 - volumes journaliers (ou autres) à transférer,
 - volumes disponibles de la ressource ou besoins à assurer par la ressource ;
- des débits instantanés minimum et maximum ;
- des pressions minimales ou maximales à maintenir.

Ces débits doivent par ailleurs prendre en compte :

- la régulation et la stratégie de pompage : durée et périodes de pompage (en fonction de l'heure de la journée, du jour, de la saison, du coût variable de l'énergie, etc.) ;
- la nécessité de renouveler l'eau des réservoirs d'eau potable ;
- les évolutions de ces données à moyen et long terme.

A partir de ces données, il est possible de se fixer une (ou des) courbe (s) – type de débit à refouler en fonction du temps, à partir de la station de pompage en projet, de façon à satisfaire l'objectif de transfert de volume fixé.

A ce niveau, on peut généralement réaliser une première détermination du nombre et les débits prévisibles des groupes nécessaires.

5.2.1.2 Hauteurs totales de refoulement

Pour une station de pompage refoulant à partir d'un réservoir vers un autre réservoir et sans prélèvement d'eau en cours de route, les hauteurs totales de refoulement (H) des pompes doivent être déterminées pour différentes hypothèses de fonctionnement en prenant en compte :

- les hauteurs géométriques (positive ou négative) constituées par la différence du niveau de l'eau dans le réservoir aval (à la station de pompage) et le niveau de l'eau dans le réservoir amont (à la station de pompage) (H_g min, H_g max et H_g nominale) ;
- les pertes de charge dans les canalisations et les équipements sur l'aspiration et sur le refoulement de la station (y compris les pertes de charge dans la station de pompage) pour les débits retenus pour les diverses hypothèses de fonctionnement, l'ensemble définissant la caractéristique $H=f(Q)$.

Dans tous les cas, les points de fonctionnement caractéristiques (H,Q) de la station de pompage, nécessaires pour assurer un fonctionnement satisfaisant du système (adduction ou réseau de distribution) alimenté par la station doivent être déterminés.

Selon les cas, les calculs précédents prennent en compte :

- les niveaux ou charges extrêmes en amont de la station de pompage ;
- les niveaux extrêmes dans les réservoirs aval ;
- les consommations extrêmes dans le système de distribution de telle sorte que les conditions extrêmes de fonctionnement possibles des groupes puissent être déterminées.

La figure 5.2, établie pour le refoulement simple d'une pompe alimentant un réservoir par une canalisation simple, permet de déterminer graphiquement les valeurs nominales (Hn,Qn) de fonctionnement de la pompe, ainsi que les valeurs extrêmes des hauteurs totales (Hmin, Hmax) et des débits (Qmin, Qmax).

5.2.1.3 Conditions de régulation des groupes

Nombre de pompes

Pour assurer le débit maximum Qmax requis, les cas les plus fréquemment rencontrés sont :

- un ensemble de pompes identiques :
 - 1 pompe (débit unitaire 100% Q max) ;
 - 2 pompes (débit unitaire 50% Q max) ;
 - 3 pompes (débit unitaire 33% Q max) ;
 - 4 pompes (débit unitaire 25% Q max).
- Deux ensembles de pompes avec des caractéristiques (H, Q) différentes.

Le choix du nombre de pompes prend en compte la nécessité d'assurer les débits requis dans le temps, en minimisant les dépenses d'énergie.

Modes de régulation

Il existe deux grands types de régulation du pompage :

- la régulation à réglage discontinu (avec réservoir disposé sur le refoulement) pour laquelle la différence (positive ou négative) entre le débit pompé et le débit consommé est fournie par un réservoir à surface libre ou sous pression ;
- la régulation à réglage continu sans réservoir au refoulement, pour laquelle le débit pompé est à chaque instant égal au débit consommé sur le réseau.

Les différentes techniques de régulation des stations de pompage sont développées en détail au chapitre « Contrôle-Commande ».

5.2.1.4 Détermination du NPSH disponible

Le débit et la hauteur de refoulement des pompes ayant été préalablement définis, il convient de déterminer le NPSH disponible à l'aspiration des pompes. Le chapitre 2 fournit la définition :

- du NPSH disponible (NPSHd) qui dépend des conditions de l'installation ;
- du NPSH requis (NPSHr) qui dépend de la pompe et qui est une donnée du constructeur.

Le NPSH disponible à l'entrée de la pompe est calculé par la formule suivante :

$$NPSHd = \left(\frac{P_{at}}{\gamma} - h_v \right) + (h_a - J_a)$$

où Pat/γ : valeur de la pression atmosphérique sur le site exprimée en mce ; h_v : valeur de la tension de vapeur (mce) ; h_a : hauteur géométrique d'aspiration (valeur algébrique) [m] ; J_a : perte de charge dans la conduite d'aspiration [mce].

Dans la pratique, pour une pompe en aspiration, le NPSHd se limite à des valeurs de 5 à 6 m.

5.2.1.5 Choix du type de pompe

Une fois les valeurs nominales hauteur totales, débit et NPSH disponible pour les pompes déterminées, il est possible de chercher dans les catalogues des constructions les pompes les mieux adaptées aux besoins.

Le type de pompes (monocellulaires, verticales, groupe immergé, multicellulaire, double aspiration, etc.) peut être choisi en fonction de type d'installation et de l'alimentation en eau de la pompe.

Pour déterminer la vitesse de rotation des pompes, on peut utiliser une formule suivante qui donne une première approximation avec les valeurs nominales du débit (en m^3/s) et NPSHd (en mce) :

$$N_{tr/min} = \frac{160(NPSH)_d^{0.75}}{\sqrt{Q}}$$

5.2.2 Alimentation des pompes à partir d'un bassin ou réservoir

L'alimentation des pompes d'une station de pompage à partir d'un bassin, constitue un cas très courant.

La conception de l'alimentation en eau du bassin et des pompes doit répondre strictement à des règles sous peine de provoquer une mauvaise alimentation de la pompe et d'entraîner une usure prématurée de la pompe et/ou modifier ses performances hydrauliques :

- ✓ vortex de surface assurant un entraînement d'air dans l'aspiration de la pompe ;
- ✓ vortex de paroi ou de radier pouvant produire de la cavitation de l'eau à l'aspiration de la pompe.

L'alimentation en eau des pompes peut s'effectuer à partir :

- ✓ d'une conduite verticale d'aspiration dans un bassin ou la pompe noyée dans le bassin ;
- ✓ d'un collecteur partant avec un axe horizontal en paroi d'un bassin (installation des pompes en fosse sèche.

5.2.2.1 Installation des pompes avec aspiration dans un bassin d'aspiration

Ce cas se présente lorsque la station de pompage comporte une conduite verticale d'aspiration (Fig. 5.3) ou bien une pompe noyée (immergée) (Fig. 5.2).

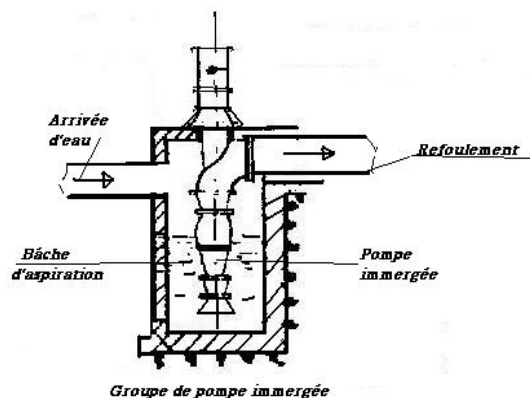


Fig. 5.2 Pompe immergée

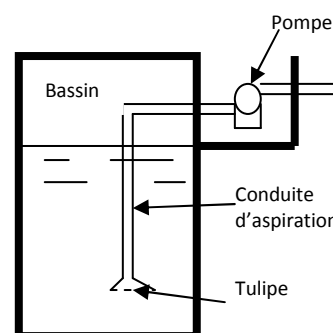


Fig. 5.3 Conduite verticale d'aspiration

La chute d'eau dans le bassin à proximité du départ d'alimentation de pompes est à prescrire car il existe un risque d'entraînement d'air vers la pompe.

Les aspirations verticales doivent comporter une tulipe d'aspiration (Fig. 5.4), spécialement pour les gros diamètres (à partir de 200mm ou en cas de pompe noyée). La nécessité de la tulipe dépend essentiellement de la vitesse d'entrée de l'eau dans la conduite d'aspiration. Pour les valeurs ne dépassant pas 0.8 m/s, il est possible de ne pas prévoir de tulipe. Cependant son utilisation permet de diminuer les pertes de charge.

A l'entrée de la roue, le rôle de la tulipe d'aspiration est de faire accélérer l'eau entre le diamètre D d'entrée de la tulipe et le diamètre D_0 d'entrée de la roue. Selon les constructeurs, le rapport D/D_0 peut varier entre 1.8 et 1.4. Le dessin de cette tulipe permet de régulariser l'écoulement et d'alimenter correctement la roue.

La position de la tulipe d'aspiration dans le bassin doit répondre à des règles suivantes :

- ✓ la submersion minimale, hauteur d'eau au-dessus du plan horizontal d'entrée de la tulipe doit :
 - d'une part, être toujours supérieure à $1.5 D$ (avec un minimum de 0.50m) pour éviter la formation de vortex de surface et l'entrée d'air ;
 - d'autre part, permettre d'assurer à l'entrée de la première roue un NPSH disponible supérieur au NPSH requis ;
- ✓ la distance entre le plan horizontal d'entrée de la tulipe et le fond du bassin est généralement de l'ordre de 0.25 à $0.50 D$ et doit être fixée en liaison avec le constructeur.

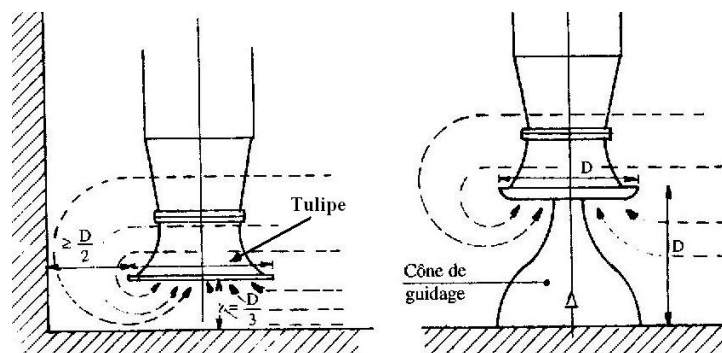


Fig. 5.4 Tulipe d'aspiration

5.2.2.2 Installation des pompes en fosse sèche

Ce cas se présente lorsque la station comporte des alimentations de pompes à partir d'un collecteur partant avec axe horizontal en paroi d'un bassin ou réservoir.

La hauteur d'eau minimale au-dessus de la génératrice supérieure du collecteur doit être aussi réduite que possible afin de réduire le volume d'eau indisponible pour le pompage, tout en rendant impossible le développement de vortex de surface provoquant des entrées d'air dans la canalisation d'alimentation des pompes.

Cette submersion minimale dépend :

- ✓ du diamètre de la canalisation et du débit de la sortie ;
- ✓ de la forme de l'entrée dans la conduite (forme avec tulipe ou avec congé).

Selon la gamme de débit et de hauteur pour ce type de station, trois types de pompes à axe vertical ou horizontal peuvent être envisagés :

- monocellulaire jusqu'à une hauteur de charge d'environ 80 mce ;
- multicellulaire pour les hauteurs totales de charge supérieures à 80 mce ;

- double entrée et plan de joint, pour les débits élevés et pour des hauteurs de charge de 40 à 150 mce.

Le montage des pompes à axe vertical (**Fig. 5.5**) présente l'avantage de réduire l'encombrement au détriment de la faculté de maintenance, avec un risque plus important de vibration.

Le montage à axe horizontal (**Fig. 5.6**) est plus encombrant, mais les paliers sont hors d'eau et les vibrations sont réduites. Ce montage présente donc le maximum possible de fiabilité et de facilité de conduite et de maintenance.



Fig. 5.5 Pompes à axe vertical installées en fosse sèche



Fig. 5.6 Pompes à axe horizontal installées en fosse sèche

5.2.2.3 Equipement amont et aval d'une pompe en fosse sèche

Dans une station de pompage, les pompes en fosse sèche peuvent être alimentées par une canalisation individuelle ou collectivement à partir d'une canalisation commune alimentant les différentes pompes. Sur la **figure 5.7** est présenté le schéma d'une station de surpression où les pompes sont alimentées à partir d'une conduite commune.

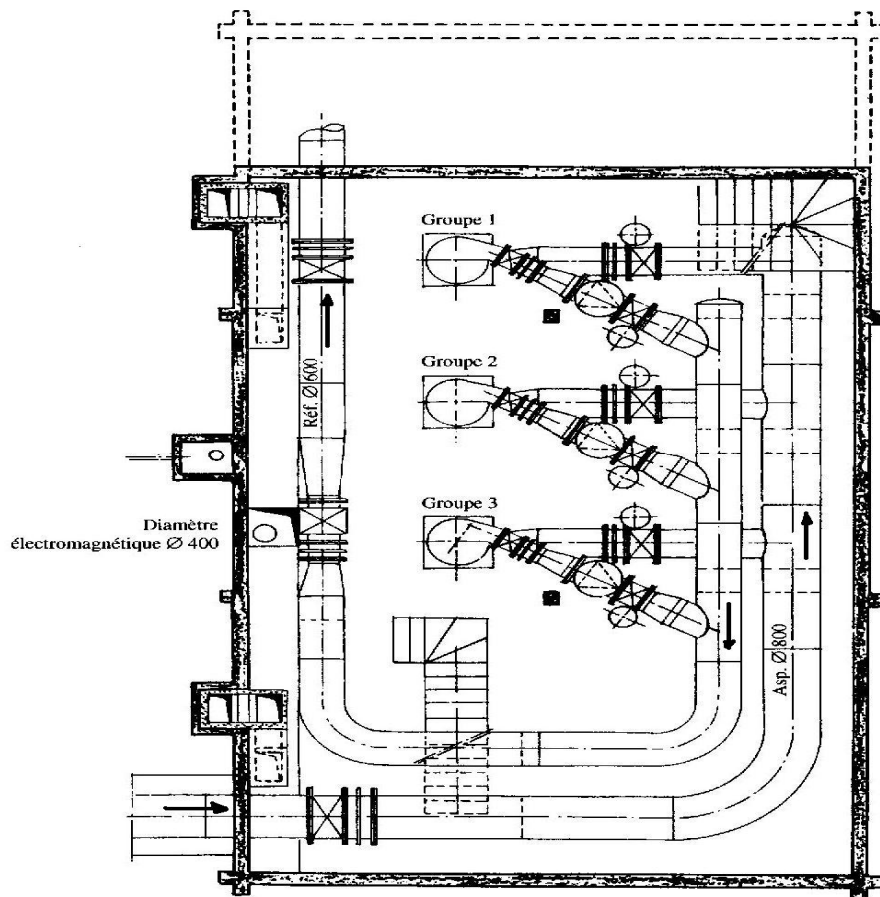
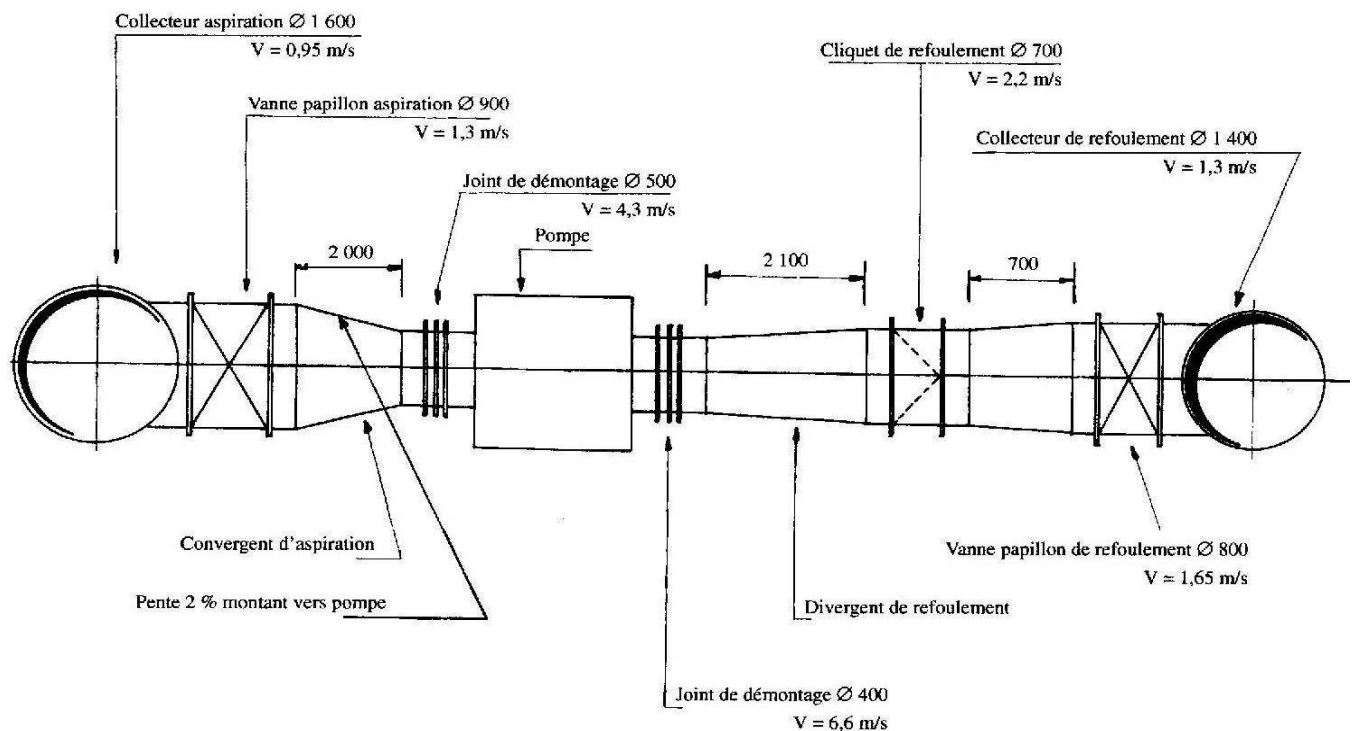


Fig. 5.7

Sur l'aspiration et le refoulement à l'entrée et à la sortie de la pompe, on trouve les équipements suivants (**Fig. 5.8**) :

- des joints de montage. Ils sont destinés à faciliter ou permettre le démontage de la pompe et des équipements hydrauliques de la station ;
- un convergent d'aspiration, qui est destiné à augmenter la vitesse de l'eau à l'entrée de la pompe ;
- un divergent, qui est destiné à diminuer la vitesse de l'eau à la sortie de la pompe (en sortie de pompe, la vitesse dépasse souvent 5 à 6 m/s) pour la ramener entre 1.5-3.0 m/s.
- un dispositif anti-retour sur le refoulement ;
- des vannes



5.3 Stations de pompage d'eau brute

5.3.1 Généralités

Les stations de pompage d'eau brute présentent des particularités en liaison avec :

- la nécessité d'assurer le captage de l'eau dans le milieu naturel (source, fleuve, torrent, lac ou retenue) au moyen d'un ouvrage de prise d'eau ;
- la qualité particulière de l'eau à pompée qui peut requérir des prétraitements avant pompage et/ou des précautions et choix particuliers en matière d'équipements (types de pompes, choix de matériau résistant à l'abrasion ou corrosion....).

5.3.2 Prise d'eau

Les principaux paramètres à prendre en compte au niveau de la conception de la prise d'eau sont :

- l'alimentation de la station de pompage en eau quel que soit le niveau dans la ressource (crue ou étiage) ;
- la limitation au maximum du pompage des matières solides, en suspension ou charriage ;
- la protection de la prise d'eau et les installations contre les risques dus aux crues ;
- la nécessité de ne pas créer de survitesses importantes au droit de la prise.

Lorsqu'il y a prise dans une retenue de grande profondeur (plus de 5 m), il est recommandé de prévoir plusieurs niveau de prise de l'eau pour pouvoir choisir le niveau de prise optimal au point de vue qualité d'eau brute.

L'ouvrage de prise alimente une bêche ou directement une canalisation d'aspiration des groupes de pompage d'eau brute :

Entre la prise d'eau et la station de pompage, on peut avoir trois types d'alimentation :

- en charge avec une tuyauterie ou une galerie ;
- en siphon avec tuyauterie au-dessus des plus hautes eaux et dispositif d'amorçage ;
- surface libre, en canal.

Le choix s'effectue en fonction de la taille des installations, des conditions de sol, de la topographie, de l'environnement, de la réglementation, des coûts... .

Les vitesses dans les conduites ou galeries doivent être supérieures à 0.8 à 1 m/s pour limiter les décantations.

5.3.3 Prétraitement de l'eau brute

Un prétraitement de l'eau brute avant pompage s'impose chaque fois que celle-ci contient des matières indésirables pour le bon fonctionnement des pompes d'eau brute et des équipements associés (vannes, clapets, canalisations) : matières flottantes, grosses quantités de matières en suspension ou en charriage.

Les principaux prétraitements physiques sont : dégrillage, tamisage et dessablage.

Ces prétraitements peuvent être mis en œuvre en amont des stations d'eau brute.

5.3.3.1 Dégrillage

Le but du dégrillage est de protéger le système de pompage des matières et objets pouvant obstruer les circuits et/ou détériorer les organes mobiles (filtres, pompes, vannes..).

On évite de prendre l'eau en surface pour ne pas capter les corps flottants, les nappes d'hydrocarbures, qui peuvent flotter à la surface de l'eau.

L'écartement entre les barreaux de la grille peut varier entre 10 et 50 mm.

Les grilles sont généralement inclinées et les vitesses d'approche doivent être faibles, entre 0.3 à 1 m/s, pour limiter la perte de charge dans la grille à une vitesse maximale de l'ordre de 0.2 mce.

Pour les installations importantes, il convient de prévoir un nettoyage automatique de la grille à l'aide d'un dégrilleur automatique.

Pour les petites installations, on peut réduire l'espacement des barreaux jusqu'à 5 mm et prévoir un dégrillage manuel si les quantités de corps flottants le permettent.

5.3.3.2 Tamisage

Le but du tamisage est d'arrêter les matières en suspension de petites dimensions (0.2 à 4 ou 5 mm) et les corps de forme allongée (feuilles en particulier) susceptibles de passer à travers un dégrillage. le tamisage se fait à l'aide de filtres tournants à toiles métalliques disposés en bandes (filtre à chaînes) pour grandes variations des niveaux d'eau, ou en tambour pour les faibles variations des niveaux d'eau.

5.3.3.3 Dessablage

Dans certains cas, avec des eaux brutes chargées en sédiments assez grossiers, il est possible de prévoir un canal à vitesse lente (de 0.2 à 0.3 m/s) pour éliminer les solides au-dessus d'une certaine granulométrie,

quelques dixièmes de mm pour les vitesses considérées. Il convient de prévoir les moyens mécaniques ou des purges gravitaires pour évacuer le sable décantés.

5.3.4 Choix et installation des pompes d'eau brute

Les pompes noyées sont souvent utilisées pour les pompages d'eau brute mais les pompes en fosse sèche (décrites en § 2) peuvent également être utilisées.

Trois types de pompes noyées sont principalement utilisés dans le pompage d'eau brute :

- les pompes verticales à refoulement concentrique ;
- les groupes immergés ;
- les groupes immergés pour puits profonds et forages.



Fig.5.9 Pompes submersibles en fosse noyée



Fig. 5.10 Station de pompage pour l'irrigation équipée de 9 groupes multicellulaires horizontaux, puissance unitaire 400 kW

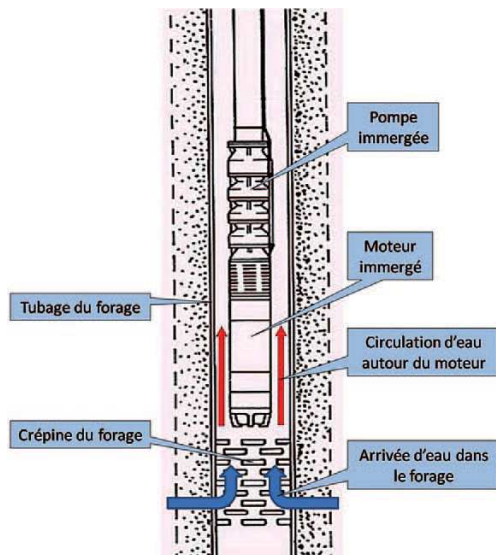


Fig. 5.11 Groupe immergé pour forage

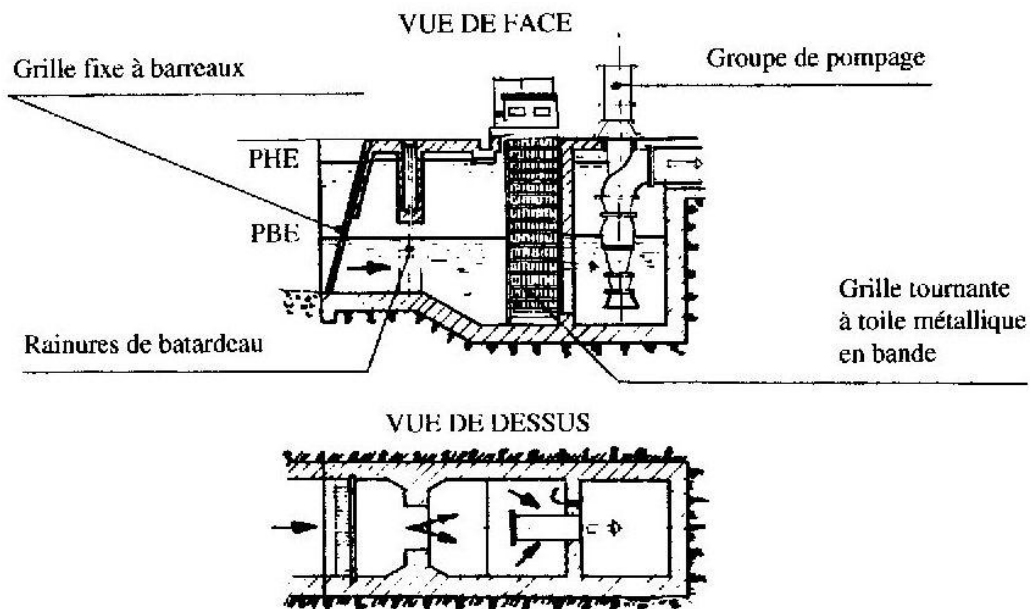


Fig. 5.12 Aspiration d'une station de pompage d'eau brute

5.4 Stations de pompage eaux usées et pluviales

5.4.1 Généralités

Les stations de pompage assainissement présentent les principales particularités suivantes :

- les stations sont très souvent implantées en milieu urbanisé ;
- le niveau d'aspiration des pompes se situe en général à quelques mètres au-dessous du niveau du sol ;
- les hauteurs de refoulement sont assez faibles ;
- les possibilités de stockage des eaux à pomper sont relativement réduites ;
- les eaux pompées contiennent des déchets de toutes natures, des matières flottantes, en suspension ou en charriage....).

Rôle des stations de pompage en assainissement :

En général, dans un réseau d'assainissement on essaie de faire véhiculer les eaux usées gravitairement, si éventuellement la topographie et la nature du terrain le permettent.

Parfois cette solution devient difficile à cause de certaines contraintes topographiques et géotechniques (exemples : terrains accidentés ou trop plats, terrains très rocheux, etc...).

Donc pour éviter de caler le réseau à des profondeurs excessives, on fait recours à des stations de pompage (refoulement ou relèvement, selon le cas).

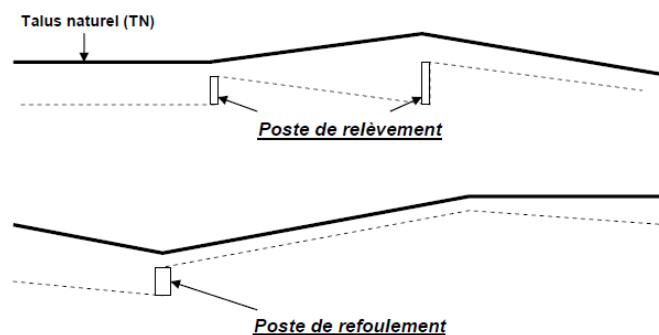
Donc, on distingue dans les stations de pompage assainissement :

- les stations de relèvement (ou relevage). qui ne comportent pas de canalisation de refoulement en sortie de station.
- les stations de refoulement qui comportent une canalisation de refoulement en sortie de station.

Différence entre un poste de refoulement et un poste de relèvement :

Un poste de refoulement est un poste qui consiste à relever l'eau et la refouler jusqu'à une certaine distance pour être déversée dans un ouvrage. La distance de refoulement peut être importante et peut atteindre quelques kilomètres.

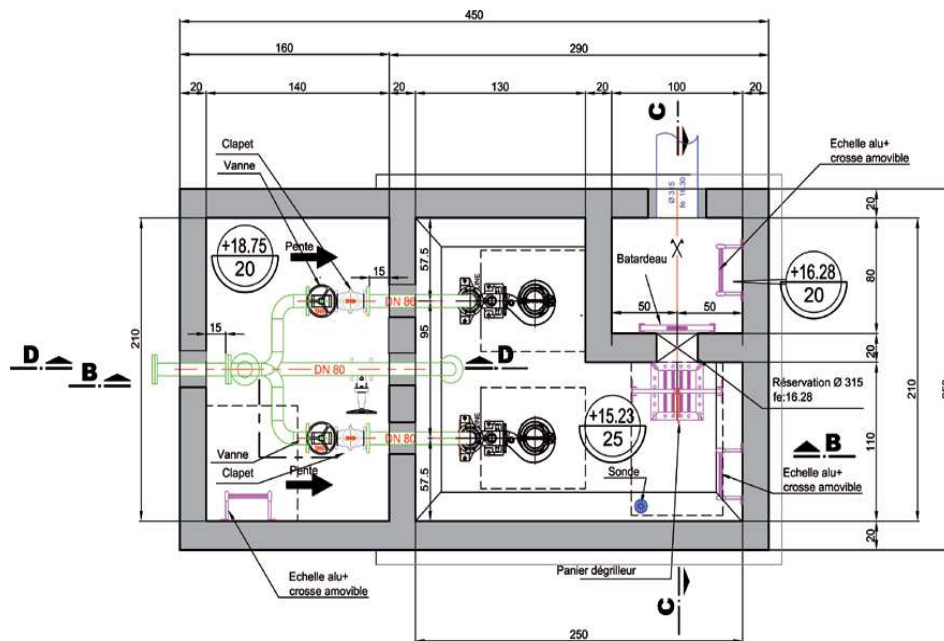
Tandis qu'un poste de relèvement (ou relevage) est un poste qui consiste à relever l'eau jusqu'à un certain point pour être déversée gravitairement après.



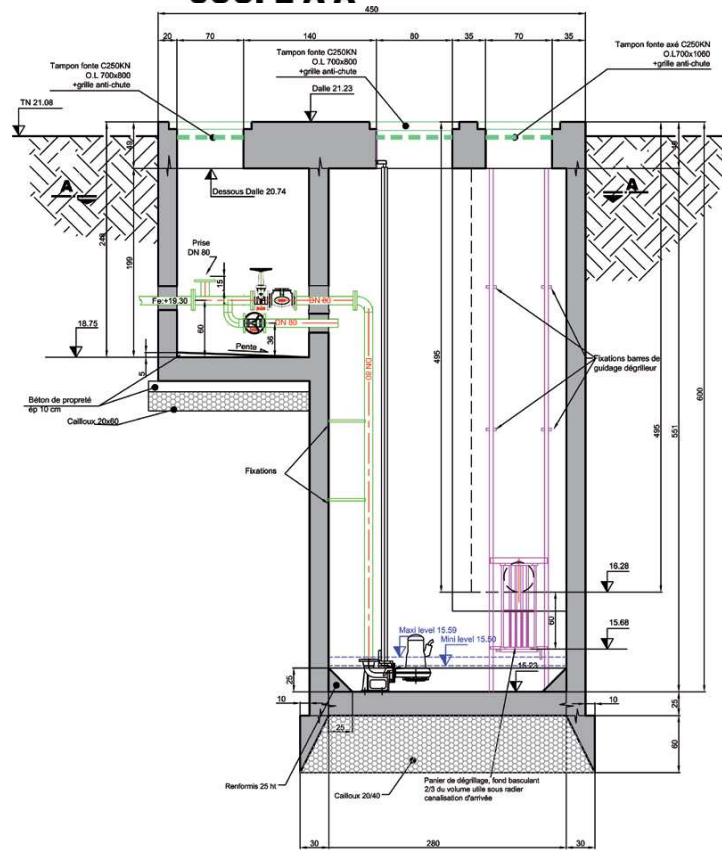
5.4.2 Groupes électropompes

Les groupes électropompes utilisés actuellement en assainissement sont pour l'essentiel de deux types :

- les groupes électropompes assainissement type submersibles, immergés dans la bêche d'aspiration
- les groupes électropompes disposés dans une fosse sèche accolée à la bêche d'aspiration. Ces types de groupes électropompes ne sont plus utilisés actuellement pour des nouveaux projets.



COUPE A-A



COUPE B-B

Exemple de plans d'installation de station de pompage des eaux usées.

5.4.3 Calcul du volume de la bache d'aspiration

On dispose en face de la canalisation d'amenée une cloison qui empêche la projection directe de l'eau sur les pompes et qui réduit la turbulence à l'intérieur de la bache de puisage (figure 1)

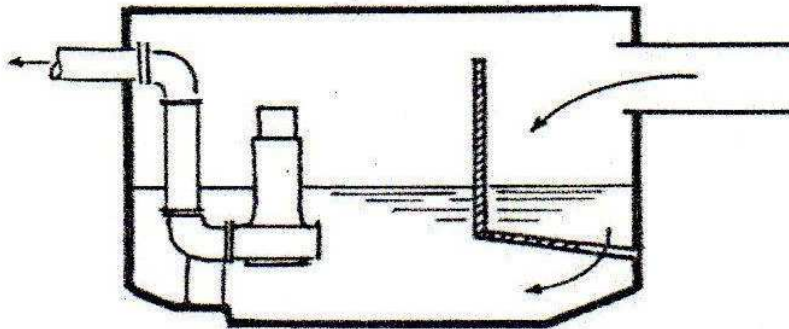


Figure 1
Puisard avec cloison

Le volume d'un puisard, ou plus précisément de la bache, dépend de la fréquence des démarrages que peuvent supporter les pompes.

Prenons l'exemple d'un puisard muni de deux pompes :

- la première pompe seule évacue un débit Q_1 , démarre quand le volume d'eau atteint une valeur V_1 et s'arrête quand le volume d'eau atteint V_0 ;
- la deuxième pompe démarre quand le volume d'eau atteint une valeur V_2 et s'arrête quand le volume d'eau atteint la valeur V_1 . L'ensemble des deux pompes évacue un débit $Q_1 + Q_2$.

La figure 2 montre le diagramme de fonctionnement des pompes.

Si le débit Q de l'effluent est inférieur à Q_1 , seule la pompe P_1 fonctionnera selon le diagramme de la figure 3

Le premier démarrage aura lieu à l'instant : $t_1 = \frac{V_1}{Q}$

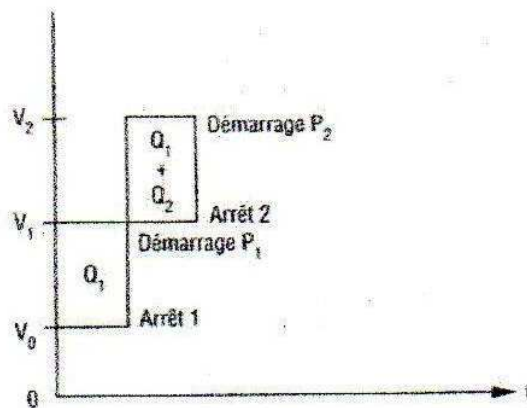


Figure 2
Diagramme de fonctionnement

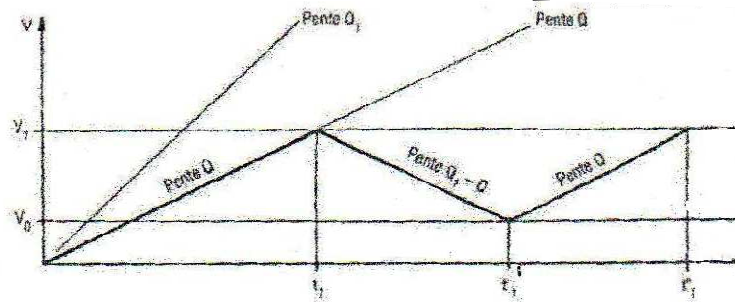


Figure 3
Schéma de fonctionnement pour $Q < Q_1$

L'arrêt aura lieu à l'instant :

$$t'_1 = t_1 + \frac{V_1 - V_0}{Q_1 - Q}$$

Le démarrage suivant aura lieu en :

$$t''_1 = t'_1 + \frac{V_1 - V_0}{Q}$$

Deux démarrages successifs seront donc séparés par un intervalle de temps :

$$\Delta t = t''_1 - t_1$$

Soit :

$$\Delta t = \frac{V_1 - V_0}{Q} + \frac{V_1 - V_0}{Q_1 - Q} = (V_1 - V_0) \left[\frac{1}{Q} + \frac{1}{Q_1 - Q} \right]$$

Quand le débit de l'effluent varie entre 0 et Q_1 , Δt passe par un minimum pour $Q = Q_1/2$ (figure 4).

La valeur du minimum vaut :

$$\Delta t_{\min} = \frac{4(V_1 - V_0)}{Q_1}$$

Si le débit de l'effluent est compris entre Q_1 et $Q_1 + Q_2$, on aura le fonctionnement indiqué figure 5.

La pompe P_1 fonctionne en continu à partir de l'instant $t_1 = \frac{V_1}{Q}$.

La pompe P_2 démarre à l'instant $t_2 = t_1 + \frac{V_2 - V_1}{Q - Q_1}$ s'arrête en

$$t'_2 = t_2 + \frac{V_2 - V_1}{Q_1 + Q_2 - Q}, \text{ redémarre en } t''_2 = t'_2 + \frac{V_2 - V_1}{Q - Q_1}.$$

On obtient dans ce cas :

$$\Delta t = (V_2 - V_1) \frac{1}{Q - Q_1} + \frac{1}{Q_1 + Q_2 - Q}$$

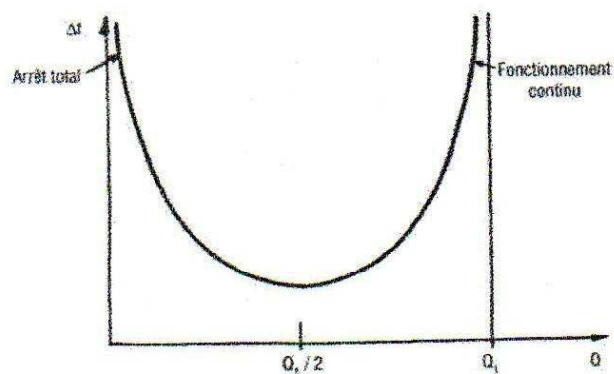


Figure 4

Variation de Δt en fonction de Q

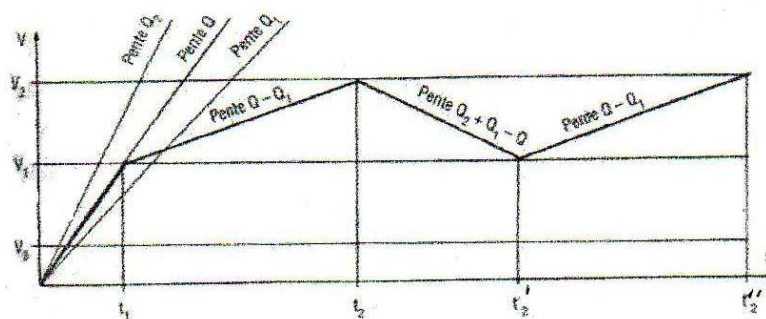


Figure 5

Schéma de fonctionnement pour $Q_1 < Q < Q_1 + Q_2$

Δt est minimum pour $Q = Q_1 + \frac{Q_2}{2}$; la valeur de ce minimum est :

$$\Delta t_{\min} = 4 \frac{(V_2 - V_1)}{Q_2}$$

Une fois effectué le choix des pompes, si n désigne le nombre maximum de démarrages par heure et Q_1, Q_2 , les débits en m^3/h , on obtient :

$$V_1 = V_0 + \frac{Q_1}{4n}$$

$$V_2 = V_1 + \frac{Q_2}{4n} = V_0 + \frac{Q_1 + Q_2}{4n}$$

V_0 étant le volume résiduel au fond de la bache du puisage.

Exemple d'application

En se référant à la démonstration ci-dessus, on peut déterminer le temps d'un cycle fonctionnel d'une pompe (figure 6) à partir de :

Q_A le débit d'apport

Q_p le débit de la pompe

V_u le volume utile de rétention

T_r le temps de remplissage, $T_r = \frac{V_u}{x Q_p}$

T_v le temps de vidange, $T_v = \frac{V_u}{Q_p(1-x)}$

T le temps d'un cycle fonctionnel, $T = T_r + T_v$

On pose :

$Q_A = x Q_p$ avec $0 < x < 1$

$$Q = S \cdot U = \frac{V}{t} \rightarrow t = \frac{V}{Q}$$

où S est la section de la bache

U est la vitesse

V est le volume de vidange

On rappelle (figure 7) que T est minimum pour $x = 0,5$ et donc :

$$Q_A = \frac{1}{2} Q_p, \quad T = 4 \frac{V_u}{Q_p}$$

$$V_{u_{\min}} = \frac{T Q_p}{4}, \quad T = \frac{1}{n}$$

avec n le nombre de démarrages par heure d'une pompe.

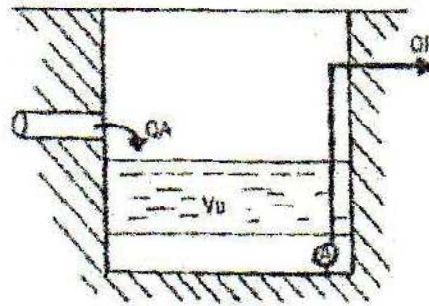


Figure 6

Schéma des apports, rétention et pompage

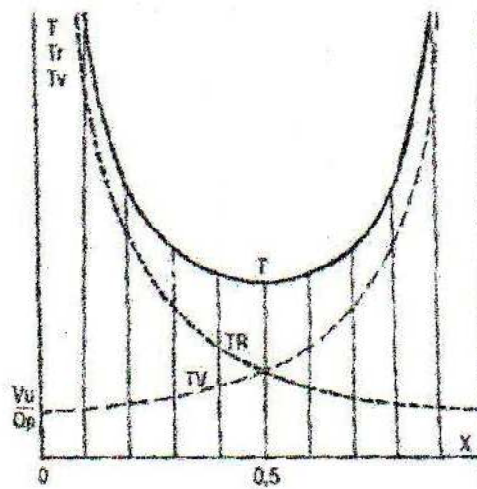


Figure 7

Variations de T, Tr, Tv en fonction de xQ_p

Pour plusieurs pompes en permutation avec des niveaux d'arrêts différents:

$$V_u = \frac{Q_p}{4 n \cdot p}$$

dans laquelle :

V_u est le volume de la tranche d'eau pompée,

Q_p est le débit pompé en m^3/h ,

n est le nombre de démarrages par heure,

p est le nombre de pompes.

5.5 Exemple de calcul de la station de pompage (eaux usées)

5.5.1 Caractéristiques du refoulement

Conduite de refoulement

Le linéaire de refoulement est d'environ 650 m. Le poste est implanté à l'emplacement du petit poste existant. Le diamètre de la conduite de refoulement a été calculé de façon à avoir une vitesse de circulation proche de 1 m/s lors du pompage.

Calcul du diamètre :

$$Q = U \times S = U \times \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} \rightarrow \varnothing = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot U}}$$

d'où $\varnothing = 0.15$ m soit DN = 150 mm.

5.5.2 Caractéristiques des pompes

Débit des pompes

Les pompes sont dimensionnées sur les débits de pointes. Le débit de pointe à l'amont du poste de relèvement est de 17.50 l/s.

Hauteur d'élévation

La hauteur d'élévation, aussi appelés Hauteur Manométrique Totale (HMT), correspond à la hauteur géométrique (différence entre le point bas et le point le plus haut) + les pertes de charges à l'aval de la pompe.

Hauteur géométrique :

□ côte point bas = côte arrivée réseau EU - 1.00 m (pour ne pas dénoyer les pompes) = 143.15 - 1.00 = **142.15 m NGF.**

□ côte point haut = côte TN point haut - 1 m (profondeur du réseau de refoulement) = 150.43 - 1.00 = **149.43 m NGF.**

Donc **Hauteur géométrique = 7.28 m.**

Pertes de charges :

Les pertes de charges sont la somme des pertes de charge linéaires et des pertes de charge singulières. Les pertes de charge linéaires ont été évaluées à partir de la formule universelle :

$$J_L = \lambda \frac{(L \cdot U^2)}{(2 \cdot g \cdot \varnothing)}$$

avec = 0.02 (calculé à partir de tables de pertes de charge ou calculable à partir de la formule de Colebrook) d'où les pertes de charge linéaires : **JL = 4.35 m**

Les pertes de charge singulières se calculent de la manière suivante :

$$J_{C_{Total}} = \sum J_{C_{unitaires}} \text{ avec } J_{C_{unitaires}} = K \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Les différentes singularités que l'on peut retrouver à l'aval des pompes avec leur valeur de K sont reportées dans le tableau ci-après :

Descriptif :	K :	Nombre :
pied d'assise	0,3	1
coude à 90 °	0,27	1
vanne opercule	0,12	1
connection T	0,5	1
clapet	2	1
sortie	1	1
Total :	K =	4,19
Pertes de charge singulières JC (m) =		0,21

La hauteur d'élévation vaut donc : **HMT = Hgéom + JL + JCTOTAL = 7.28 + 4.35 + 0.21 = 11.84 m.**

Puissance

La puissance de la pompe se calcule à partir de la relation suivante :

$$P = \frac{(\rho \cdot g \cdot Q \cdot HMT)}{\eta_g}$$

En eaux usées, les rendements hydrauliques varient généralement entre 0.4 et 0.6, nous retiendrons un rendement de 0.5. Le rendement électrique est d'environ 0.8.

La puissance de la pompe est d'environ : P = 5.10 kW.

5.5.3 Caractéristiques de la bâche

Volume utile de la bâche :

Le volume utile de marnage est le volume compris entre le niveau haut de démarrage de la pompe et le niveau bas d'arrêt. Il peut être calculé par la formule suivant :

$$V_u = \frac{Q}{4Nn}$$

n = nombre maxi de démarrages par heures - pour une puissance de 5.10 kW, on peut retenir 8 démarrages /h,

N = nombre de pompes identiques (ici 2 suffisent).

d'où **V = 3.94 m³** soit pour une bâche circulaire de 3 m de diamètre, une hauteur de marnage **de 0.56 m.**

5.6 Incidents possibles et différentes façons de dépannage

La liste suivante permet de localiser les mauvais –fonctionnements possibles ; elle inclut les causes possibles et les actions correctives. Etant donné les diverses applications des pompes centrifuges, il est difficile d'établir une liste générale de dépannage ; en fait cette liste existe pour chaque pompe et chaque type de service.

5.6.1 Absence de débit

- Pompe non amorcée : remplir la pompe de liquide.
- Quantité excessive d'air ou de vapeurs dans la ligne d'aspiration : vérifier le système d'aspiration (fuite d'air) corrigé.
- La pompe n'a pas sa vitesse nominale : vérifier l'alimentation électrique.
- Mauvais sens de rotation : refaire les connexions motrices.
- Impulser ou passage bouches : démonter et nettoyer.
- Défaut mécanique tels bague d'usure endommagée : démonter la pompe et corriger.
- Hauteur de refoulement trop importante : vérifier pression de système, particulièrement les pertes de frottement.
- Hauteur d'aspiration trop élevée : vérifier pertes de frottement ;
- Hauteur d'aspiration insuffisante pour les liquides chauds ou volatils : vérifier les impératifs de **NPSH**.

5.6.2 Débit insuffisant

- Pompe non amorcée : le corps et la ligne d'aspiration ne sont pas remplis de liquide ; compléter le niveau
- Vitesse trop faible : vérifier le bobinage du moteur et voir s'il reçoit le voltage total.
- Pression totale supérieure à la pression d'étude : vérifier la pression du système et en particulier les pertes par frottement.
- Hauteur d'aspiration trop élevée : la ligne d'aspiration peut être trop longue ou trop courte ; vérifier les conditions d'aspiration.

- Impulser ou passages partiellement bouchés : nettoyer.
- Mauvais sens de rotation ou impulser installé à l'envers : démonter et installé l'impulser correctement.
- Poche d'air dans la ligne d'aspiration : vérifier s'il ya des pénétrations d'air.
- Défauts mécaniques (bague d'usure ; usée, impulser endommagé): démonter et corriger
- Pas assez de pression d'aspiration pour les liquides chauds ou volatiles : vérifier car il s'agit d'une cause fréquente de problèmes
- Clapet de pied trop petit (le liquide dans la ligne d'aspiration n'est pas retenu) : remplacer le clapet.
- Clapet de pied ou ligne d'aspiration pas immergé assez profondément : vérifier conditions de niveau de liquide et corriger.

5.6.3 Pas assez de pression

- Vitesse trop faible : vérifier câblage du moteur et voltage ou pression de vapeur.
- Diamètre de l'impulser peut être trop petit : le changer.
- air ou gaz dans le liquide : vérifier s'il ya pénétration d'air et corriger.
- Défauts mécaniques de l'impulser :je trop grand ou dégâts : démonter et corriger .
- Mauvais sens de rotation ou impulser posé à l'envers : corriger.
- mauvais emplacement du manomètre : mettre manomètre sur tubulure ou ligne de refoulement.
- viscosité ou densité nom conforme à la spécification.

5.6.4 La pompe fonctionne pendant un temps puis s'arrête

- Ligne d'aspiration fuyarde : vérifier s'il y a pénétration d'air et corriger.
- Pas assez de pression d'aspiration pour les liquides chauds ou volatiles : vérifier car il s'agit d'une source fréquente d'ennuis.
- Accouplements cassés ou endommagés : inspecter et remplacer
- Impulseur bouché : corriger.
- Obstruction dans la ligne d'aspiration ou de refoulement : éliminer.
- Alimentation en eau insuffisante : s'assurer que la vanne d'aspiration est grande ouverte et vérifier le bon niveau de liquide.

5.6.5 La pompe absorbe trop de puissance

- vitesse trop élevée : vérifié que la fréquence d'alimentation est bonne
- Pression inférieure à la pression nominale, ce qui entraîne le pompage de trop de liquide : vérifier si un impulser plus petit peut suffire.
- Liquide plus lourd que prévu : vérifier viscosité et densité.
- Défauts mécanique : arbre tordu, élément rotatif gauchi, jeu trop grand sur l'impulser : corriger.
- Mauvais sens de rotation ou impulser monté à l'envers : corriger.

5.6.6 Vibrations ou bruits sur la pompe

- Boulons de montage ou d'accouplement desserrés
- Air ou gaz dans le liquide : purger et vérifier s'il y a pénétration d'air et resserrer.
- Mauvais alignement : corriger
- Corps étrangers dans l'impulser causant un déséquilibre : éliminer.
- Défauts mécanique : arbre tordu, palier usé, accouplement mal aligné, parties rotatives gauchies : démonter et corriger
- Pompe fonctionnant en –dessous de la capacité minimale recommandée : augmenter le débit
- Cavitation : vérifier si la pompe est amorcée, vérifier si la pompe est amorcée, vérifier s'il ya une température élevée à la hauteur statique vérifier s'il ya une obstruction de la ligne d'aspiration et vérifier NPSH disponible.

5.6.7 Boite press-étoupe surchauffe ou fuite excessives de presse –étoupe

- Débit de refroidissement insuffisant vers les boites press-étoupe : vérifier s'il y a obstruction dans la ligne de réfrigérant et éliminer.
- Garniture ne porte pas : press-étoupe non serré de manière égale : corriger.
- Garniture non lubrifiée : lubrifier.
- Garniture trop serrée : corriger.
- Mauvais type de garniture : changer.
- Pas assez de garniture : corriger.
- Joint mécanique endommagé : remplacer.

5.6.8 Paliers surchauffent ou s'usent rapidement

- Niveau d'huile incorrect : rajouter.
- Graissage inadéquat : changer.
- Huile contaminée : purger et nettoyer réservoir et changer d'huile.
- Pas assez d'eau de refroidissement : ouvrir complètement vannes d'eau de refroidissement.
- Paliers trop serrée ou pré chargés : démonter et corriger.
- Bagues d'huile ne fonctionnent pas : réparer ou remplacer.
- Vibration : déterminer la raison et corriger.