

6/98

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

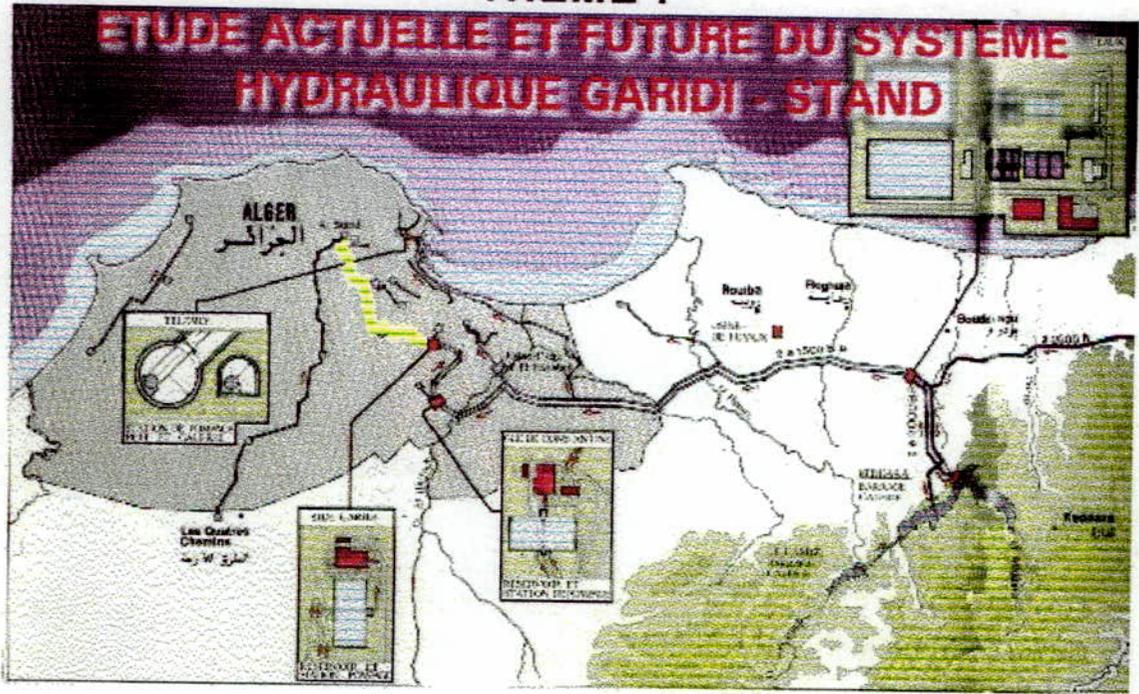
المكتبة - المكتبة
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

THEME :



Proposé et dirigé par :

Mr Djemaoun Djamel

Mr Berkani Miloud

Etudié par :

Mr Cherchem Rabah

Mr Grigahcine Khelil

Dédicaces de KHALIL

Je remercie tout d'abord mon Dieu pour m'avoir donné l'énergie, la puissance
Je remercie tout d'abord mon Dieu de m'avoir donné le courage de terminer
mes études.

Je dédie ce modeste travail :

A ma petite famille (NOUI, SABIHA, ma sœur SIHEM, mon frère REDHA et
BOMBINA).

Que Dieu les protèges, mes grands-parents, ma future épouse, futures enfants.
A ma grande famille sans exceptions, mes cousins, surtout ZAKI et Ammi
CHOUTRI.

Sans oublier bien sur, tous mes amis :

KAMEL (Bruno), KAIS, SAMIR (Grine), HABIB, OUAHEB, OUALID,
RAFIK (de cité Sonelgaz), le trio DAHMANE, NIZAR et RAMZI
(mouscoutchou), mon binome RABAH, KADA, RACHID et sa fiancée
SAMIRA, MAKHLOUF.

Mes amis de Polytech (FOUZIA, MERIEM, SARA,...), AKILA, RAFIKA,
SAMIRA (E.T.), ZOULIKHA, ASTRID (de Lyon), DOUNIA (qui m'a toujours
encouragée), tante FIFI, MALYA, RANIA, PISSOUS ; SELMA ; RAWDA ,
DJOUHER et leurs enfants.

A OULED HOUMTI, MALIK (le king), SAMIR (berberche), KAMEL
(Henniche), FATEH (H.T.T.), MOKRANE (Nirvana), ANAS, MOUNIR,
AZZEDDINE, EL HADI, TIDJANI, ainsi que tous mes autres amis que je n'est
pas cité.

A tout mes profs depuis le primaire surtout Mr. MAARICHE (1^{ère} année
primaire) et Mr. BELKHITERE (8^{ème} et 9^{ème} AF).

REMERCIEMENTS :



Nous tenons à remercier vivement :

Notre promoteur Mr. Djemaoun Djamel (Directeur Technique à l'E.P.E.A.L).

Notre co-promoteur Mr. Berkani Miloud (Chargé de cours à L'E.N.P).

Mr. Saïfi Farid (Responsable du S.P.I.K) pour ses précieux conseils.

Mr. Belbahri de l'A.G.E.P.

La firme Ebara (Japon) pour leurs documents.

Mr. ELKamal Chakib (Bill Gates) qui a sacrifié des repas et des rendez-vous pour nous aider « Merci Chakib ».

Mr. Gougache (Chef d'entretien des stations de pompage).

Mr. Labsari (Chef opérateur de la station de pompage Garidi).

Tout le personnel sympathique de l'E.P.E.A.L (Station de Garidi).

Mr. Tabeche Amar (Directeur Général de la Clinique de Cardiologie Abderrahmani).

Mr. Grigahcine Rédha (Surveillant Général de la Clinique de Cardiologie Abderrahmani).

Mlle. Foukroun Rania.

Mr. Madjrob Mekhlouf.

Notations :

SPIK	≡	Système de production
AEP	≡	Alimentation en eau potable
PDC_{lin}	≡	Perte de charge linéaire (m)
PDC_{sing}	≡	Perte de charge singulière (m)
PDC_{tot}	≡	Perte de charge totale (m)
Q	≡	Débit (l/s)
D, Ø	≡	Diamètre (mm)
ξ	≡	Coefficient de perte de charge
St	≡	Stand
CH9	≡	Château Neuf
DM	≡	Djenane Malik
H	≡	Charge (m)
DN	≡	Diamètre nominal (mm)
PN	≡	Pression nominale (m.)
H_G	≡	Hauteur géométrique (m)
Z	≡	Côte (m)
g	≡	Gravitation (m/s^2)
L	≡	Longueur (m)
HMT	≡	Hauteur monométrique totale (m)
asp	≡	Aspiration
ref	≡	Refoulement
$NPSH_r$	≡	NPSH requis
$NPSH_{disp}$	≡	NPSH disponible
P	≡	Pompe
C	≡	Conduite
M	≡	Vitesse de rotation (tr / min)
PF	≡	Point de fonctionnement
P_{cs}	≡	Pièces
SP	≡	Station de pompage
Rect	≡	Rectangulaire
Cir	≡	Circulaire
TP	≡	Trop plein

SOMMAIRE



1. INTRODUCTION.....	1
1ERE PARTIE: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	
2. SYSTÈME HYDRAULIQUE D'AEP	3
2.1 SOURCE	3
2.2 CAPTAGE	4
2.3 LE TRAITEMENT	4
2.4 TRANSFERT.....	5
2.4.1 Calcul des pertes de charge dans une conduite.....	5
2.4.2 Caractéristique d'une conduite.....	7
2.4.3 Couplage des conduites	10
2.5 LE STOCKAGE	17
2.5.1 Fonction et utilité des réservoirs :	17
2.5.2 Exigences techniques	17
2.5.3 Emplacement des réservoirs :	18
2.5.4 Equipement des réservoirs	18
2.5.5 Capacité des réservoirs.....	19
2.6 LA DISTRIBUTION.....	19
3. LES POMPES ET LES STATIONS DE POMPAGES	20
3.1 LES POMPES	20
3.1.2 Choix de la pompe :	21
3.1.3 Modifications susceptible d'être apportées à une pompe	31
3.2 LES STATIONS DE POMPAGE	31
3.2.1 Introduction.....	31
3.2.2 Equipement en amont et en aval des pompes.....	32
3.2.3 Choix du moteur :	32
3.2.4 Etude hydraulique.....	33
3.2.5 Réglage du fonctionnement des pompes sur un réseau.....	44
2EME PARTIE: APPLICATION	
4. DESCRIPTION DU SPIK ET PRÉSENTATION DE LA SP GARIDI.....	46
4.1 LE SYSTÈME SPIK (FIGURE 4F1)	46
4.1.1 Transfert de l'eau.....	48
4.1.2 Composantes du système SPIK	48
4.1.3 Réseau d'adduction.....	49
4.1.4 Stations de pompage	49
4.2 PRÉSENTATION DE LA SP GARIDI	50
4.2.1 Caractéristiques techniques.....	51
5. HYPOTHÈSE ET PROBLÉMATIQUE (COLLECTE DES DONNÉES).....	59
5.1 STATION DE POMPAGE	59
5.1.1 Etude de la partie aspiration.....	62
5.1.2 Détermination de la zone de cavitation.....	63
5.2 RÉSEAU D'ADDUCTION	65
5.2.1 Détermination des courbes caractéristiques.....	68
5.3 RÉSERVOIRS TERMINAUX.....	71
6. ETUDE ET DIAGNOSTIC.....	75
6.1 OBJECTIF	75
6.2 TABLEAUX ET GRAPHES DE CALCUL	75
6.2.1 Situation actuelle.....	75
6.2.2 Situation future.....	78
6.3 REMARQUES	82

7. DISCUSSION ET SOLUTIONS.....	84
7.1 DISCUSSION	84
7.2 ETAPE LOGIQUE DU CALCUL	84
7.2.1 <i>ce qu'on désire avoir</i>	84
7.2.2 <i>Calcul du cas actuel (Stand + Château-neuf)</i>	85
7.2.3 <i>Analyse grapho-analytique</i>	86
7.2.4 <i>Organigramme N° 1</i>	89
7.3 CAS FUTUR (STAND - CHÂTEAU-NEUF - DJENAN MALIK).....	92
7.3.1 <i>Historique de l'étude</i>	92
7.3.2 <i>Analyse grapho- analytique</i>	92
7.3.3 <i>Organigramme N° 2</i>	94
7.3.4 <i>Méthodologie de calcul</i>	98
8. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	102

1. Introduction

L'histoire de l'eau est en quelque sorte l'histoire de la vie même ; l'eau est la génératrice de la vie sur terre. C'est un constituant essentiel de tout être vivant, il se trouve en grande quantité sur terre, mais en même temps il est très rare. L'homme en a besoin non seulement à titre de boisson, mais aussi comme source d'énergie, moyen de transport et d'irrigation, etc.

La technologie moderne exige de plus en plus d'eau. Il faut sans cesse imaginer de nouveaux moyens d'accès à des ressources encore inutilisées, créer des méthodes pour recycler l'eau polluée.

Pesant son importance et son rôle primordial dans le développement des pays, l'Algérie a depuis l'indépendance essayé de maîtriser ce secteur. En développant ses structures hydrauliques, afin de minimiser les conséquences néfastes de la pénurie d'eau, mais malgré tous ces efforts, la maîtrise de l'eau n'est pas encore acquise.

Jusqu'en 1987 le grand Alger était alimenté uniquement par les eaux souterraines, provenant des champs captants (Mazafran, Chebli, Baraki, Hamiz, etc.).

En Avril 1987, on a commencé à exploiter les eaux superficielles en mettant en service le projet SPIK (Alimentation en eau potable Isser - Keddara - Boudouaou - Alger). Ce dernier a permis l'augmentation du volume d'eau à distribuer d'environ 150 Hm³/an.

De grands moyens ont été mis en œuvre dans le cadre du projet SPIK, mais malgré tous, beaucoup de problèmes restent posés concernant son exploitation.

Parmi ces problèmes, on peut citer celui du système de transfert à partir de la station de pompage Sidi Garidi, sujet de cette étude. (cette station réceptionne l'eau par pompage de la station de Gué de Constantine pour le renvoyer vers Birkhadem et Stand par refoulement et vers Kouba 107 et Kouba 117 par gravité.

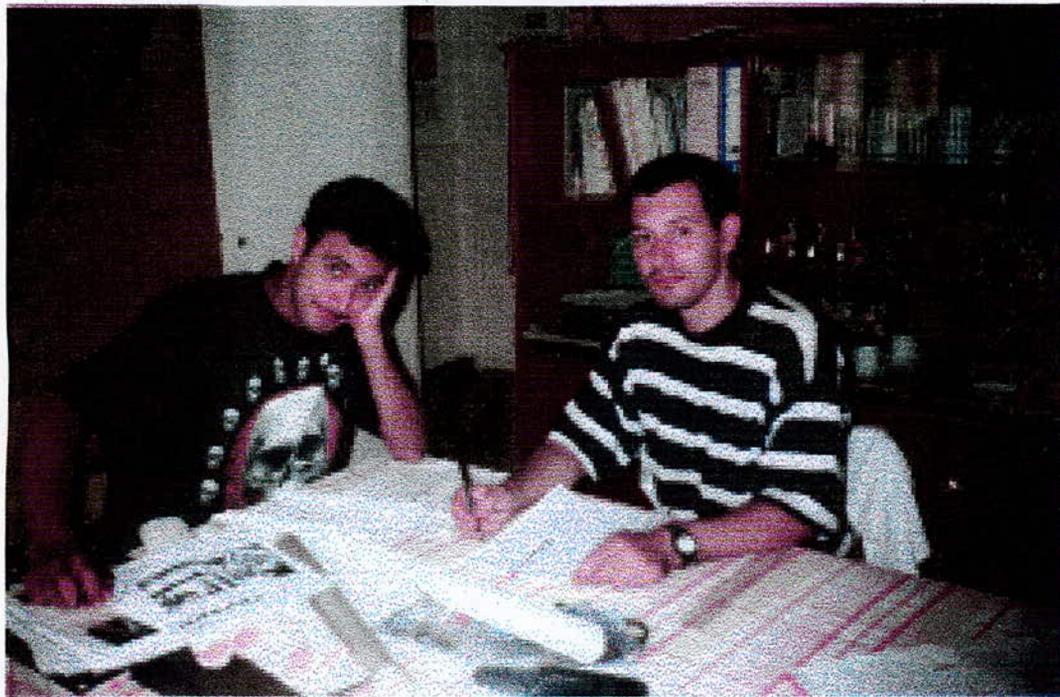
L'étage Garidi - Stand prévoit une extension pour développer cette partie en vue d'alimenter les trois étages en même temps : Stand ; Château-neuf, et Djenan Malik.

Les essais effectués dans cet étage pour l'alimentation simultanée de Stand et Château-neuf (la conduite vers Château-neuf existe, ce qui n'est pas le cas pour Djenan Malik) ont démontré qu'il y avait des problèmes, l'eau n'arrivant pas à Stand.

Dans notre présent projet, nous allons essayé de cerner ce problème, l'étudier hydrauliquement et présenter les variantes d'exploitation possibles pour que les trois réservoirs Stand, Château-neuf, et Djenan Malik soient alimentés simultanément.



1ere PARTIE : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE



2. Système hydraulique d'AEP

L'étude théorique d'un système hydraulique passe par l'étude de chaque partie composant ce système. L'étude du système dans sa totalité permet de ressortir les conditions du bon fonctionnement et d'éviter les anomalies et les problèmes qui peuvent subvenir au mauvais choix ou à la mauvaise exploitation des différentes parties formant ce système.

2.1 Source

La vie organisée en commun, qui seule a permis à l'homme de se développer de son état primitif à toujours été lié à l'eau, les premières civilisations sont nées dans les vallées des grands fleuves.

Cette eau utilisée par l'homme a pour origine première l'eau de pluies qui en atteignant le sol se subdivise en plusieurs fractions. Une partie retourne à l'atmosphère sous forme de vapeur par évaporation du sol ou transpiration des végétaux, une autre partie ruisselle à la surface du sol et contribue à l'alimentation des ruisseaux et rivières., le reste, la fraction la plus faible pénètre dans le sol par infiltration et contribue à l'alimentation des aquifères, des sources et dans certaines conditions des rivières.

Les eaux souterraines sont protégées par l'aquifère et donc moins soumise à la pollution superficielle.

Les eaux de surface comprennent les eaux des cours d'eau, lacs, étangs, ces eaux, en général, abondantes en hiver, diminuent considérablement pendant l'été. (Région tempérée). L'établissement de retenue ou de barrage réservoir peut permettre de corriger les variations de débits et de pouvoir ainsi effectuer durant toute l'année des prélèvements d'un volume unitaire supérieur au débit d'étiage, afin de satisfaire la demande en eau.

En absence des ressources précitées, on peut recourir à la méthode de dessalinisation de l'eau de mer qui est très onéreuse mais qui pour certaines

régions est la seule ressource existante, c'est à dire nécessaire et stratégique.
Donc nous pouvons puiser l'eau de plusieurs ressources :

- Les sources naturelles (faible débit).
- Les eaux souterraines (pas toujours existantes).
- Les eaux superficielles (barrages, retenues).
- Dessaler l'eau de mer (très coûteuse).

2.2 Captage

Les ouvrages hydrauliques permettant le captage d'eau (superficielle ou souterraine) s'appellent ouvrages de prise d'eau.

Il existe différents type d'ouvrage de prise d'eau, selon qu'il s'agit de source superficielle ou souterraine.

Autour de chaque point de captage, Il faut prévoir :

- Un périmètre de protection immédiat.
- Un périmètre de protection rapproché à l'intérieur, duquel toute activité et tout dépôt ou installation susceptible de nuire à la qualité des eaux est interdit.
- Eventuellement un périmètre de protection éloigné à l'intérieur duquel les activités ou dépôts peuvent être réglementés.

2.3 Le traitement

Entre la source d'eau et le consommateur, il est souvent nécessaire (selon la qualité de la source) de prévoir le traitement, en vu de rendre l'eau potable à la consommation.

Pour les eaux souterraines, cette étape n'est pas toujours indispensable puisque l'eau est protégée de la pollution extérieure, il est toutefois préférable de prévoir des stations de chloration lorsque celle-ci sont indispensables. L'eau captée des retenues passe en premier lieu par des grilles pour éliminer les matières solides de grandes tailles (tronc d'arbre etc.) ; puis elle est dirigée vers la station de traitement ou elle subit les étapes de traitement suivantes :

Préchloration, coagulation, clarification, filtration, désinfection, correction du pH et stockage dans un réservoir d'eau traitée.

2.4 Transfert

L'eau traitée doit être acheminée vers les réservoirs de distribution, pour être distribuée aux consommateurs. Ce transfert se fait dans des conduites soit gravitairement, soit sous pression (pompage).

On appelle conduites forcée ou conduites sous pression, les conduites dans lesquelles l'eau se trouve à une pression différente de la pression atmosphérique, et généralement supérieur.

Les conduites utilisées peuvent être en fonte, en acier, en béton armé ou précontraint, en amiante ciment (mais l'amiante est une matière cancérigène) ou en matière plastique.

2.4.1 Calcul des pertes de charge dans une conduite

2.4.1.1 Pertes de charge linéaire

On appelle pertes de charge linéaires, celles qui se produisent dans les tuyaux par frottement.

Parmi les nombreuses formules de calcul établies, on utilise encore la formule de WILLIAMS et HAZEN :

$$PDC_{lin} = \frac{10.64 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.87}} \cdot L$$

avec :
 C : Coefficient de WILLIAMS – HAZEN.
 Q : Débit exprimé en (m³/s).
 L : Longueur en (m).
 D : Diamètre de conduite exprimé en (m).

Cette formule a été utilisée pour le dimensionnement du système SPIK, une autre formule est actuellement utilisée, c'est celle de COLBROOK résultante des expériences de NIKURADZE.

Formule de COLBROOK :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{K}{3.71 \cdot D} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}}$$

avec :
 PDC_{lin} : Perte de charge par frottement
 λ : Coefficient de perte de charge
 D : Diamètre du tuyau en mètre (m)
 V : Vitesse d'écoulement en (m/s)
 g : Accélération de pesanteur en (m/s²)
 K : Coefficient de rugosité absolue du tuyau
 Re : Nombre de Reynolds

Avec ν : viscosité cinématique exprimée en (m²/s), variant en fonction de la température.

Formule de DARCY : $PD_{clin} = \frac{\lambda L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$

Remarques :

Après un certain temps de fonctionnement, les tuyaux changent de rugosité (corrosion, incrustation), donc le coefficient de perte de charge aussi change.

Pour les tuyaux lisses, le coefficient de perte de charge λ, peut être exprimé par la formule: $\lambda = \frac{0.316}{\text{Re}^{(1/4)}}$

avec

Re : Nombre de Reynolds

2.4.1.2 Pertes de charge singulières

Elles sont occasionnées par les différentes singularités tel que : (coudes, vannes, clapets, branchement, etc.) ; elles sont données par la

formule : $PDC_{sing} = \varepsilon \frac{V^2}{2g}$

avec :

PDC_{sing} : Perte de charge singulière exprimée en (m)

ε : coefficient de perte de charge singulière

V : Vitesse moyenne caractéristique de la singularité

Des formulaires spéciaux donnent les valeurs du coefficient de perte de charge singulière ε pour un certain nombre de singularités.

En définitif, l'ensemble des pertes de charge (linéaires et singulières) PDC_{tot} exprimé en mètre (m) de colonne d'eau sera : $PDC_{tot} = PDC_{lin} + PDC_{sing}$.

2.4.2 Caractéristique d'une conduite

La courbe caractéristique d'une conduite de diamètre D et de longueur L représente les variations de la charge en fonction du débit véhiculé.

L'équation mathématique de la courbe est :

$$H = F(Q) = H_{ST} \pm PDC_{tot}$$

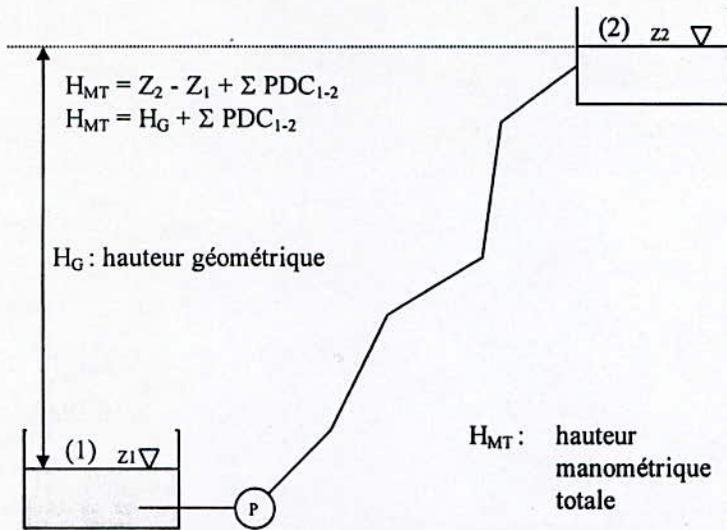
H_{ST} : hauteur statique

$$PDC_{tot} = \left[\frac{\lambda L}{D} + \xi \right] \frac{V^2}{2g} = \frac{8L}{g\pi^2 D^5} \cdot Q^4 = RQ^2 = \left[\frac{\lambda L}{D} + \xi \right] \frac{8}{g\pi^2 D^4} Q^2$$

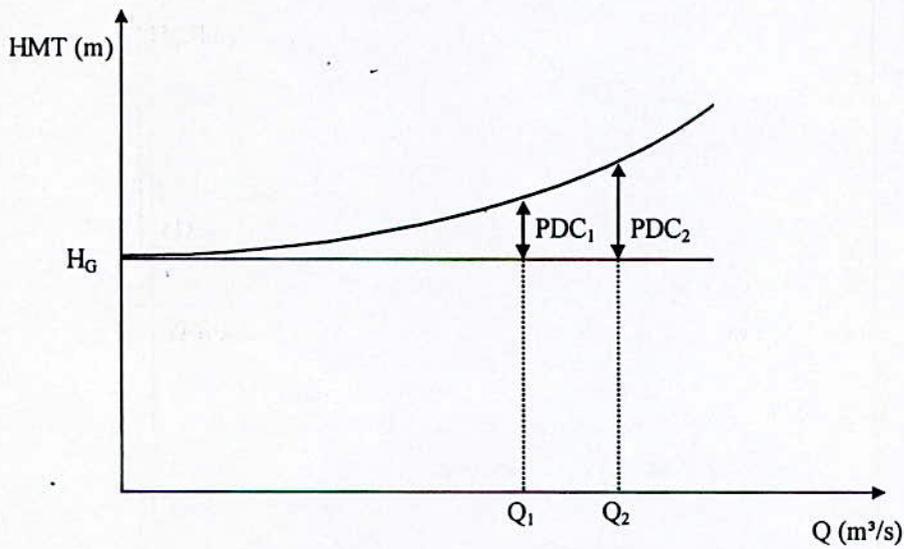
avec :

R : résistance de la conduite : $L^{-5} T^2$

2.4.2.1 Cas d'une conduite de refoulement :



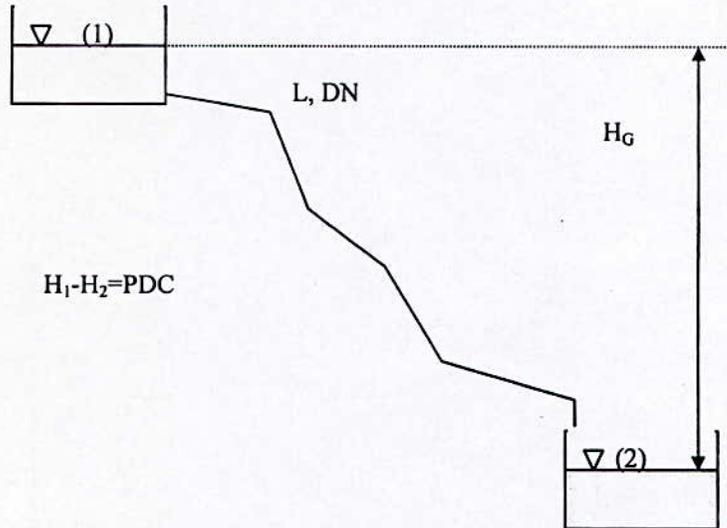
(Figure 2F1) Refoulement avec une seule conduite



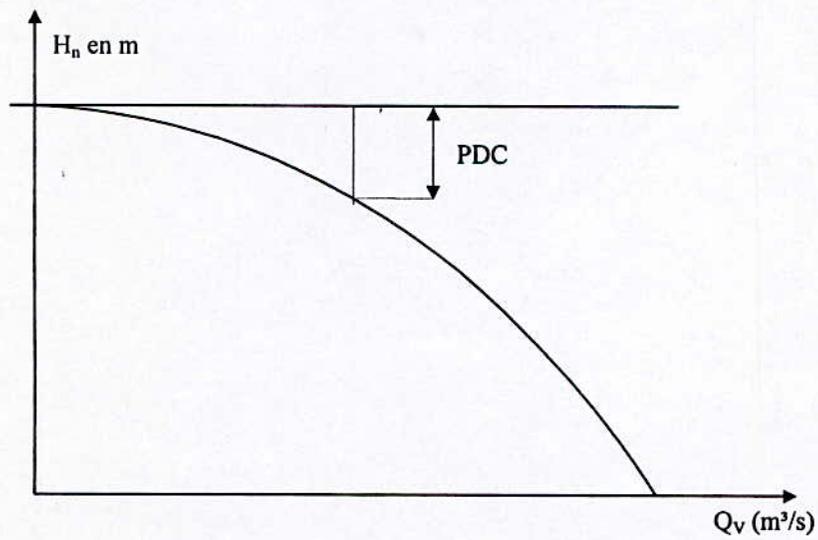
(Graphe 2G1) Caractéristique d'une conduite de refoulement

2.4.2.2 Cas d'une conduites gravitaire

Conduite gravitaire en série



(Figure 2F2) adduction gravitaire avec une conduite



(Graphe 2G2) Courbe caractéristique d'une conduite gravitaire

2.4.3 Couplage des conduites

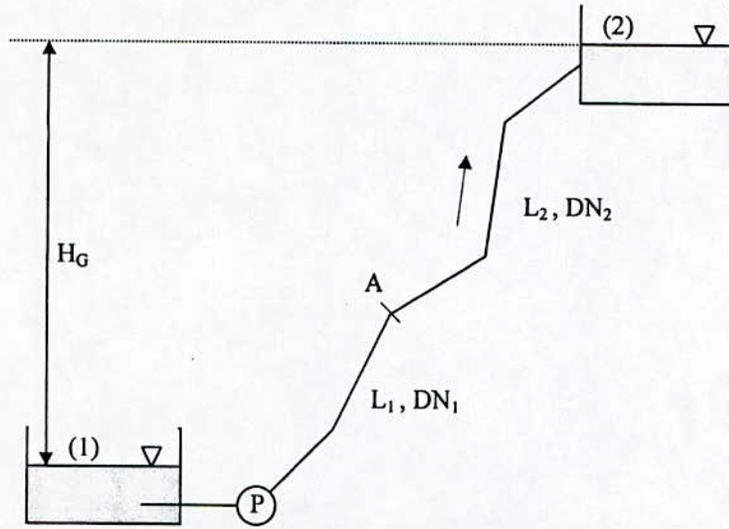
On peut coupler les conduites de deux façons :

En série en sommant les charges, pour un même débit.

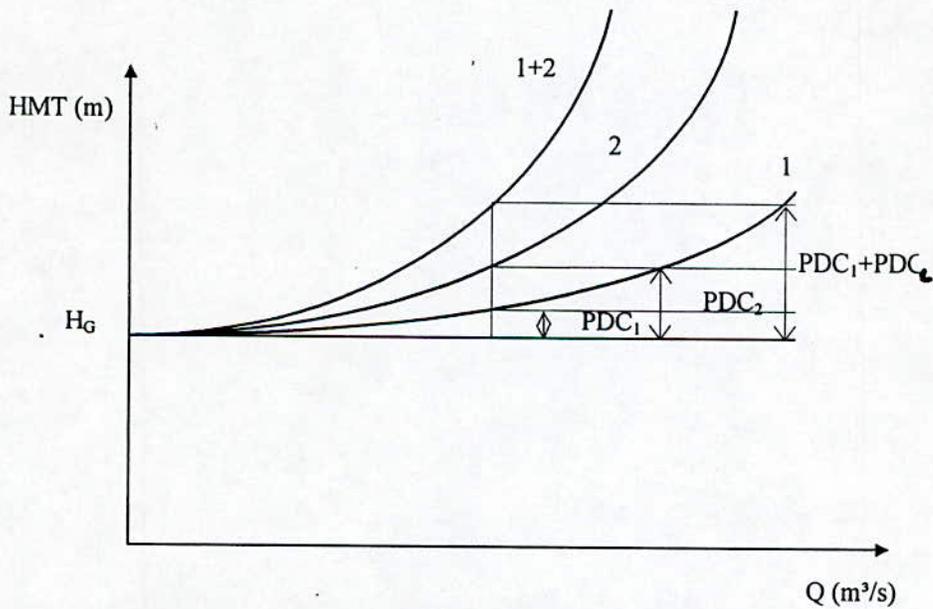
En parallèle en sommant les débits, pour une même charge.

2.4.3.1 Alimentation par refoulement

a - Conduites en série :



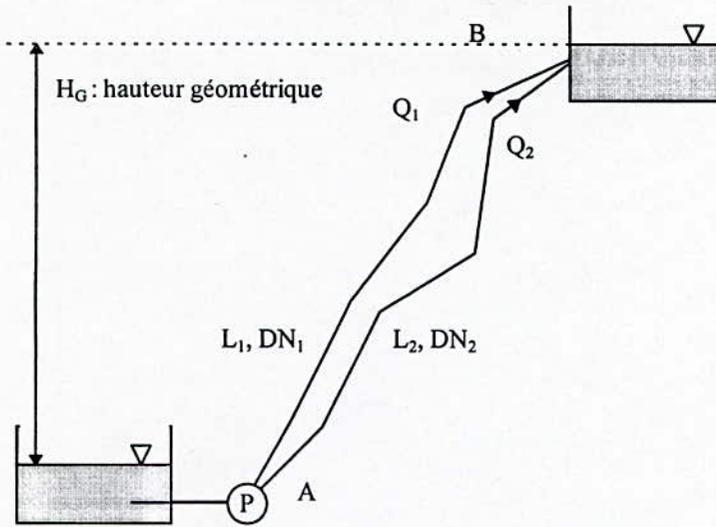
(Figure 2F3) Refoulement avec des conduites en série



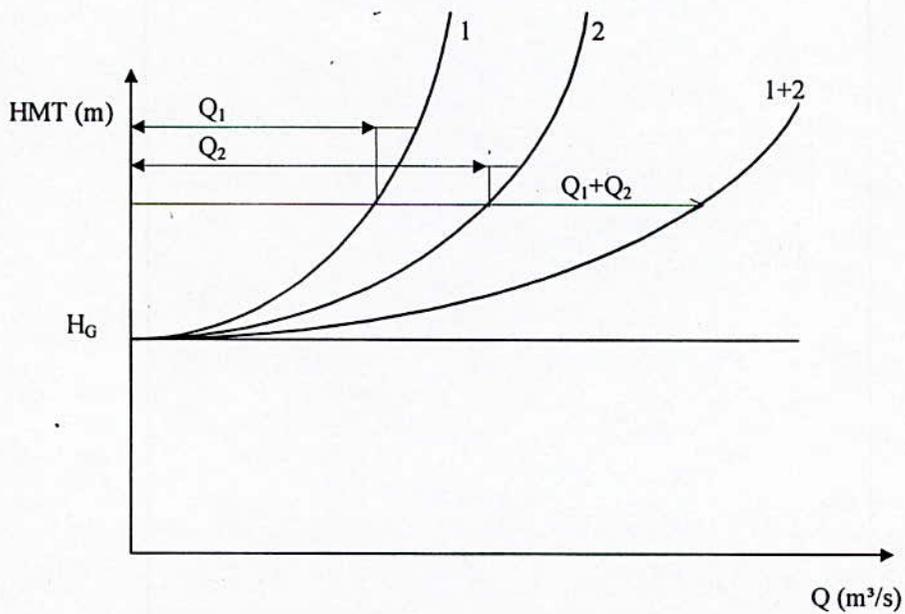
(Graphe 2G3) Caractéristique résultante de deux conduites en série

b - Conduites en parallèles

Conduite équivalente à un groupement de conduites :

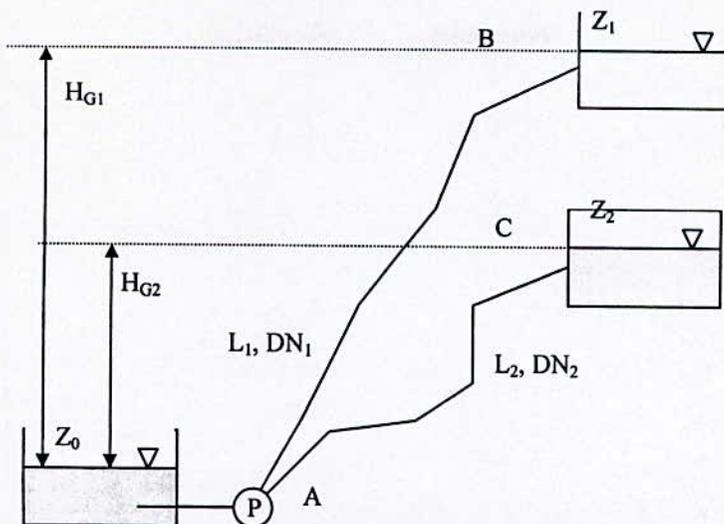


(Figure 2F4) Refoulement avec deux conduites en parallèle

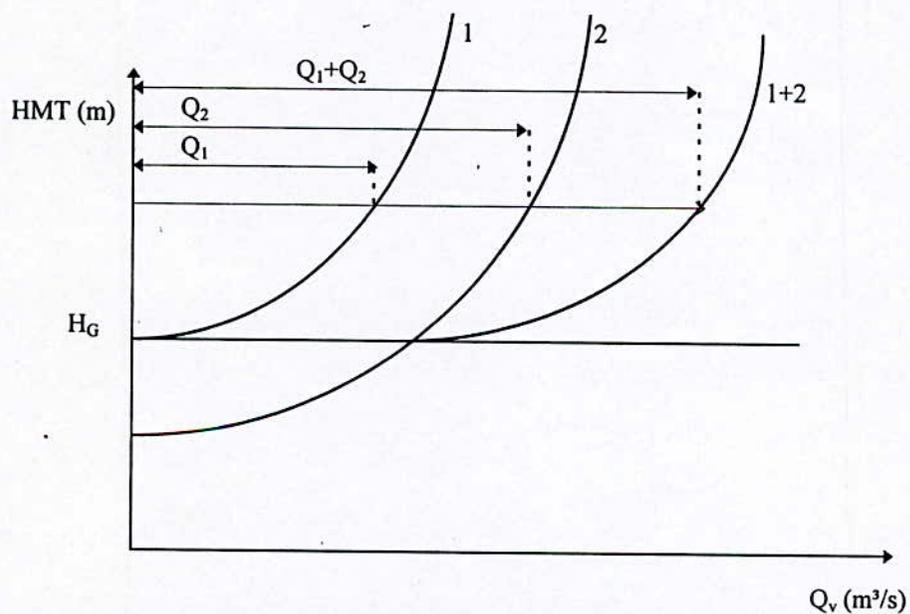


(Graphe 2G4) Caractéristique de deux conduites en parallèle

Les débits s'ajoutent à l'arrivée en B. la caractéristique de la conduite équivalente aux deux conduites en parallèle sera obtenue en additionnant les débits pour une même hauteur de refoulement.



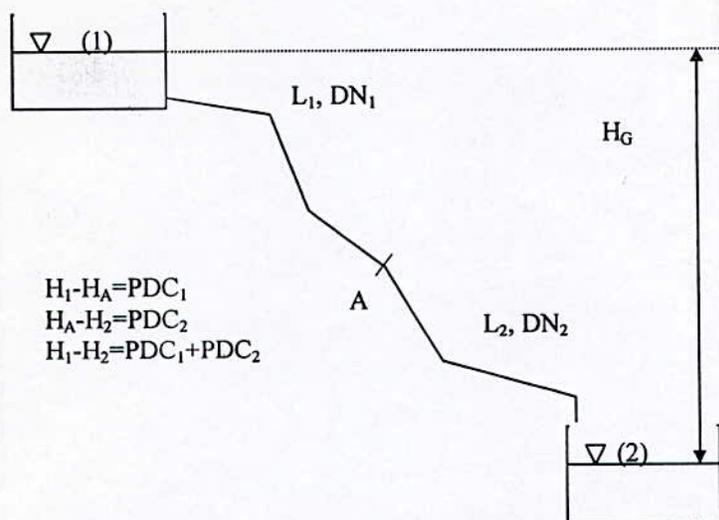
(Figure 2F5) Conduites en parallèle partant du même point et arrivant à des points différents



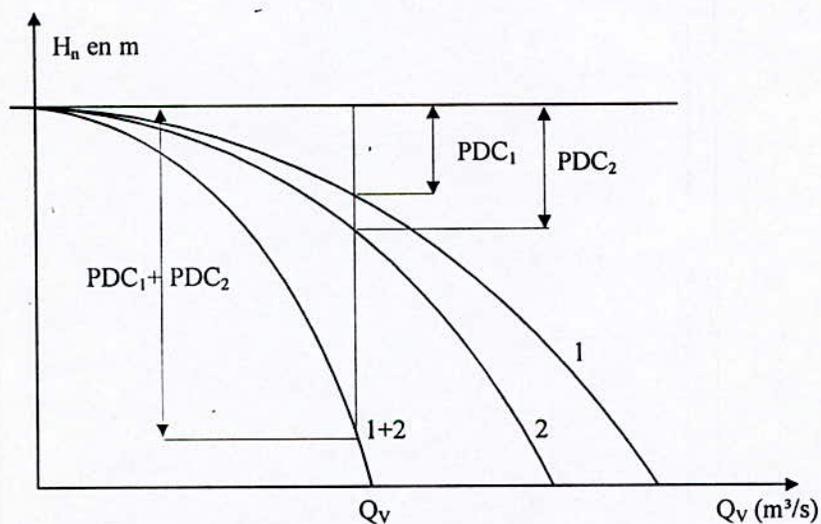
(Grappe 2G5) Caractéristique résultante de deux conduites en parallèles débitantes vers deux points différents

2.4.3.2 Alimentation par gravité

a - Conduite gravitaire en série



(Figure 2F6) adduction gravitaire deux conduites en série

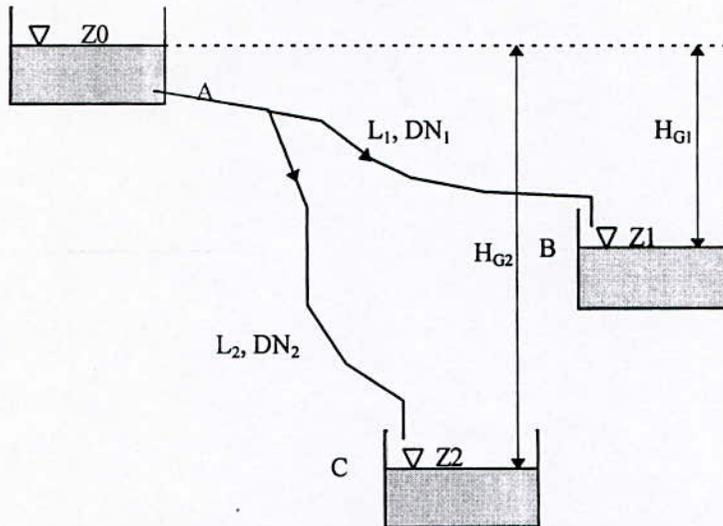


(Grphe 2G6) Courbes caractéristiques de deux conduites gravitaires en série

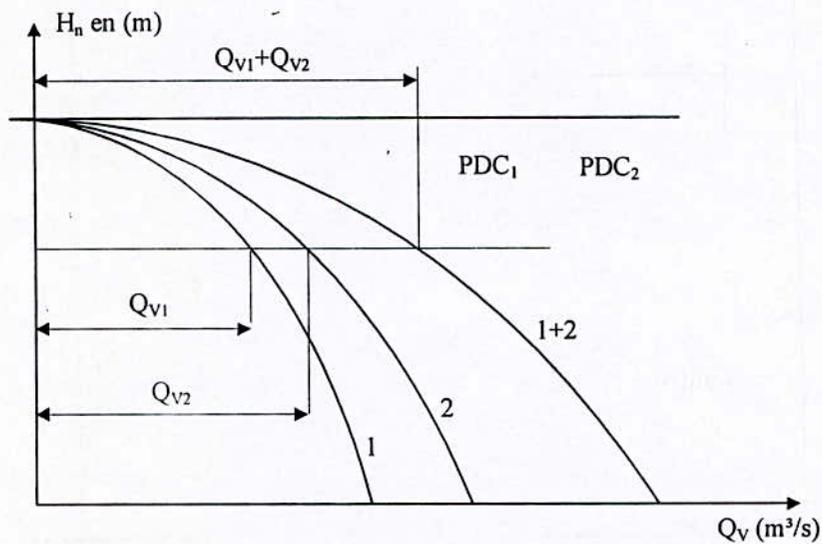
Pour un débit Q_v considéré les PDC s'ajoutent.

b - Conduites en parallèles

Conduite en parallèle partant du même point A et arrivant à des points différents B et C



(Figure 2F7) Adduction gravitaire deux conduites en parallèle



(Graphe 2G7) Caractéristique résultant deux conduites gravitaires en parallèle

Pour une même hauteur de chute considérée nous devons ajouter les débits.

2.4.3.3 Cas d'une conduite avec vanne :

$$H_c = RQ^2 + R'Q^2 = R''Q^2$$

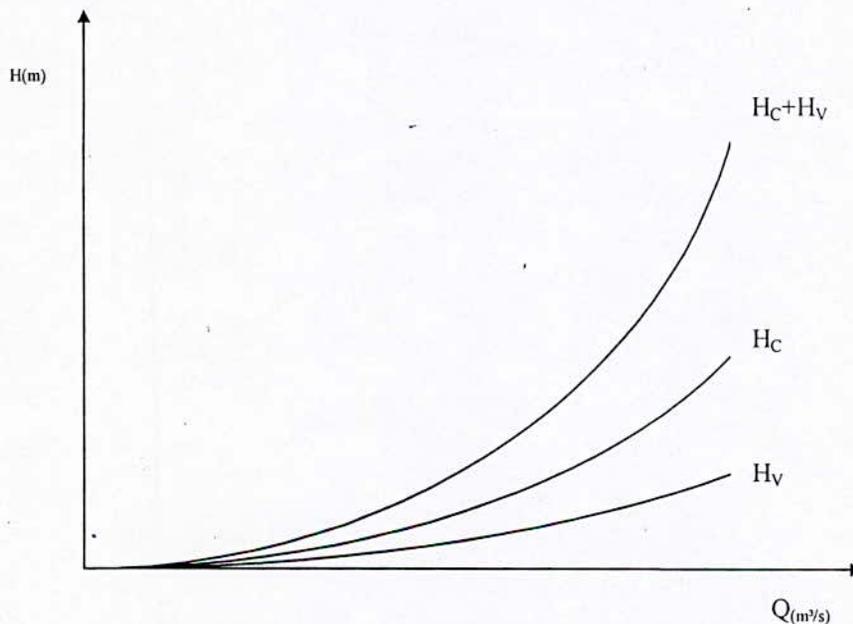
Avec :

$$R : \text{Résistance de la conduite.} \quad R = \frac{8\lambda L}{g\pi^2 D^5}$$

$$R' : \text{Résistance de la vanne :} \quad R' = \frac{\varepsilon}{2gS^2}$$

$$R'' = R' + R$$

En reportant les deux caractéristiques sur le même système d'axe, et en faisant pour un même débit la somme des ordonnées correspondantes, on obtient la caractéristique résultante (conduite + vanne) (Graphe 2G8).



(Graphe 2G8) Couplage d'une vanne avec une conduite

Remarque :

- Une vanne donnera lieu à des pertes de charge singulières différentes selon le degré d'ouverture
- En agissant sur la vanne placée sur le refoulement de la pompe, on introduit une perte de charge supplémentaire et la caractéristique du réseau se déplace.

2.5 Le stockage

Une fois l'eau captée des différentes sources, elle est acheminée vers les réservoirs qui sont soit des ouvrages de stockage ou de régulation de débit. Ils permettent de concilier la production à la consommation, servant tout d'abord les réserves d'eau seulement, leur rôle c'est rapidement développé.

2.5.1 Fonction et utilité des réservoirs :

Les réservoirs doivent permettre de faire plusieurs opérations :

- Faire face à une interruption du fonctionnement des installations de refoulement.
- Permettre une marche plus uniforme des pompes.
- Apporter une économie en effaçant la consommation d'énergie pendant les heures de pointe et en utilisant le maximum d'énergie pendant les heures creuses.
- Ils doivent contenir en tout temps une réserve suffisante pour faire face aux besoins instantanés très importants des services chargés de la lutte contre l'incendie.

2.5.2 Exigences techniques

Les exigences techniques à satisfaire pour ce genre de construction sont :

1. Étanchéité :
Les cuves des réservoirs d'eau doivent être parfaitement étanches et ne recevoir aucun enduit intérieur susceptible d'altérer l'eau qu'elle conditionne, elles doivent aussi être aménagées de telle manière que l'eau circule régulièrement à l'intérieur en évitant toute stagnation.
2. Résistance :
Les réservoirs doivent équilibrer dans toutes leurs parties les efforts auxquels ils seront soumis : Poids propre, effet climatique (neige - vent), effet dynamique (séisme), effet de retrait, effet de fluage, variation de température (surcharge d'exploitation).

3. Durabilité :

Les réservoirs doivent durer dans le temps en vue des efforts extérieurs auxquels ils seront soumis.

2.5.3 Emplacement des réservoirs :

La hauteur à donner au plan d'eau inférieur de la cuve (par rapport au site topographique) impose très souvent les conditions de construction des réservoirs qui peuvent être soit :

- Complètement enterré.
- Semi-enterrés.
- Surélevés.

Ils peuvent être construits soit en maçonnerie, en béton armé ou précontraint soit métallique.

En plaine, ils doivent généralement être surélevés, leur emplacement le plus économique est généralement au centre de gravité de la ville.

En terrain accidenté, l'emplacement sera sur un site dont la cote excède celle des maisons les plus hautes d'une valeur suffisante (10 à 20 m) pour assurer une alimentation directe par simple gravité.

Le souci d'esthétique devrait conduire le plus souvent à la construction d'un réservoir souterrain, l'économie nous pousse à réaliser un réservoir semi-enterré.

Mais le meilleur emplacement ne sera déterminé qu'après une étude locale qui tient compte des facteurs économiques, esthétiques, et des coûts des conduites du réservoir et éventuellement de la station de pompage.

2.5.4 Equipement des réservoirs

Un réservoir doit être équipé par :

- Une conduite d'adduction.
- Une conduite de distribution.

- Une conduite de trop plein (cette conduite devra pouvoir évacuer la totalité de débit arrivant au réservoir)
- Une conduite de vidange.
- By-pass entre l'adduction et la distribution.
- Un système d'évacuation des eaux de pluie.

2.5.5 Capacité des réservoirs

Elles sont déterminées en fonction des besoins à satisfaire, il faut donc évaluer les besoins que chaque réservoir devra combler localement et prévoir leur variation :

- Variation annuelle (démographie - hygiène).
- Variation mensuelle (grande ville - ville touristique).
- Variation journalière (jour du marché).
- Variation horaire (préparation des repas, heures des prières).

2.6 La distribution

Le réseau de distribution est l'ensemble des canalisations qui font suite au réservoir, et qui vise à alimenter directement les abonnés. Ces réseaux peuvent être selon leur configuration sur le terrain comme suit :

1. Réseau ramifié.
2. Réseau maillé.
3. Réseau combiné.

Le réseau ramifié présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité et de souplesse, un accident sur la conduite principale prive d'eau tous les abonnés d'aval.

Le réseau maillé permet au contraire d'isoler le tronçon accidenté à l'aval sans nuire aux autres abonnés, malgré qu'il soit plus coûteux, il doit être préféré aux autres réseaux, car il procure une sécurité d'alimentation en eau supplémentaire.

3. Les pompes et les stations de pompages

3.1 Les pompes

3.1.1.1 Bâche d'arrivée ou d'aspiration

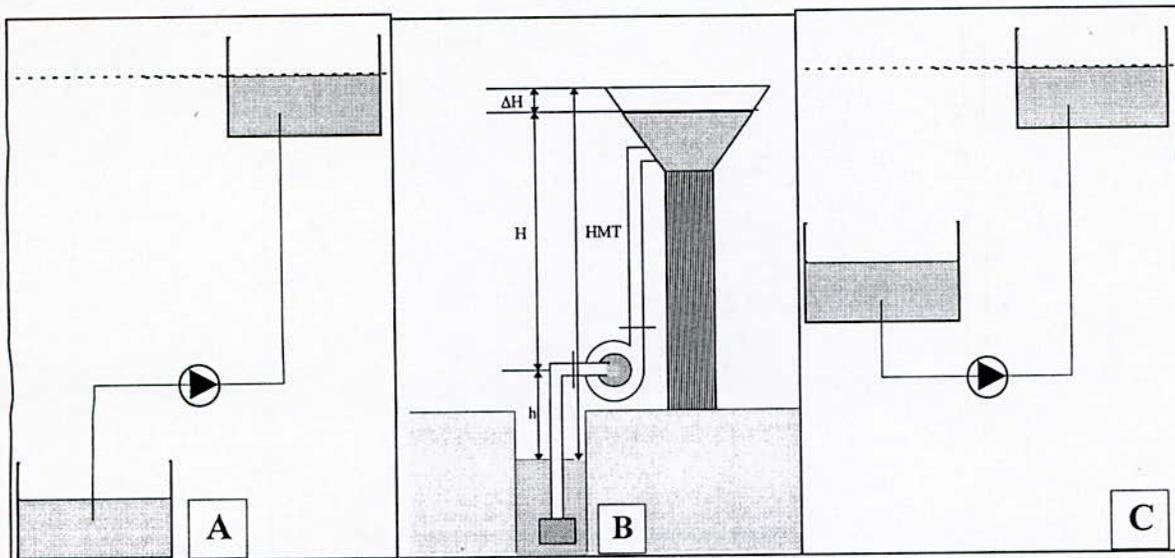
Une fois l'eau captée d'une prise d'eau, elle est réceptionnée dans une bâche qui sert de tampon ou de régulateur entre la source et la pompe.

Cette bâche doit être protégée contre les souillures et les pollutions. Du point de vue équipement hydraulique la bâche d'arrivée est dotée d'une conduite qui sert de raccordement entre la bâche et la pompe, c'est la conduite d'aspiration (qui est calculée et installée d'une façon à éviter la cavitation et les poches d'air), une conduite de vidange, et une conduite de trop plein.

Le dimensionnement de la bâche est fonction de son débit d'alimentation et du débit des pompes (qui est fonction de la demande), et cela pour assurer un volume utile suffisant.

Dans certains cas, la bâche est constituée par le réservoir de reprise ou par la citerne d'eau traitée de l'usine.

3.1.1.2 Usine élévatoire



(Figure 3F1) Système de pompage

3.1.2 Choix de la pompe :

Afin de pouvoir faire le choix d'une pompe, il est indispensable de connaître les éléments suivants :

a - Hauteur géométrique d'aspiration :

Elle est égale à la distance verticale du niveau de l'eau dans la bache à l'axe de la pompe (en charge ou en dépression).

b - Hauteur géométrique de refoulement :

Elle est égale à la distance verticale H de l'axe de la pompe au niveau supérieur de l'eau dans le réservoir de refoulement.

c - Pertes de charge :

Elles se mesurent en mètre d'eau et sont dues au frottement de l'eau dans la tuyauterie et aux singularités, elles varient suivant le débit, la longueur des tuyaux, la présence de coudes, pour cela la pompe devra compenser les dissipations d'énergie dans les conduites tant d'aspiration que de refoulement.

d- Hauteur manométrique totale :

$$HMT = H + h + \Delta PDC_{S_{asp+ref}}$$

+h pour une aspiration en charge.

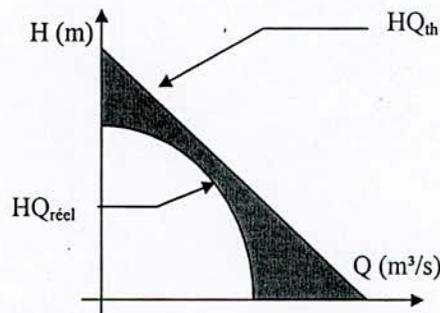
-h pour une aspiration en dépression.

3.1.2.1 Caractéristique d'une pompe :

Une pompe centrifuge est représentée par trois types de courbes principales et qui expriment ses performances pour une vitesse de rotation donnée :

- La courbe hauteur débit tout simplement courbe QH qui exprime les différentes hauteurs de relèvement en fonction du débit. La hauteur réelle engendrée H et reliée à la hauteur théorique H_{th} [pour une pompe théorique¹] par la relation suivante :

$$H = H_{th} - \text{pertes de charge dans la pompe.}$$



(Graphe 3G1) Caractéristique théorique et réelle d'une pompe

Si on retranche les pertes de charge créées dans la pompe de H_{th} on obtient les valeurs de H et il s'en déduit la courbe caractéristique qui est une parabole (Graphe 3G1), il faut noter aussi que les constructeurs en rognant sur la roue, font varier les caractéristiques des pompes. Une diminution du diamètre engendre une diminution de la hauteur H et du débit Q (car en similitude les débits, les H, varieront dans le rapport du carré des diamètres extérieurs).

¹ Une pompe théorique présente un nombre d'aubages infini et qui est sans pertes de charge

- La courbe du rendement pour les différents débits. Cette courbe présente un maximum pour un certain débit (Figure 3G2). Nous verrons plus loin qu'on prend un certain intervalle de la courbe HQ pour les pompes qui présentent un meilleur rendement économique, et cela en faisant varier la vitesse des pompes.
- La courbe des puissances absorbées qui varie en fonction du débit, suivant la relation suivante :

$$P = \frac{9.81QH}{\varphi}$$

avec :

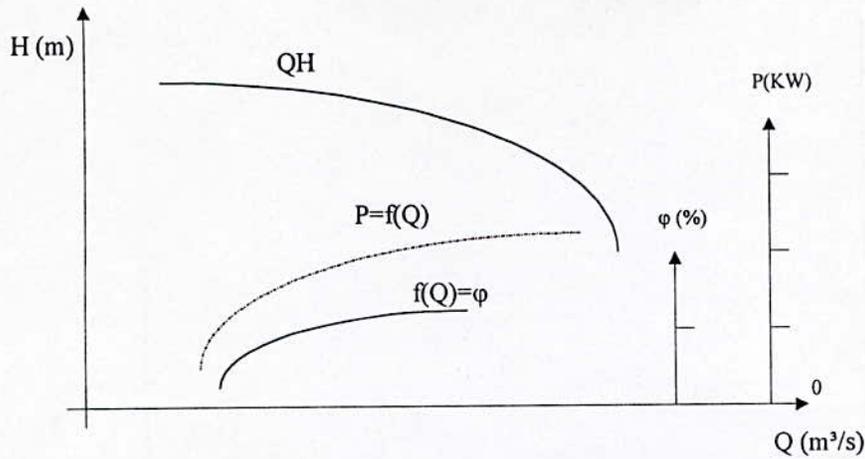
P : exprimée en kW.

Q : exprimée en m³/s.

H : exprimée en m.

φ : rendement de la pompe.

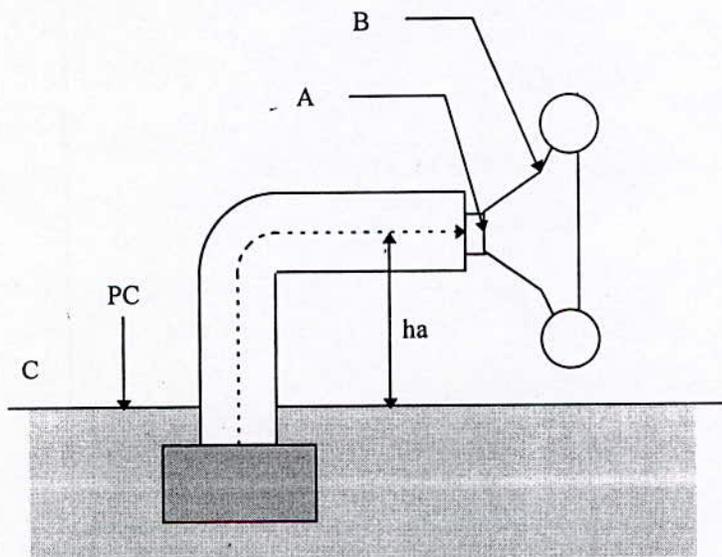
A noter que pour des valeurs de $B_2 < 90^\circ$ (B_2 : angle de sortie de la roue) la courbe $P=f(Q)$ est une branche de parabole dont la concavité est tournée vers le bas (Graphe 3G2).



(Graphe 3G2) Les différentes courbes caractéristiques d'une pompe

3.1.2.2 Notion de NPSH

Capacité pratique d'aspiration:



(Figure 3F2a) L'aspiration d'une pompe

Appliquons le théorème de Bernoulli entre les points A et C, on

$$\text{aura : } \frac{P_c}{\rho g} = \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + h_A + PDC_{AC}$$

Avec :

\$PDC_{AC}\$: la somme des pertes de charges entre les 2 points A et C..

(\$P_c\$: pression atmosphérique ou pression a la bache d'aspiration).

$$\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_c}{\rho g} - \frac{V_A^2}{2g} - h_A - PDC_{AC}$$

V , varie comme Q et PDC_{AC} varie comme Q^2 , on peut donc poser :

$$\frac{V_A^2}{2g} + PDC_{AC} = KQ^2$$

$$\boxed{\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_C}{\rho g} - h_A - KQ^2}$$

soit :

$$h_v = \frac{P_v}{\rho g}$$

La hauteur représentative de la tension de vapeur du liquide

pompée à une température considérée.

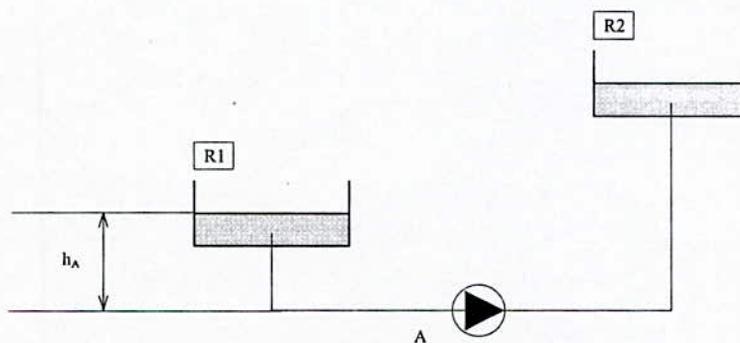
On défini le $NPSH_d$ comme étant la charge nette à l'aspiration, elle représente la cote de la ligne piézométrique à l'entrée de la tubulure d'aspiration de la pompe rapportée à l'axe de celle-ci exprimée en mètre et diminuée de la hauteur représentative de la tension de vapeur du liquide.

$$\boxed{NPSH_d = \frac{P_A}{\rho g} - h_v}$$

□ Dans le cas ou la pompe est en charge on aura :

$$NPSH_d = \frac{P_A}{\rho g} - h_v$$

$$\text{avec : } \frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_C}{\rho g} + h_A - KQ^2$$



(Figure 3F2b) L'aspiration en charge

NPSH : Net Positive Suction Head

Cette expression est indépendante de la pompe utilisée et ne dépend que de l'installation (longueur et diamètre de la canalisation d'aspiration, perte de charge le long de cette canalisation, hauteur géométrique d'aspiration), on l'appelle précisément le NPSH disponible.

Appliquons maintenant le théorème de Bernoulli entre A et B. On a bien sur : $V_B > V_A$

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + h_A = h_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + PDC_{A-B}$$

Supposons que : $h_A - h_B \cong 0$ et $P_B / \rho g = h_v$

Donc la pression en B atteint la tension de vapeur dans ces conditions on a P_A qui prend la valeur particulière P'_A .

$$\frac{P'_A}{\rho g} = h_v + \left(\frac{V_B^2 - V_A^2}{2g} \right) + PDC_{A-B}$$

$$\frac{V_A^2}{2g} = K_1 Q^2, \quad \frac{V_B^2}{2g} = K_2 Q^2, \quad PDC = K_3 Q^2$$

Avec : $(K_2 > K_1)$

$$\frac{P'_A}{\rho g} = h_v + K Q^2$$

Avec : $K = (K_2 - K_1 + K_3) > 0$

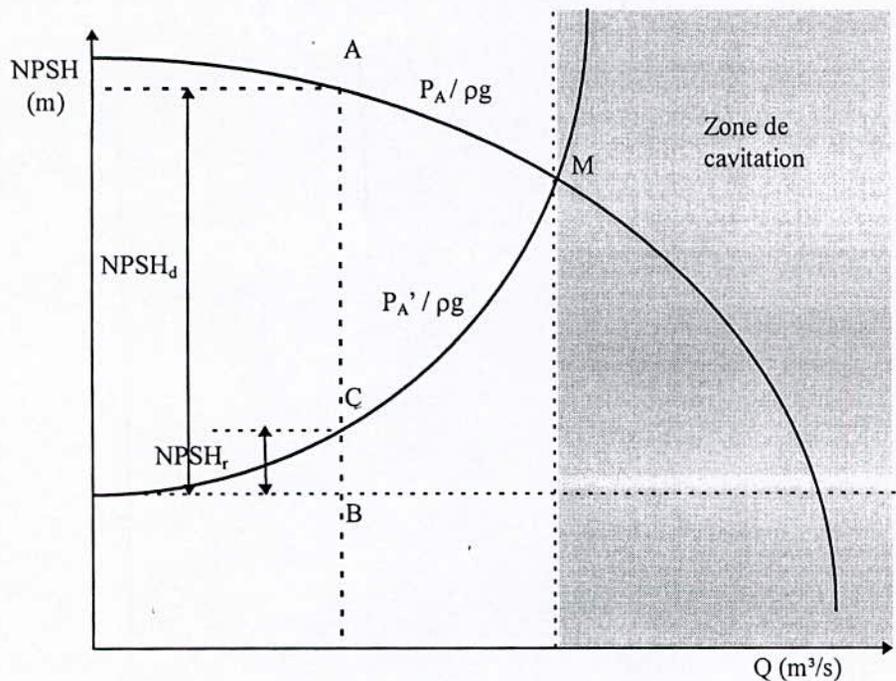
Par définition, le NPSH requis est :

$$NPSH_r = \frac{P'_A}{\rho g} - h_v$$

Le $NPSH_r$ est indépendant de l'installation de la pompe, et ne dépend que de ce qui se passe entre A et B, c'est à dire de la pompe elle-même. C'est une donnée fournie par le constructeur.

Si $Q < Q_m$, c'est à dire $NPSH_d > NPSH_r$

La pression absolue à l'intérieur de la pompe n'atteint nulle part P_v aucune cavitation n'est à craindre.[2]



(Graphe 3G3) Détermination de la zone de cavitation

Si $Q \geq Q_M$ c'est à dire $NPSH_d \leq NPSH_r$

Il y a formation de la cavitation, donc pour éviter ce phénomène, il faut que le NPSH disponible soit toujours supérieur au NPSH requis.

Description physique de la cavitation :

La cavitation provoque de forte perturbation dans l'écoulement ainsi que des effets destructeurs plus ou moins importants, d'ordre mécanique et physico-chimique.

Les bulles de vapeur se forment dans les régions de basse pression ou elles subissent une implosion.

L'implosion est une irruption brutale et rapide du fluide dans les bulles de vapeur qui se trouvent à une pression nettement moindre que la pression du milieu extérieur. La formation, la croissance et l'écrasement des bulles cavitationnelles sont accompagnés de phénomènes dérivés : mécaniques, acoustiques et thermodynamiques.

Pendant l'implosion qui consiste à la rapide disparition des bulles cavitationnelles ($t < 0.001$ sec) la pression peut atteindre 3500 bars, les surfaces des solides exposées à la cavitation sont soumises à l'action d'onde de pression de haute fréquence, ces ondes de chocs provoquent une corrosion mécanique rapide et spectaculaire de ces surfaces solides, ce qui conduit à la destruction très rapide des organes de la pompe exposés à la cavitation (roue et diffuseur).

3.1.2.3 Couplage des pompes :

En règle générale quand la hauteur manométrique d'aspiration ne dépasse pas 5 à 6 mètres, nous optons pour des groupes Electropompes du type centrifuge à axe horizontal, ce qui est le cas de la station de Garidi.

Autant que faire se peut, il est toujours prudent de prévoir plusieurs groupes pour des raisons de sécurité, les différentes combinaisons possibles devant être étudiées sur le plan économique et hydraulique.

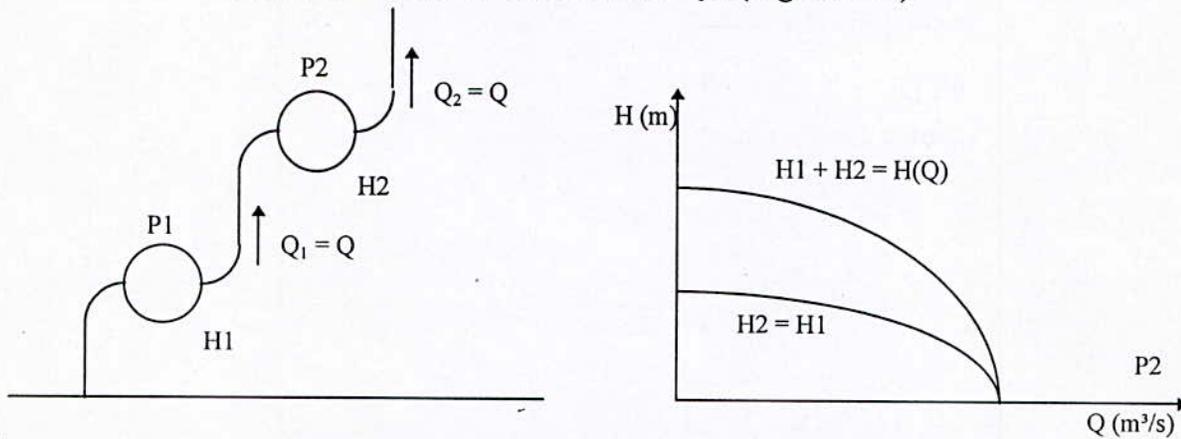
Les pompes centrifuges peuvent être couplées en série ou en parallèle selon qu'il est recherché d'augmenter la hauteur d'élévation ou le débit.

a - Couplage en série de deux pompes :

Ce mode de couplage est utilisé afin d'augmenter la charge ou la hauteur d'élévation, dans ce cas le refoulement de la première pompe débouche dans l'aspiration de la deuxième ; et par conséquent le même débit traverse les deux pompes et les hauteurs engendrées s'ajoutent.

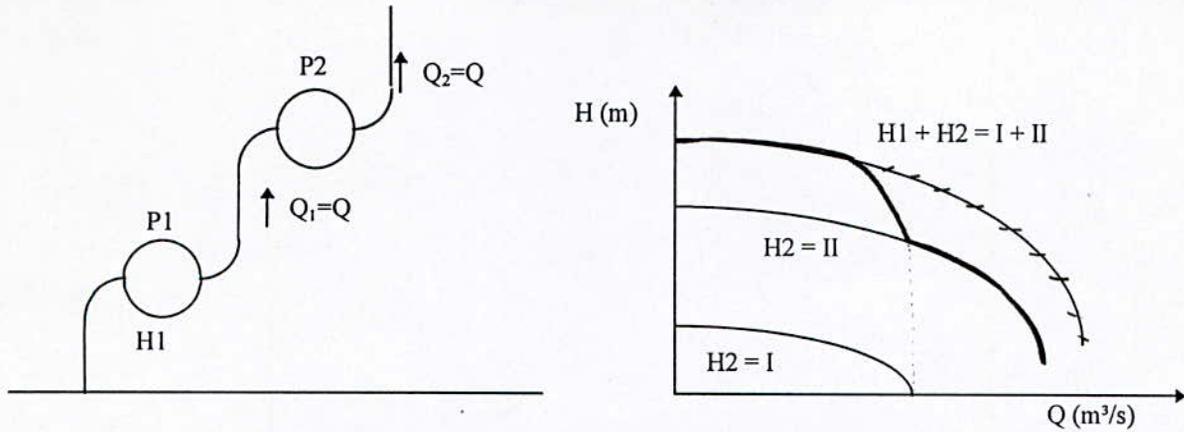
La caractéristique débitante globale est obtenue en faisant pour chaque débit la somme des ordonnées correspondant aux hauteurs engendrées par elles (pompes).

- Pour le couplage de deux pompes identiques tournant à la même vitesse la caractéristique QH étant commune aux deux, les caractéristiques des deux pompes fonctionnant ensemble sera donc obtenu en doublant à chaque fois pour un même débit, les ordonnées à la courbe QH (Figure 3F3).



(Figure 3F3) Couplage de deux pompes en série

- Pour le couplage de deux pompes différentes P_1 et P_2 de caractéristiques inégales I et II, le problème est le même que ci dessus c'est à dire que pour un même débit les ordonnées de la résultante $I + II$ sera la somme des ordonnées de chacune des courbes I et II (Figure 3F4).

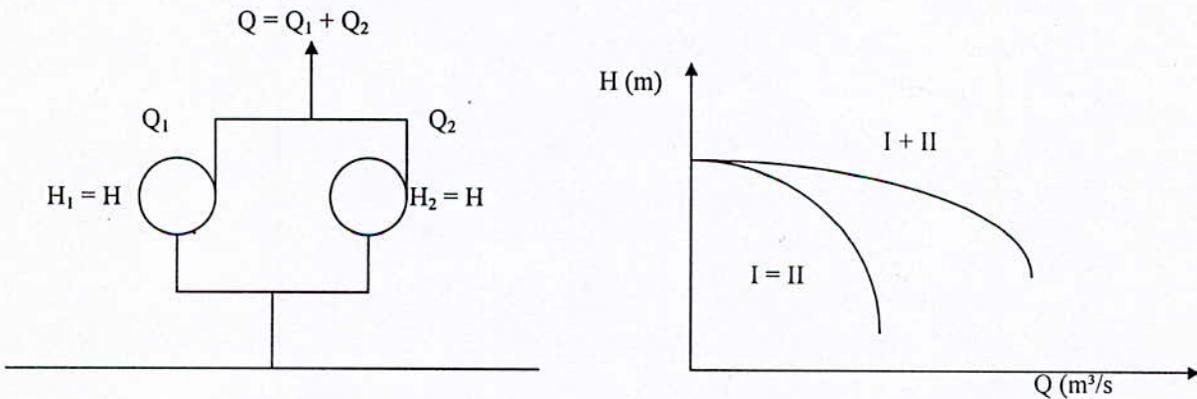


(Figure 3F4) Couplage de deux pompes différentes en série

b - Couplage en parallèle de deux pompes :

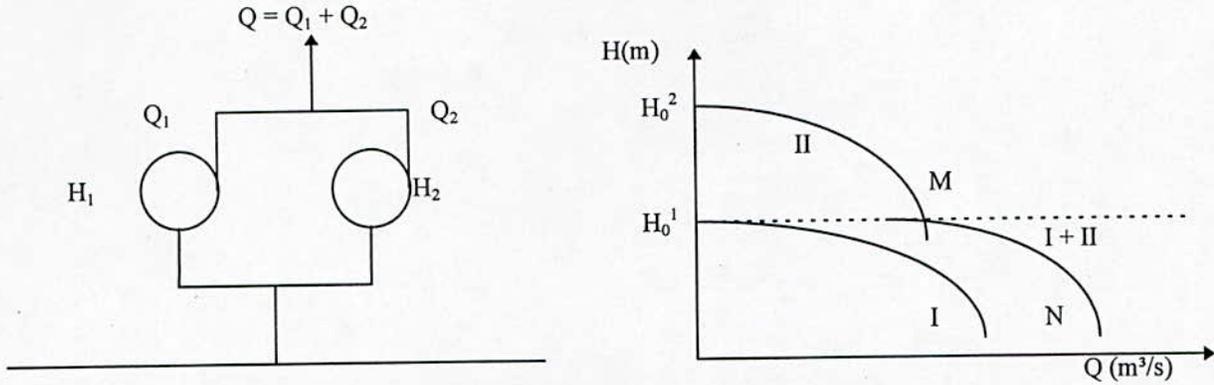
Dans ce cas le refoulement de chaque pompe abouti à un collecteur commun et, pour une hauteur d'élévation donnée, le débit de l'ensemble est égal à la somme des débits transitants pour chacune des deux pompes.

- Pour le couplage de deux pompes identiques qui présentent les mêmes courbes caractéristiques, la courbe caractéristique de l'ensemble sera obtenue en doublant à chaque fois et pour une même hauteur les débits correspondant (Figure 3F5).



(Figure 3F5) Couplage de deux pompes identiques en parallèle

- Pour le couplage de deux pompes qui présentent des courbes caractéristiques différentes $H1 \neq H2$ le principe est le même que ci dessus. La caractéristique de l'ensemble ($I + II$) est obtenue en prenant pour chaque ordonnée (hauteur), la somme des abscisses (débit) partiels (Figure 2F6).

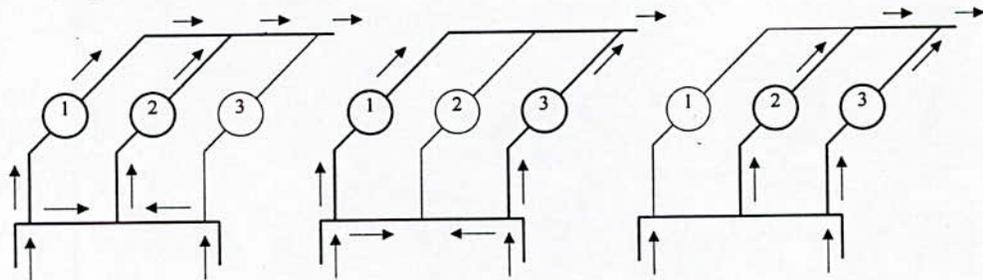


(Figure 3F6) Couplage de deux pompes différentes en parallèle

On remarque bien qu'il y a une partie commune entre II et (I+II) jusqu'au point M, si cette portion devrait être entièrement utilisée, la pompe I ne débiterait qu'après que le point M soit atteint car elle ne peut pas fournir une pression supérieure à H_0^1 . Donc il est pratique de coupler des groupes à QH identiques.

Remarque :

- Le couplage des pompes en série est utilisé pour refouler un débit sensiblement constant à une hauteur importante.
- Le couplage en parallèle est utilisé pour refouler un débit variable à une hauteur constante, il est fréquent en adduction d'eau.
- Nous avons traité ci dessus l'exemple de deux pompes, il sera facile d'étendre le principe de la méthode au cas d'un nombre de pompes plus important (cas d'une station de pompage) (Figure 3F7).



(Figure 3F7) Couplage de plusieurs pompes en parallèle

3.1.3 Modifications susceptible d'être apportées à une pompe

Quand deux machines différentes (de la même famille, c'est à dire géométriquement semblables) sont en fonctionnement semblable, ou bien quand deux machines identiques utilisées différemment sont en fonctionnement semblable, on a les relations suivantes qui sont applicable entre elles :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \qquad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \qquad \frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5$$

Ces relations sont appelé proportionnalité principale.

3.2 Les stations de pompage

3.2.1 Introduction

Si on est dans une région montagneuse ou à plateau de différentes hauteurs, on utilise des stations de pompage pour refouler l'eau de la source vers les réservoirs situés dans ces hauteurs.

Une station de pompage comporte généralement un grand réservoir, une salle de disposition des pompes, une salle de commande automatique, des salles administrative, un dispositif de protection anti-bélier et éventuellement des compartiments réservés aux personnel (restaurant - douche, etc.).

3.2.2 Equipement en amont et en aval des pompes

Les équipements d'aspiration :

Grille, tulipe d'aspiration, crépine, clapet, joint, vanne, convergent, appareil de protection anti-bélier, circuit d'amorçage de la conduite et de la pompe. Ces équipements se différencient selon que l'aspiration se fait dans une bache ou sur une conduite.

Les équipements de refoulement :

Joint, divergent, clapet anti-bélier, vanne, appareils divers.

3.2.3 Choix du moteur :

Lors de la présentation des caractéristiques d'une pompe, on a vu que la puissance absorbée pour une pompe est égale à $P_{abs} = P_u / \eta$ tel que :

P_u : puissance utile, η : rendement de la pompe.

Une fois P_{abs} calculée et le point de fonctionnement déterminé, on peut commander au constructeur le moteur approprié. Toutefois, pour prévenir certains imprévus d'exploitation, il sera prudent de majorer la puissance absorbée comme suivant :

- 30% pour une P_{abs} de moins de 4 kW
- 20% pour une P_{abs} comprise entre 4 et 20 kW
- 10% pour une P_{abs} supérieur à 20 kW

Les moteurs électriques sont généralement les plus utilisés en dépit de moteur diesel, turbine hydraulique, car ils se prêtent mieux à une commande automatique. Toutefois dans la multiplicité des moteurs électriques le moteur à cage est mieux situé pour l'entraînement d'une pompe centrifuge pour sa simplicité de fonctionnement et ses dispositifs de démarrage.

3.2.4 Etude hydraulique

Fonctionnement d'une pompe centrifuge sur un réseau de canalisations, (détermination du point de fonctionnement)

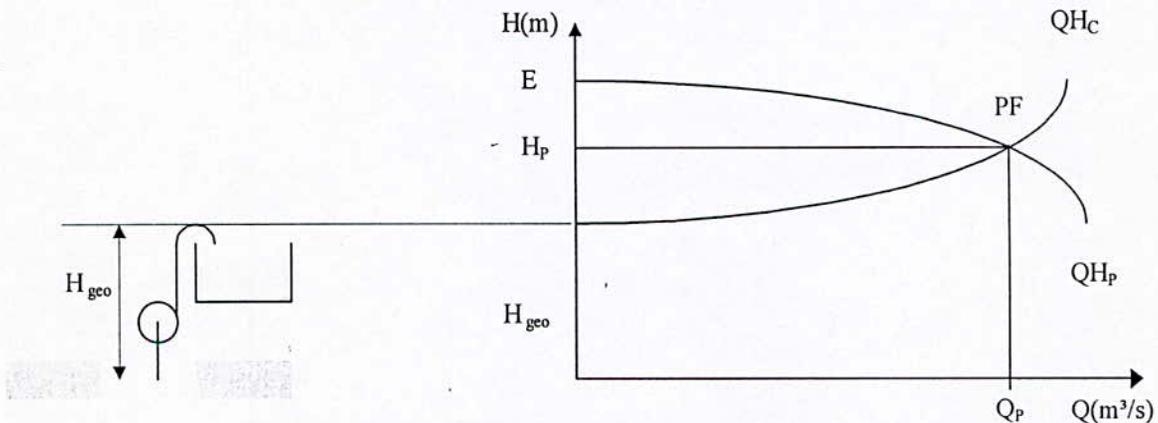
Nous avons traité précédemment les propriétés de la pompe considérée isolement, et quelques propriétés des conduites, faisons à présent l'étude de l'ensemble complet pompes - canalisations.

3.2.4.1 Principe de détermination du point de fonctionnement :

Un réseau hydraulique peut se caractériser par la loi fixant la hauteur manométrique nécessaire pour lui fournir un certain débit.

Donc nous devons d'abord définir la caractéristique de la conduite. C'est la courbe QH_c donnant la charge totale qui doit être créée dans cette conduite pour y assurer le passage du débit Q , cette charge est la hauteur manométrique totale HMT.

Une fois la pompe choisie l'intersection de la caractéristique de la conduite avec celle de la pompe donne le point de fonctionnement PF, c'est à dire qu'il sera refoulé un débit Q_p à une hauteur H_p (Figure 3F8).



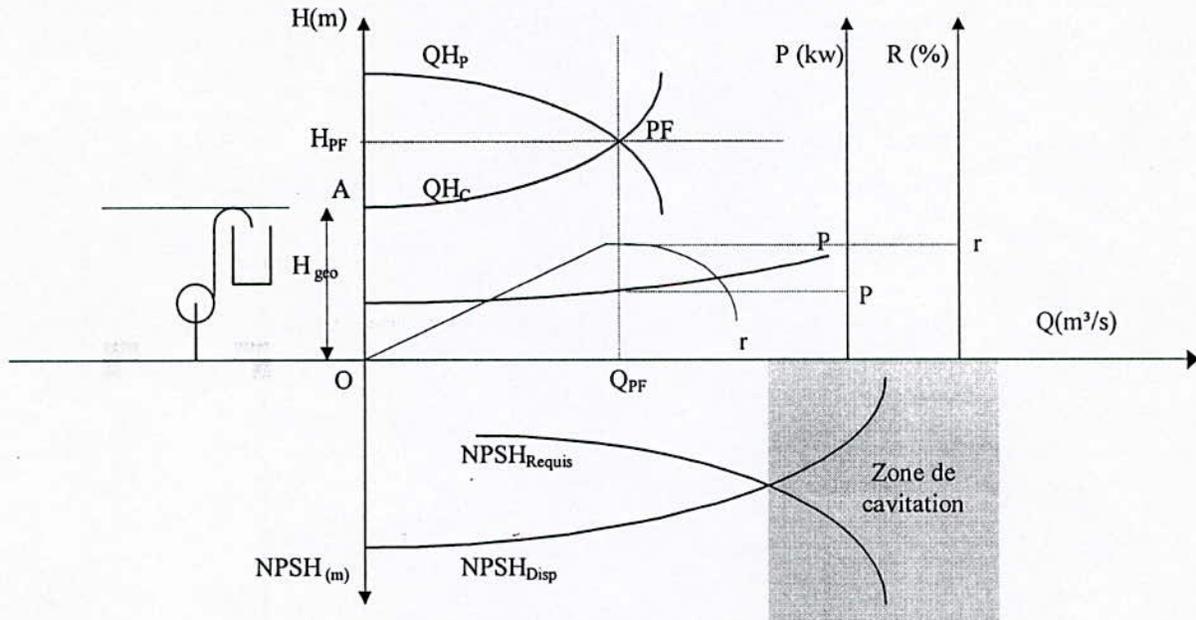
(Figure 3F8) Principe de détermination du point de fonctionnement

La hauteur correspondante au débit nul (vanne fermée) est dite hauteur de barbotage. Au fur et à mesure qu'on ouvre la vanne de refoulement, le point de fonctionnement se déplace sur QH de la pompe du point E, jusqu'à PF qui correspond à un régime stable où la hauteur créée par la pompe correspond exactement à celle demandée par le réseau pour le débit correspondant.

Fonctionnement d'une seule pompe débitant sur une conduite unique : (figure 3F9)

Soit QH_c la caractéristique de l'ensemble de la canalisation d'aspiration et de refoulement.

avec
 QH_p : la caractéristique de la pompe
 $P(Q)$: caractéristique de la puissance absorbée
 $r(Q)$: caractéristique du rendement



(Figure 3F9) Une pompe débitant sur une conduite

A partir du point PF on peut avoir H_{PF} , Q_{PF} , r_{PF} , P_{PF} , .

Il faut toutefois s'assurer, que le point PF reste nettement à gauche de la zone de cavitation.

fonctionnement d'une pompe débitant sur un réseau important (plusieurs canalisations) (Figure 3F10):

Soit une pompe centrifuge P qui alimente un réseau comportant un tronc commun AB et qui se divise en deux tronçons BC et BD qui débouchent dans deux réservoirs R_C et R_D aux altitudes respectives (H_C et H_D) tel que $H_C > H_D$.

Soit QH_P la courbe caractéristique de la pompe à la vitesse de rotation N.

Les deux tronçons BC et BD fonctionnent en parallèle donc on peut avoir la caractéristique, $BC + BD$ soit BCD.

La partie AB peut être diminuée de la caractéristique de la pompe (pour chaque débit considéré, on diminue la charge du tronçon AB de celle de la caractéristique de la pompe)

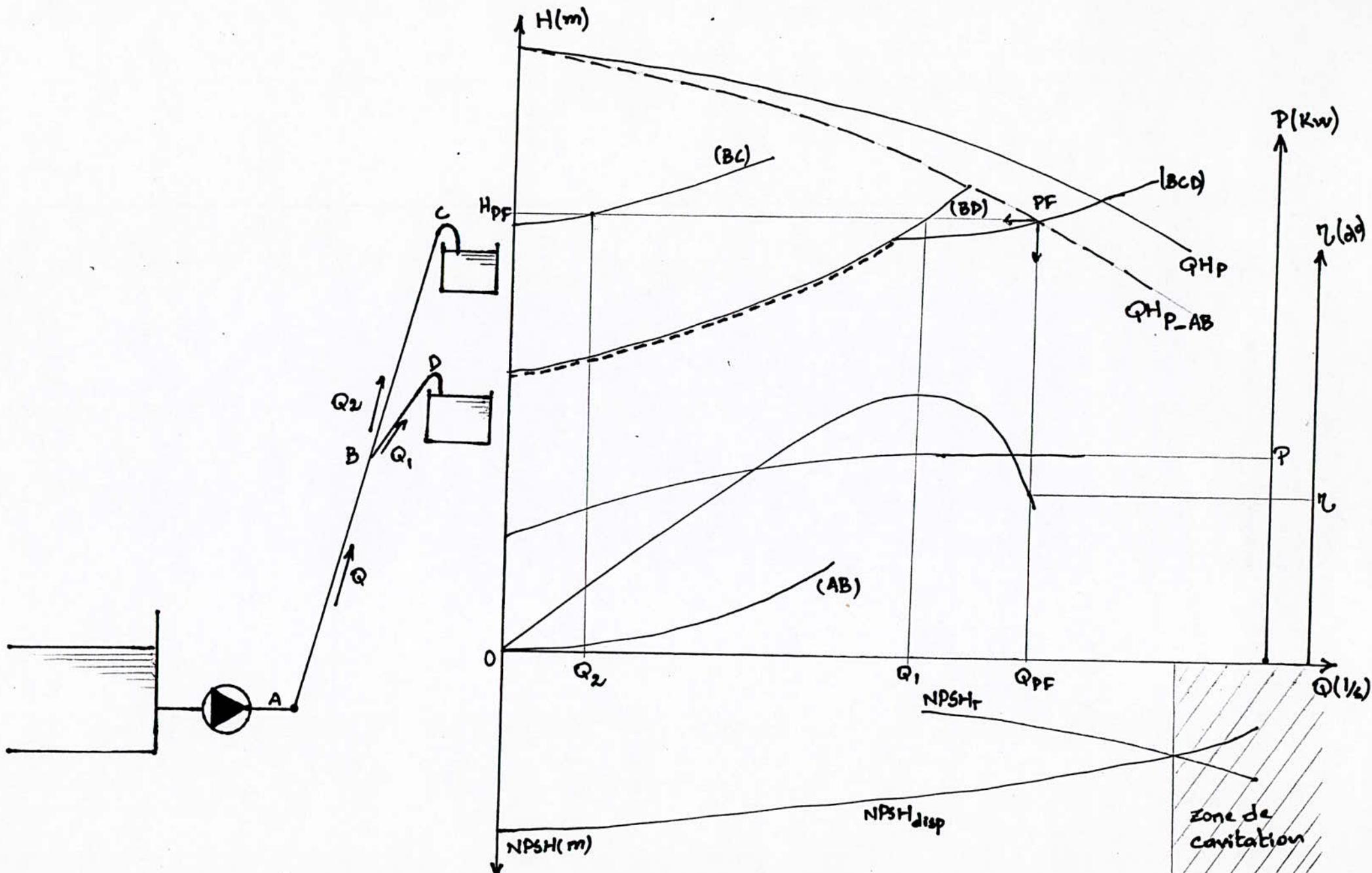


Figure: 3F10 Pompe en service sur un reseau de canalisation

L'intersection de QH_{BCD} et QH_{P-AB} donne le point de fonctionnement PF.

Si on connaît les caractéristiques de la puissance et du rendement de la pompe à la vitesse considéré, on obtient systématiquement les valeurs P et r , (sans oublier de vérifier la non cavitation de la pompe).

Fonctionnement de plusieurs pompes parallèles sur un réseau (Figure 3F11):

Soit QHP_1 et QHP_2 , les caractéristiques des deux pompes P1 et P2.

Soit également P1 et P2, r_1 et r_2 , les caractéristiques des puissances absorbées et des rendements de chacune de ces pompes pour leurs vitesses de rotation données.

Pour obtenir la caractéristique $QHP_{1,2}$ nous devons sommer les débits pour la même charge.

Cette caractéristique coupe celle de la conduite en PF qui est le point de fonctionnement recherché de l'ensemble des deux pompes sur le réseau.

En menant la parallèle à l'axe des abscisses passant par PF, celle ci coupera respectivement QHP_1 et QHP_2 en PF_1 et PF_2 qui sont les points de fonctionnement de chaque pompe, on en déduit par la suite Q_1 et Q_2 , les puissances P_1 et P_2 et les rendements r_1 et r_2 de chacune des deux pompes.

Toute fois, il faut s'assurer de la non cavitation des deux pompes.

Fonctionnement d'une ou plusieurs pompes sur une conduite avec vanne réglée (Figure 3F12):

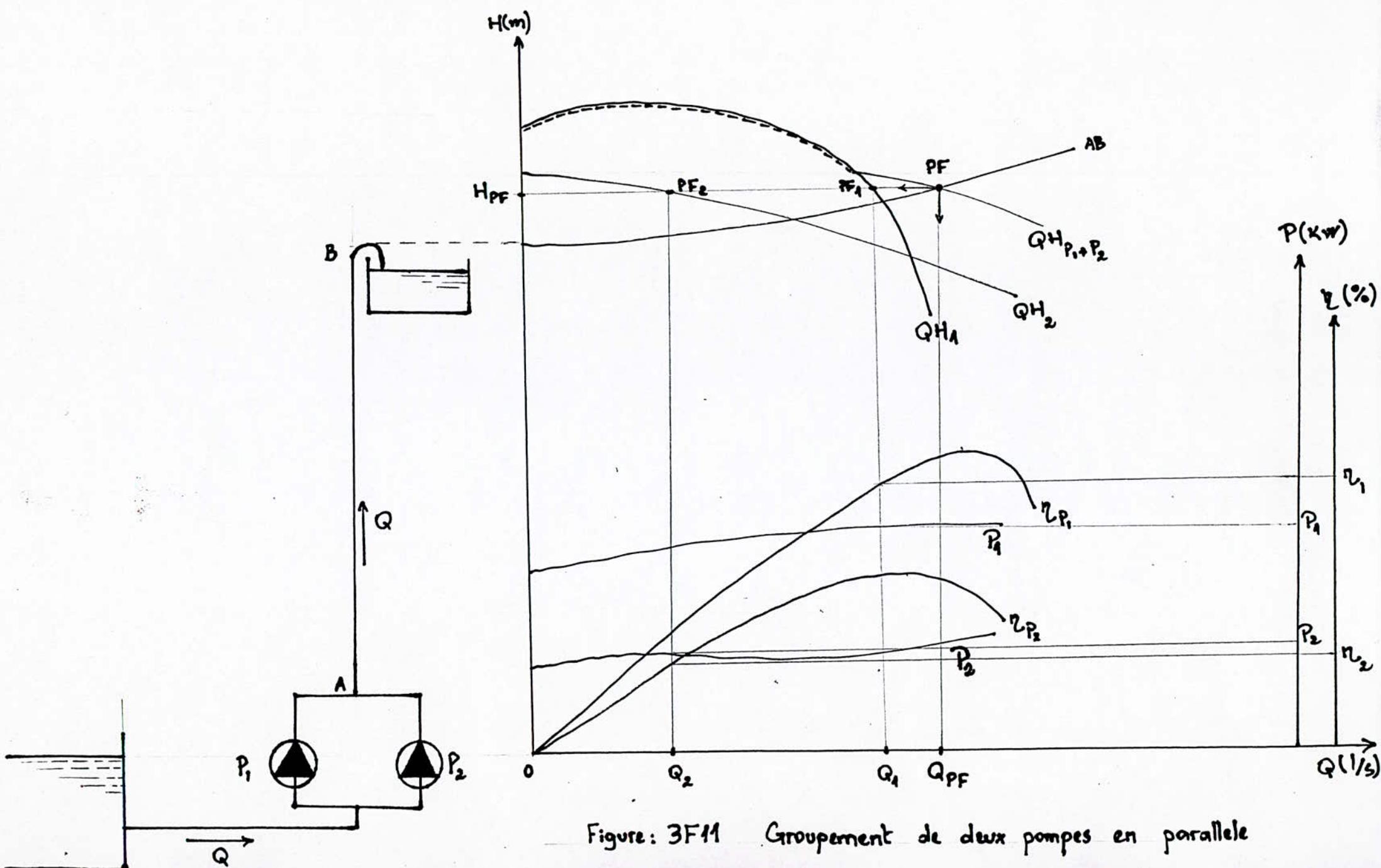


Figure: 3F11 Groupement de deux pompes en parallele

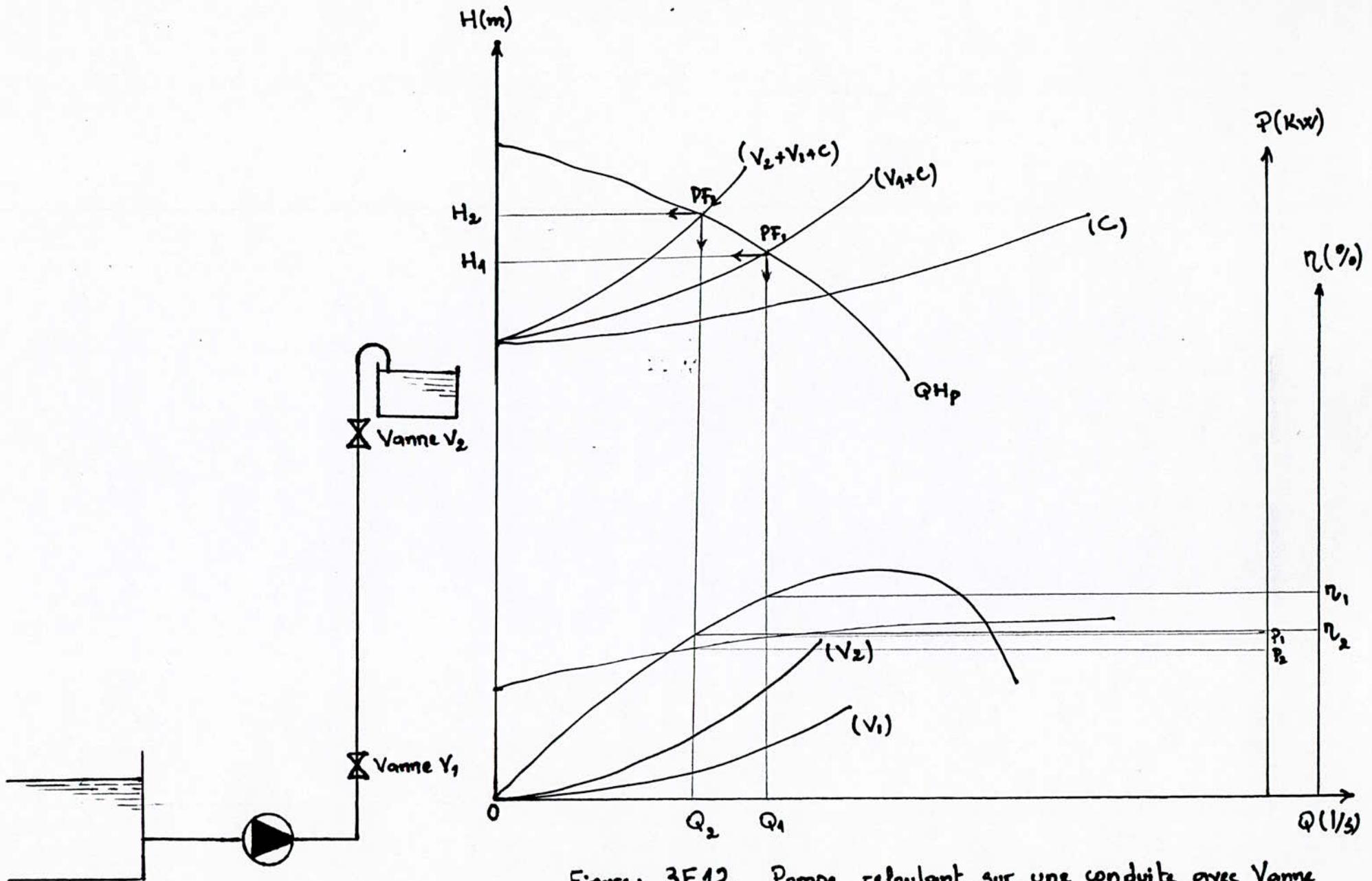


Figure: 3F12 Pompe refoulant sur une conduite avec Vanne

3.2.4.2 Problèmes rencontrés durant l'exploitation d'un réseau :

Lors de l'exploitation d'un réseau d'AEP, nous pouvons rencontrer plusieurs problèmes que nous résumons comme suit :

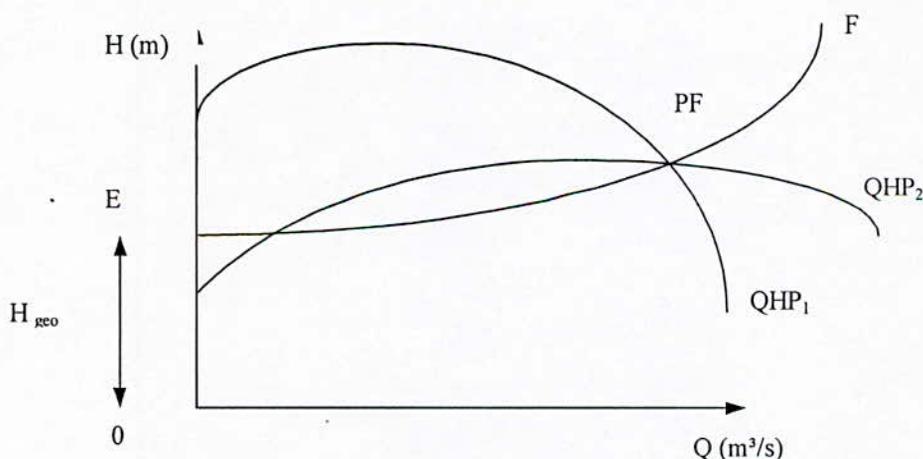
3.2.4.2.1 Incidence de la courbure des caractéristiques de la pompe sur son exploitation :

Nous avons vu précédemment que les caractéristiques $H(Q)$ et $P(Q)$ pouvaient présenter des formes variables qui vont influencer sur l'exploitation de la pompe. Nous allons voir l'influence de la forme de ces caractéristiques on nous plaçant aux divers points de vues suivants :

a) Stabilité de marche :

Nous considérons deux pompes présentant pour un même point de fonctionnement PF les caractéristiques HQP_1 et HQP_2 .

Soit la courbe EF la caractéristique du réseau sur lequel débite l'une des pompes (Graphe 3G4)



(Graphe 3G4) Stabilité de marche

Nous remarquons que si le débit diminuait en deçà de celui correspondant au point de fonctionnement PF, le fonctionnement de la pompe 1 sera stable car la hauteur nette fournie serait supérieure à celle absorbée par le réseau et la différence contribuerait à augmenter le débit,

alors que la pompe 2 son fonctionnement sera instable puisque pour la moindre diminution du débit la pompe entre en régime de barbotage.

b) Démarrage de la pompe :

Si nous revenons à la figure précédente, l'ordonnée de la courbe de la pompe 2 à l'origine est inférieure à la hauteur géométrique d'élévation OE. Il en résulte que le démarrage de cette pompe est impossible puisque à un débit nul, la hauteur fournie par la pompe est inférieure à $H_{geo} = OE$. Pour réaliser le démarrage on peut utiliser un by-pass comptant une faible hauteur géométrique d'élévation et une forte perte de charge en créant une faible section.

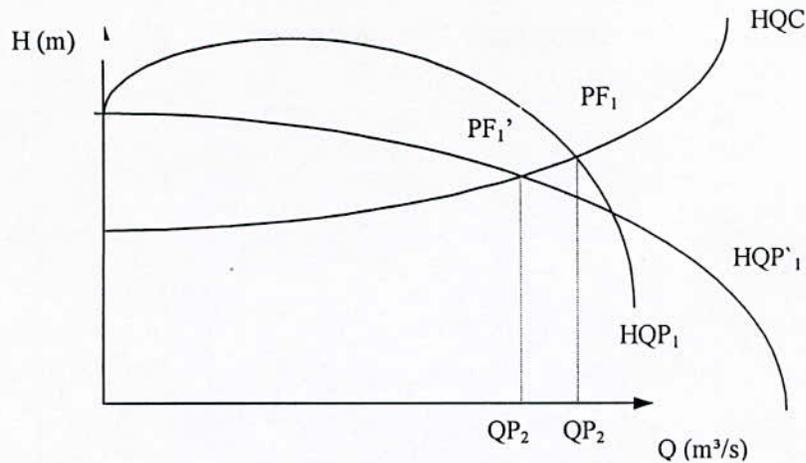
c) Mise en service de plusieurs pompes en parallèle :

Les courbes caractéristiques des différentes pompes peuvent présenter des allures plates ou plongeantes qui influent sur l'exploitation du réseau de plusieurs manières :

Dans certains cas, l'abscisse du point de fonctionnement de deux pompes peut être inférieure à celui d'une seule pompe c'est à dire qu'avec deux pompes on débiterait moins qu'avec une seule (Graphe 3G5).

Soit HQC caractéristique du réseau sur lequel débite une pompe dont la caractéristique est HQP_1 , le point de fonctionnement sera en PF1.

En utilisant une deuxième pompe semblable en parallèle sur le réseau, la caractéristique résultante sera HQP_1' . Le point de fonctionnement sera en PF_1' .

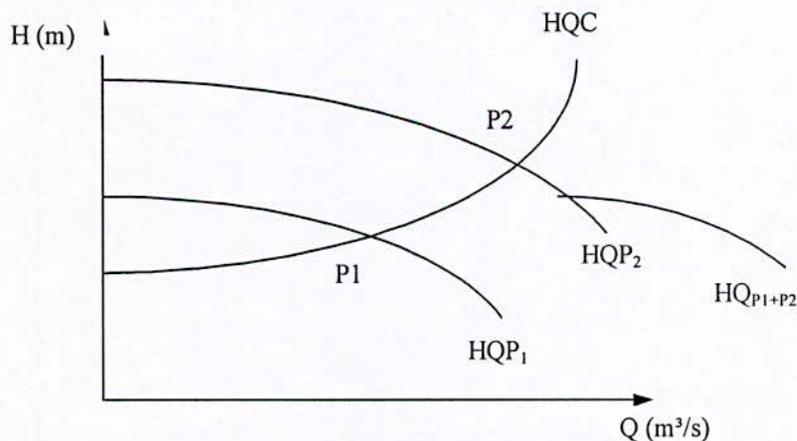


(Graphe 3G5) Pompes en parallèle

Soit HQ_C la caractéristique de la canalisation de refoulement.

Soit HQP_1 et HQP_2 les caractéristiques respectives de deux pompes ayant chacune comme point de fonctionnement PF_1 et PF_2 , la résultante des deux pompes donne la courbe $HQ(P_1+P_2)$ (Graphe 3G6).

Nous remarquons que la courbe résultante ne coupe pas la caractéristique du réseau, le point de fonctionnement des deux pompes reste en PF_1 , c'est à dire, seule la pompe P_1 débite alors la pompe P_2 barbote et provoque un échauffement du liquide, ce qui est nocif pour la pompe.



(Graphe 3G6) Pompes en parallèle

d) Variation dans les conditions de pompages :

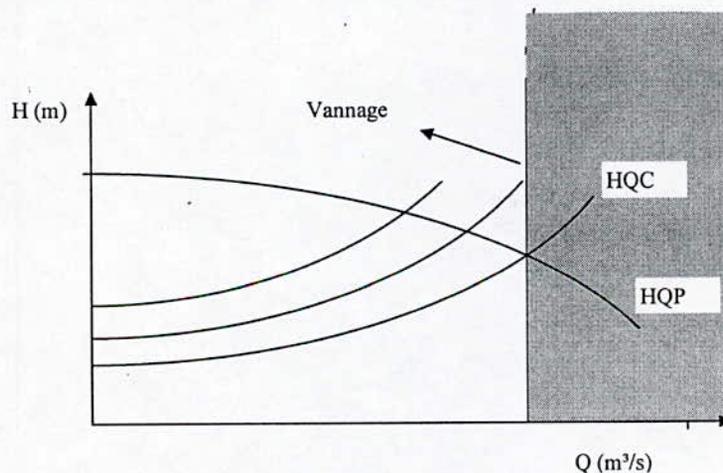
Dans le cas de hauteurs géométriques d'élévations variables (dans le cas de pompage dans une rivière par exemple) la caractéristique du réseau se

verra déplacée, d'où changement du point de fonctionnement ce qui modifiera les paramètres caractéristiques de la pompe relativement à chaque point de service.

3.2.4.2.2 Risque de cavitation :

Les risques de cavitation peuvent survenir, soit lors du remplissage de la conduite de refoulement, soit à l'occasion de la réduction du nombre de pompes couplées en parallèle.

- Dans le 1^{er} cas, la manipulation du robinet vanne disposé à la sortie de la pompe fait varier le débit et par conséquent le déplacement du point de fonctionnement. Tout en restant sur la caractéristique HQP de la pompe, c'est à dire, c'est la caractéristique HQC du réseau qui se verra déplacé, les débits risquent d'être importants et les points de fonctionnement successifs ont de fortes chances, au début du remplissage, de se retrouver en plein zone de cavitation. Pour éviter cette dernière on peut refouler de façon à éloigner les points de fonctionnement de la zone critique (Graphe 3G7).

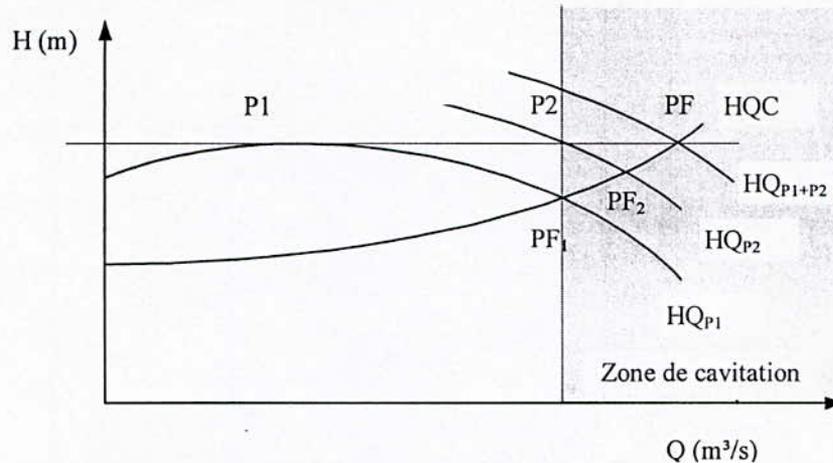


(Graphe 3G7) Prévention de la cavitation avec « vannage »

- Dans le 2^{ème} cas, en cas d'arrêt de pompe sur un ensemble fonctionnant en parallèle, il y a risque de cavitation, (Graphe 2G8).

Soient :

Avec :
 HQC : Caractéristique du réseau.
 HQP1 : Caractéristique de la pompe P1.
 HQP2 : Caractéristique de la pompe P2.



(Graphe 3G8) Pompe en parallèle - risque de cavitation

avec :
 PF : Point de fonctionnement des deux pompes fonctionnant simultanément
 PF₁, PF₂ points de fonctionnement de chaque, pompe.

On remarque que l'arrêt d'une des deux pompes déplace la courbe de l'autre pompe dans la zone de cavitation.

- Rendement maximal : Dans les courbes caractéristiques des pompes, nous avons constaté que chaque pompe présentait une zone de rendement maximal, alors dans le souci d'éviter tout gaspillage d'énergie, on doit choisir une caractéristique de la pompe tel qu'elle fonctionne dans la zone d'un rendement maximal.

Remarque :

On peut conclure qu'il n'existe pas une forme de courbe caractéristique qui serait à conseiller. Le choix est fait en fonction des conditions particulières du problème.

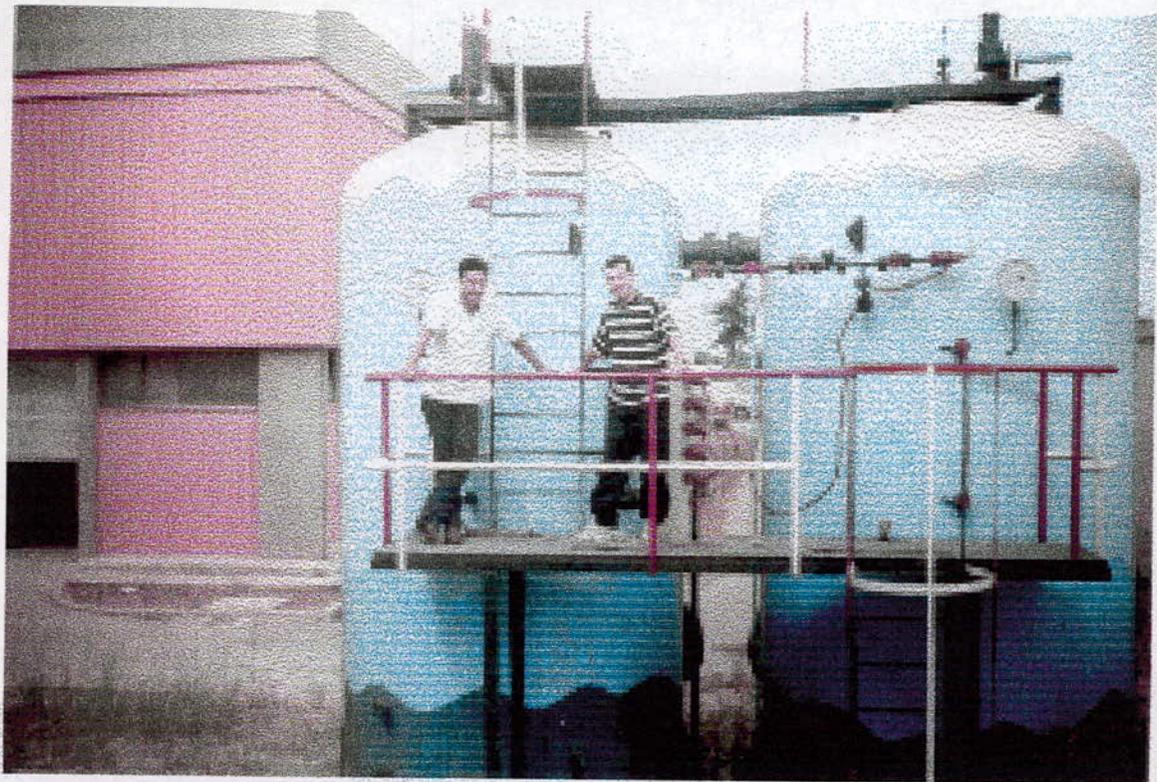
3.2.5 Réglage du fonctionnement des pompes sur un réseau

Avant d'entamer cette partie, il est à rappeler que pour arriver au bon fonctionnement des pompes, il faut toujours étudier le système complet

(aspiration + refoulement + pompes) et essayer de régler le fonctionnement des pompes pour arriver à satisfaire les débits demandés avec le maximum de rendement possible et surtout sans cavitation.

Pour cela, on peut procéder à la modification de l'un des paramètres de fonctionnement afin d'adapter la pompe aux conditions de travail variables. Parmi ces paramètres qu'on peut changer on a :

1. Changement de la vitesse de rotation :
Si le moteur d'entraînement est à vitesse variable, on peut modifier le nombre de tours pour déplacer le point de fonctionnement, et adapter la pompe de la meilleure manière possible au réseau.
2. Le Vannage :
Pour augmenter la hauteur manométrique, on peut procéder à la fermeture partielle de la vanne de refoulement, et là aussi, on aura le point de fonctionnement du système qui se déplacera, certes, on aura une perte d'énergie supplémentaire, mais un bon fonctionnement de la pompe (pas de cavitation).
3. Changement des conduites :
Si on a la conduite de refoulement qui n'est pas encore placée, on peut la choisir de manière à avoir le meilleur fonctionnement possible des pompes, de sorte que le point de fonctionnement soit loin de la zone de cavitation.
4. By-pass :
Au cas où il y aurait un débit desservi plus grand que la demande, parfois, on trouve l'intérêt d'utiliser un by-pass entre le refoulement et l'aspiration.
5. Changement effectué sur la roue :
Dans certaines pompes, on peut régler le débit par la modification de l'angle d'inclinaison des ailettes de la directrice ou les aubes de la roue (rognage - affûtage).



2eme PARTIE : APPLICATION



4. Description du SPIK et présentation de la SP Garidi

Jusqu'en avril 1987, les eaux souterraines sont restées la seule source de production et ce n'est qu'après, que la capitale se voit renforcée par la mobilisation d'une quantité supplémentaire d'eau en provenance des Oueds Isser et Keddara.

Les eaux superficielles constituent donc une source complémentaire pour l'alimentation en eau potable du grand Alger.

Plus de 500 km de conduites en fonte, acier ou béton constitue le réseau de production, à cela, s'ajoutent d'autres ouvrages tel que les réservoirs et les stations de pompage.

4.1 Le système SPIK (figure 4F1)

Depuis avril 1987, date de mise en œuvre du système de production d'eau : Isser - Keddara - Boudouaou (SPIK), les eaux drainées par les oueds sont collectées par les trois barrages suivants :

- Keddara, capacité de stockage : 145 millions de m³
- Béni Amrane, capacité de stockage : 16 millions de m³
- Hamiz, capacité de stockage : 17 millions de m³

Ces eaux proviennent de l'oued Isser et sont emmagasinées dans le barrage de Béni Amrane, leurs transfert jusqu'au barrage de Keddara est assuré par la station de pompage de Béni Amrane, dont la capacité de refoulement est de 7m³/s. en plus des eaux de l'oued Isser, le barrage de Keddara reçoit également celles de l'oued Keddara ainsi que le trop plein du barrage du Hamiz destiné à l'agriculture.

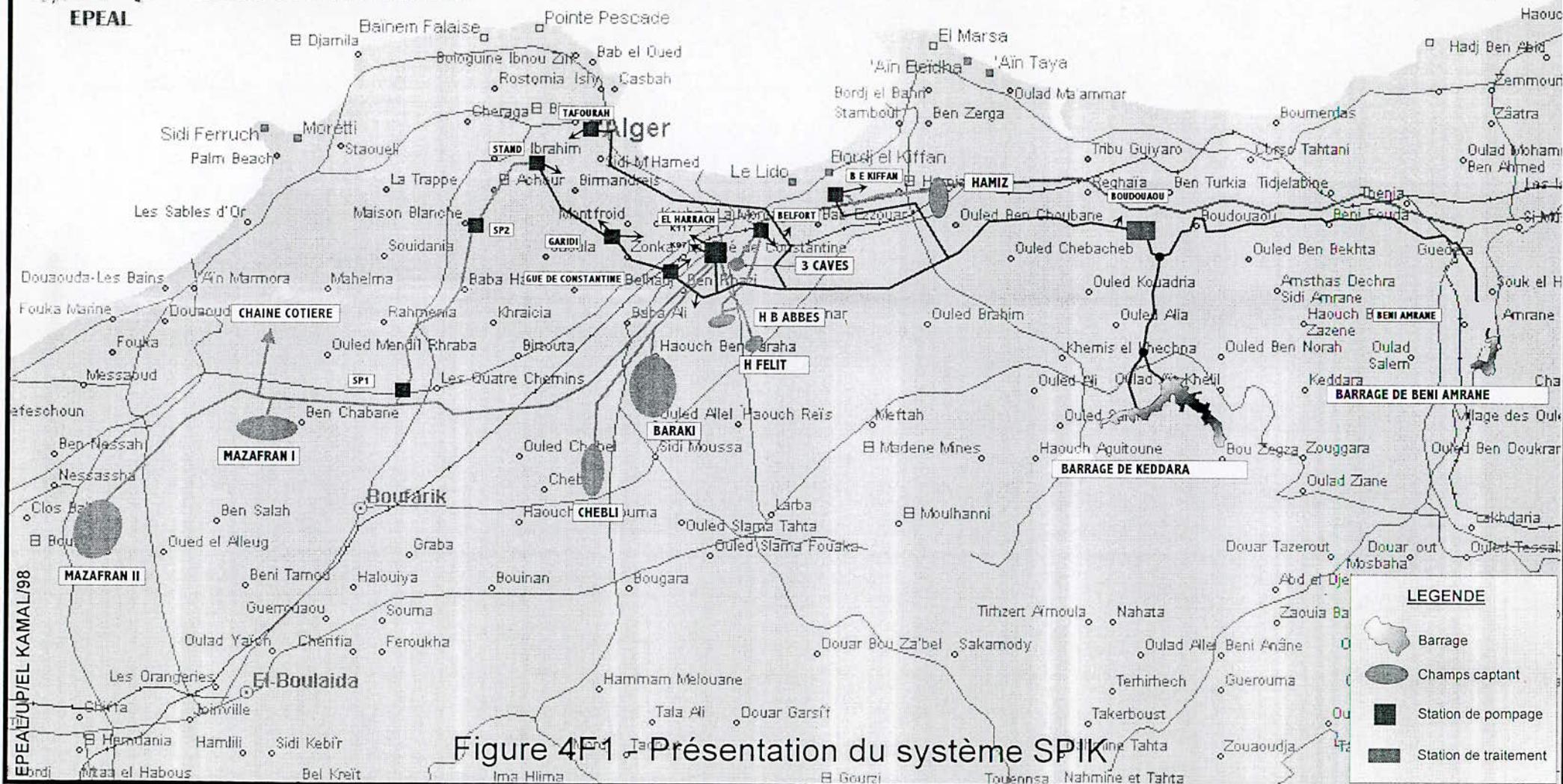
Le transfert de l'eau du barrage de Keddara vers la station de traitement de Boudouaou se fait gravitairement, la station de traitement avec 540 000 m³/jour, soit 6.25 m³/s est un ouvrage essentiel dans la chaîne de production d'eau à partir des eaux de surface.



EPEAL
Unité Production

SCHEMA DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE DU GRAND ALGER

Mer Méditerranée



EPEAL:Unité Production Centre

Siège Unité: Station de Pompage Garidi BP 69
Tél/Fax: 58 69 49 Tél: 58 09 50 - 28 28 44

90 forages:

Capacité de 140000 m³/jour

Station de traitement: Capacité de 640000 m³/jour

Capacité totale
production d'eau:
780000 m³/jour

500 km de conduites linéaires. 34 stations de pompage.

Par son processus de traitement approprié, elle élimine tous les éléments indésirables contenus dans l'eau brute ; cela se matérialise par l'injection de produits chimiques dans l'eau.

4.1.1 Transfert de l'eau

L'eau provenant de la station de traitement de Boudouaou, arrive dans des conduites dont le diamètre peut atteindre 2000 mm jusqu'aux réservoirs principaux qui sont :

- Complexe d'El Harrach (prise d'eau)
- Réservoir de Bordj El Kiffan.
- Réservoir de Gué de Constantine.

Pour atteindre les abonnés habitant les hauteurs d'Alger, le transfert de l'eau s'effectue au moyen de stations de pompage pour arriver enfin aux réservoirs de tête alimentant les différents réseaux de distribution.

4.1.2 Composantes du système SPIK

Le système SPIK est composé d'éléments destinés à remplir les différentes fonctions nécessaires à la production d'eau potable.

a / Captage :	Barrage Béni Amrane Barrage Keddara
b / Stockage :	Eau brute (non traitée) : Barrage Keddara Eau traitée : Réservoir de la station de Boudouaou Réservoir Gué de Constantine
c / Traitement :	Station de traitement de Boudouaou
d / Elévation	Stations de pompage : Béni Amrane Gué de Constantine Garidi Tafourah
e / Transport	Conduite d'adduction de Béni Amrane jusqu'au réservoirs de tête

4.1.3 Réseau d'adduction

Particularité du réseau d'adduction :

Le réseau a été conçu de façon à présenter une grande sécurité dans l'exploitation ainsi qu'une certaine souplesse, un certain nombre de mesures a été pris en compte pour pallier une éventuelle panne (casse de conduite) ou pour s'adapter à des conditions variables.

a) Conduites parallèles :

Un certain nombre de conduites a été doublé, on peut ainsi utiliser l'une ou l'autre des conduites. On peut aussi les utiliser simultanément quand le débit devient assez important, c'est le cas de : Gué de Constantine, Garidi, Boudouaou, Alger.

b) Noeuds de vannes :

Sur le réseau, un certain nombre de noeuds de vannes a été disposé, on peut ainsi isoler une conduite totalement ou partiellement, on obtient alors un grand nombre de possibilités de marche.

c) Vannes de réglage :

Des vannes de réglage sont disposées à l'arrivée des réservoirs et permettent ainsi d'adopter la marche du système aux débits demandés.

d) Nombre de pompes :

Dans les stations de pompage, le nombre de pompes pouvant fonctionner simultanément est variable, ceci permet de s'adapter dans une certaine mesure aux variations du débit.

4.1.4 Stations de pompage

Le refoulement des eaux des barrages se fait au moyen de quatre stations de pompage.

a) Station de pompage de Béni Amrane :

La station de pompage de Béni Amrane est destinée à pomper l'eau brute (non traitée) du barrage de Béni Amrane jusqu'au barrage de Keddara avec une capacité de refoulement de 7 m³/s, pour cela, huit pompes sont disponibles, dont six au maximum peuvent fonctionner simultanément, les deux autres sont de secours.

b) Station de pompage de Tafourah :

Cette station fonctionne en surpresseur, c'est à dire que les pompes aspirent directement de la conduite issue de la station de traitement de Boudouaou, à l'aspiration, il n'existe pas de réservoir, l'eau est refoulée vers le réservoir de Télémly avec une capacité de 2.2 m³/s.

c) Station de pompage de Gué de Constantine :

Cette station est alimentée gravitairement à partir de la station de traitement de Boudouaou, l'eau est stocker dans un réservoir de 20 000 m³ et refoulée ensuite avec une capacité de 2.2 m³/s vers deux direction :

Ain Naadja : Le refoulement s'effectue au moyen de trois pompes dont une de secours.

Garidi : Le refoulement s'effectue au moyen de trois pompes dont une de secours

4.2 Présentation de la SP Garidi

A partir de la station de pompage Gué de Constantine, l'eau est pompée jusqu'au réservoir de la station de pompage Sidi Garidi à environ 6 km pour être distribuée vers trois directions comme suit :

- Vers Vieux Kouba (sud d'Alger)
- Vers Réservoir Birkhadem (sud d'Alger)
- Vers Réservoir Stand (sud ouest d'Alger)

Pour la direction de Vieux Kouba, l'eau va par gravitation, tandis que pour les directions de Birkhadem et Stand, l'eau est transportée par pompage.

L'objectif principal de la station Sidi Garidi est donc l'approvisionnement permanent en eau potable des réservoirs Stand et Birkhadem.

Nous nous intéressons dans notre étude juste à la partie Garidi Stand qui comprend deux piquages sur son trajet, l'un vers Djenane Malik à environ 7.5 km de la station et qui rentre dans le programme de l'extension et l'autre vers Château-neuf à environ 10 km de la station de pompage.

Actuellement, il n'y a que le réservoir de Stand qui est alimenté sans problème alors que la mise en service du tronçon Château-neuf cause des problèmes dans le système de refoulement.

4.2.1 Caractéristiques techniques

a) Réservoir d'eau potable (Figure 4F2)

Ce réservoir sert de bêche d'aspiration, il est du type semi enterré, il est construit en béton armé et est de forme rectangulaire (110.75 x 55.70 m). Ce réservoir présente une capacité de 25 000 m³ répartie en deux chambres symétriques de 12 500 m³ chacune.

Le niveau minimum du plan d'eau est de 132.5 m NGA alors que le niveau maximum est de 137.10 m NGA.

b) Disposition des conduites (Figure 4F2)

On peut résumer les caractéristiques techniques des conduites de la station, comme suit :

- Conduite d'arrivée d'eau au réservoir :

Diamètre de la conduite : DN 2000/1200 (2032 x 17.5 mm)

Nombre de tuyaux d'arrivée : 1 pcs

Capacité de la conduite : Q=2.025 m³/s

- Conduite d'arrivée d'eau à la station de pompage :

Diamètre de la conduite : DN 2000/1200 (2032 x 17.5 mm)

Nombre de tuyaux d'arrivée : 1 pcs

Capacité de la conduite : Q=20.25 m³/s

- Conduite de déversement :

En cas de défaut de la régulation du niveau du réservoirs, l'eau s'écoule dans un déversoir à partir duquel elle est évacuée au réseau d'égout et cela à travers une conduite en acier.

Diamètre de la conduite : DN 1200/1219 x 10.3

Nombre de tuyaux d'évacuation : 1 pcs

Capacité de la conduite : 1.5 - 2 m³/s

- Collecteur d'aspiration dans la station de pompage :
Le collecteur est le même pour Stand et Birkhadem.
Diamètre du collecteur : DN 1200/1000/800/500
- Collecteur de refoulement :
Diamètre du collecteur pour Birkhadem : DN 500/900
Diamètre du collecteur pour Stand : DN 500/800/1100

Legende

 Vanne Papillon

 Debitmètre

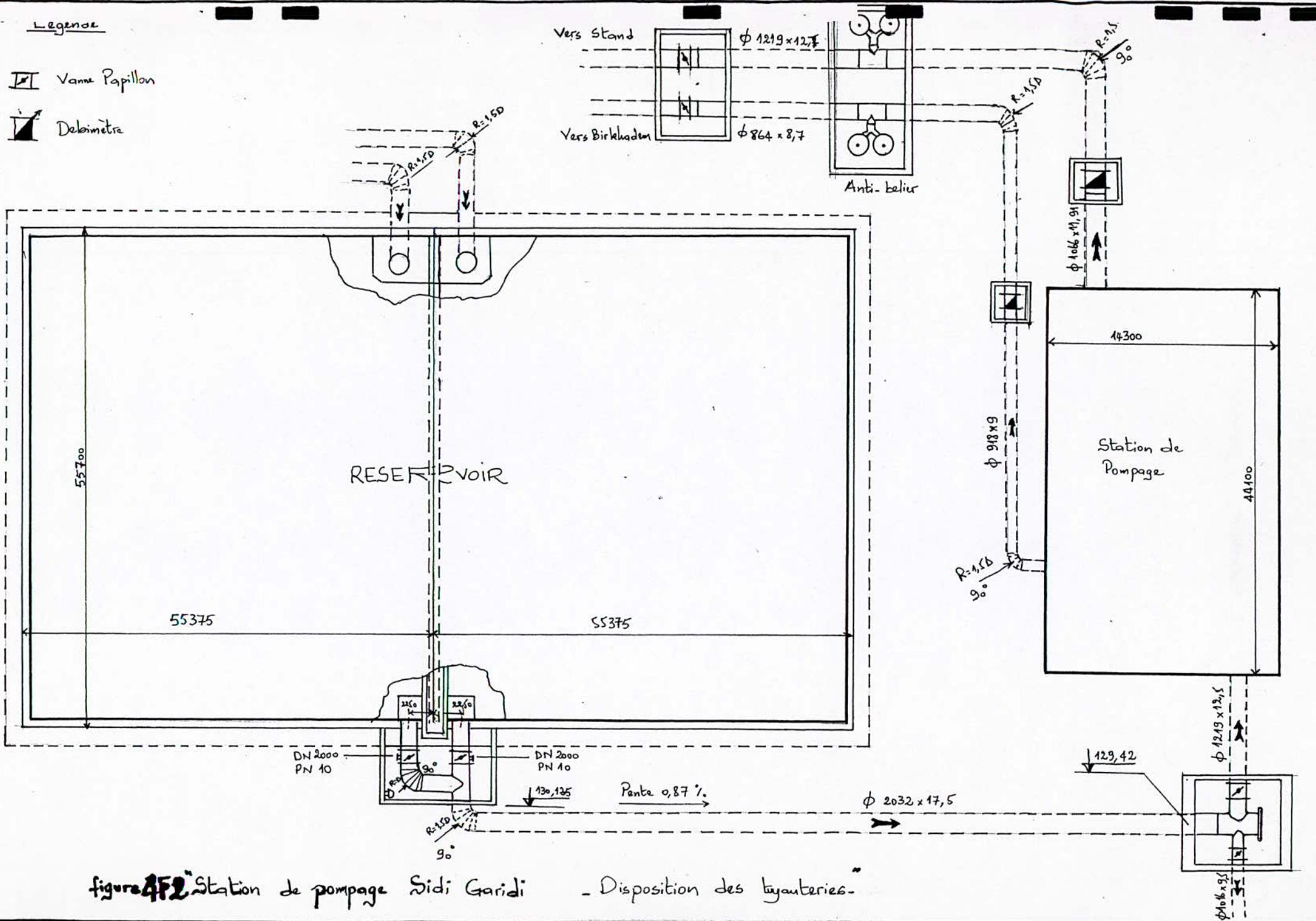


Figure 4F2 Station de pompage Sidi Garidi - Disposition des tuyauteries -

c) Usine élévatoire (Figure 4F3) :

La station comporte deux parties, une partie pour Birkhadem et une partie pour Stand, cette dernière comporte cinq plate formes dont deux vides (prévues pour l'exstension) et trois équipées par des groupes motopompes dont les caractéristiques techniques sont les suivantes.

Pompes :

Modèle de la pompe	CDM 350 x 250
Type	Horizontal, spirale à double flux (Annexe A1)
Nombre total des pompes	2+1 / 5-2
Fabriquant	Ebara Corporation, Japon
Capacité d'une pompe	1175 m ³ /h
Capacité totale de 4 pompes	4700 m ³ /h
Hauteur de pompage	195 m
Nombre de tours	1490 min-1 (les essais sur la pompe 350x250 sont présentés dans (Annexe A2)

Moteurs :

Fabriquant	Rade Končar, Yougoslavie
Type	horizontal
Nombre total	3 pcs /5-2/
Puissance	970 kw
Nombre de tours	1485 min-1
Tension	5500 v
Fréquence	50 hz

Les courbes caractéristiques de la pompe CDM 350x250 sont données dans (Graphe 4G1).

LEGENDE

- 1- Pompe centrifuge
- 2- Clapet d'Anti-retour
- 3- Vanne papillon
- 4- Joint demontage
- 5- Joint demontage
- 6- Vanne à commande électrique

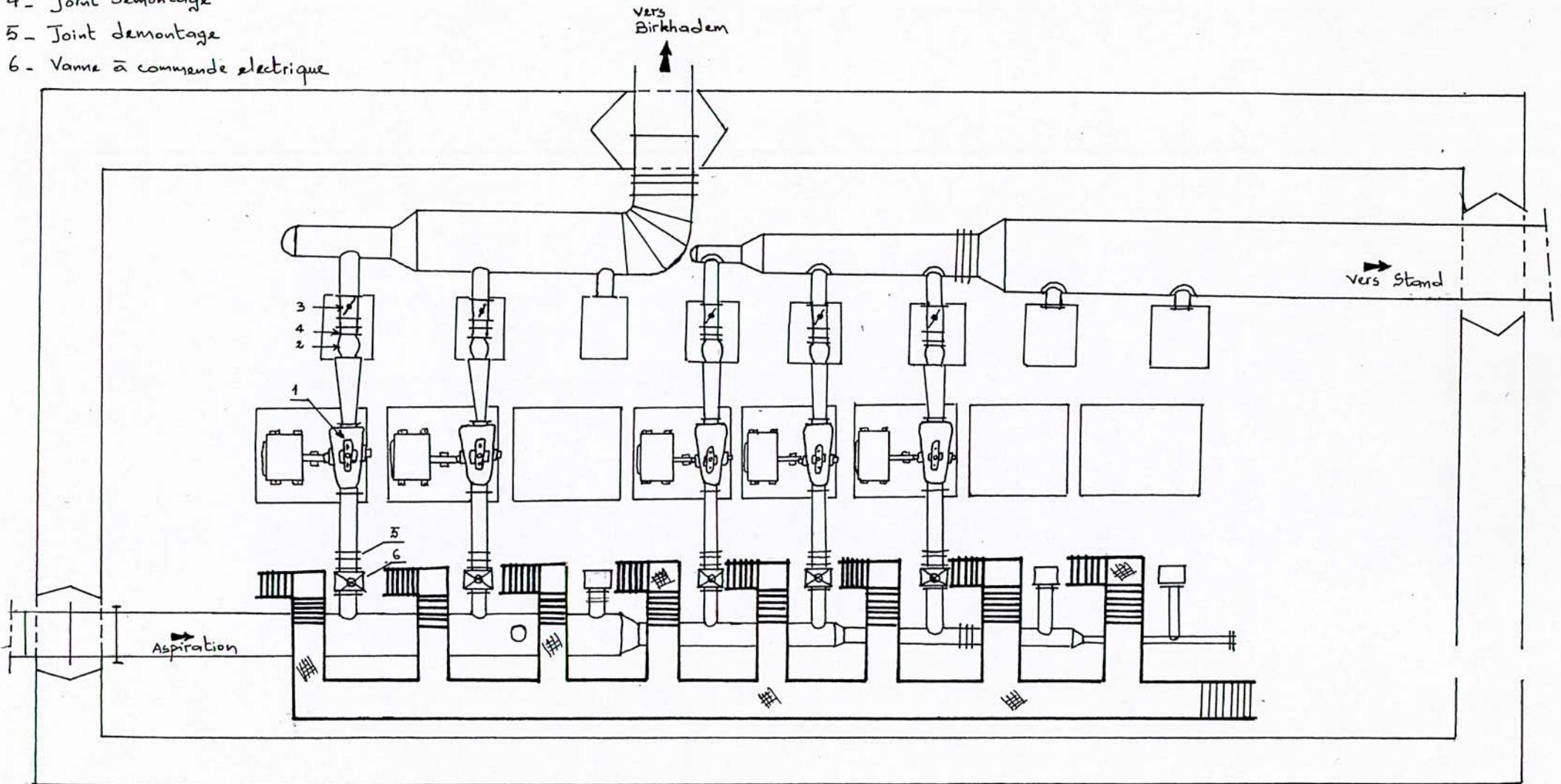
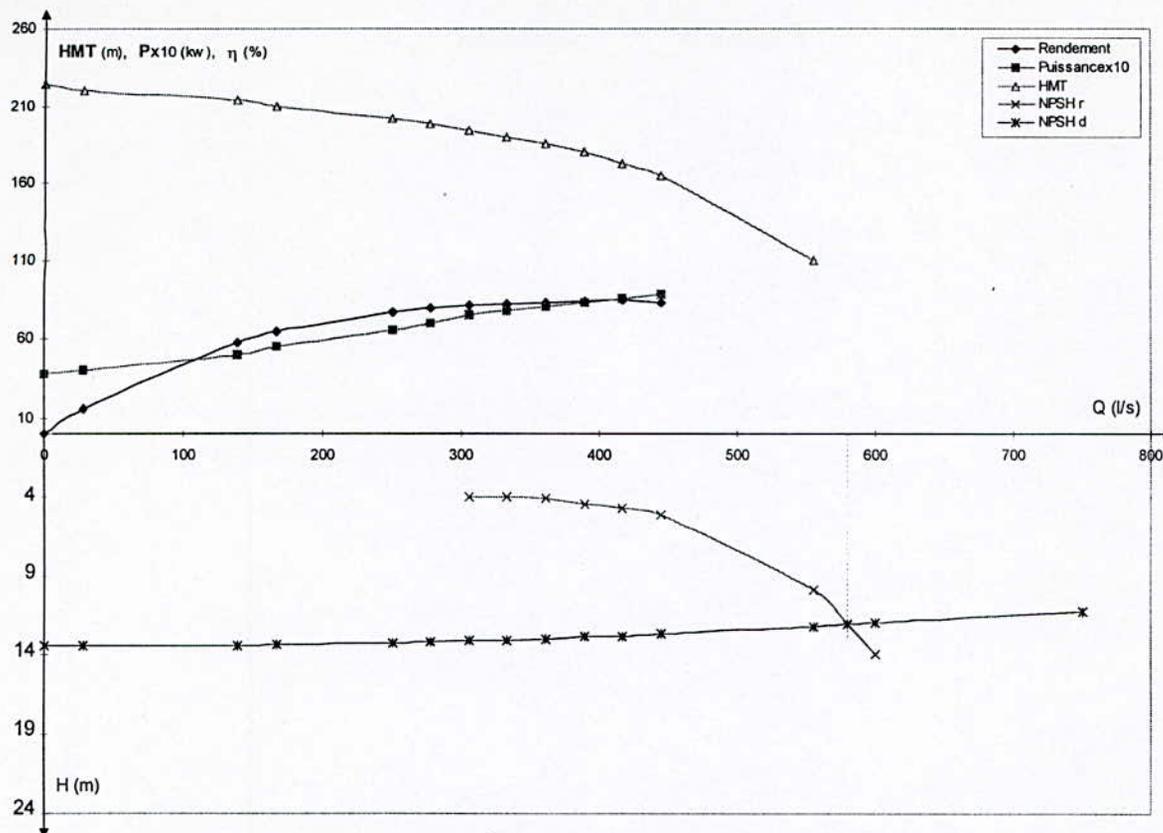


figure 4F3 " Usine elevatoire - Disposition des pompes - "



(Graphe 4G1) Courbes caractéristiques de la pompe CDM 350x250

d) Système anti-bélier :

Les récipients anti béliers sont installés à environ 25 m de la station, ils présentent les caractéristiques techniques suivantes :

S	<u>Birkhadem</u>	<u>Stand</u>
Nombre de récipients	2 pcs	2 pcs
Diamètre	2600 mm	2600 mm
Hauteur	5400 mm	5400 mm
Capacité	25 m ³	25 m ³
Volume d'air initial	10 m ³	10 m ³
Niveau d'eau initial	137.10 m NGA	137.10 m NGA
Pression de service normale	5.5 bars	21.5 bars
Raccordement sur la conduite maîtresse	DN600 PN16	DN700 PN40
Nombre de raccords by-pass	DN300 PN16	DN400 PN40

e) Pompe de drainage :

Elles servent à évacuer les eaux en cas d'inondation causée par la cassure d'une conduite ou des fuites au niveau des joints. Le sol de la station

présentant une certaine pente qui aide à collecter les eaux et à les évacuer vers l'égout à l'aide de pompe qui sont présentées comme suit :

Modèle	150 DL 511
Fabriquant	Ebara Corporation, Japon
Type	centrifugée, immergée
Nombre total	2 pcs /1-1/
Capacité d'une pompe	Q=40 l/s
Hauteur de pompage	H=12m
Puissance moteur	N=11 kw
Nombre de tours	n=1500 min-1
Alimentation	380 v, 50 hz

f) Compresseur d'air système anti bélier :

Modèle	7T2 x 8
Fabriquant	Ingersoll Rand
Type	30 multi stage
Rendement	2 x 1.4 m ³ /min
Pression max	P=34 bars
Pression enclenchement	P ₁ =25 bars
Pression déclenchement	P ₂ =23 bars
Electro moteur puissance	N=10 kw, 380 v , 50 hz
Electro moteur Nb de tours	n=900 min-1
Electro moteur Type	IP23
Récepteur d'accueil	V=100 lit

Suivant ces débits on trouve trois tronçons distincts formant l'aspiration.

- Tronçon 1-6 : de la sortie du réservoir jusqu'au té vers Vieux Kouba
- Tronçon 6-10 : du té entrant à la station de pompage jusqu'au té qui va vers le dernier groupe de pompage vers Birkhadem
- Tronçon 10-15 : de té allant vers Birkhadem jusqu'à l'entrée de la première pompe (Figure 5F1).

Dans la station de pompage Sidi Garidi, les groupes motopompes fonctionnent suivant plusieurs combinaisons différentes (voir 5T1), car il faut satisfaire la demande des réservoirs terminaux tout en respectant les points suivants :

- Il faut éviter d'exploiter l'une des pompes plus que les autres.
- Il faut éviter l'enclenchement et le déclenchement répété des groupes motopompes.

Afin d'axer notre étude dans le cas le plus défavorable, nous avons résumé les variantes possibles de fonctionnement de la station dans le tableau suivant, et pour chaque cas, nous avons calculé les pertes de charge singulières et linéaires (Annexe A3 à A14).

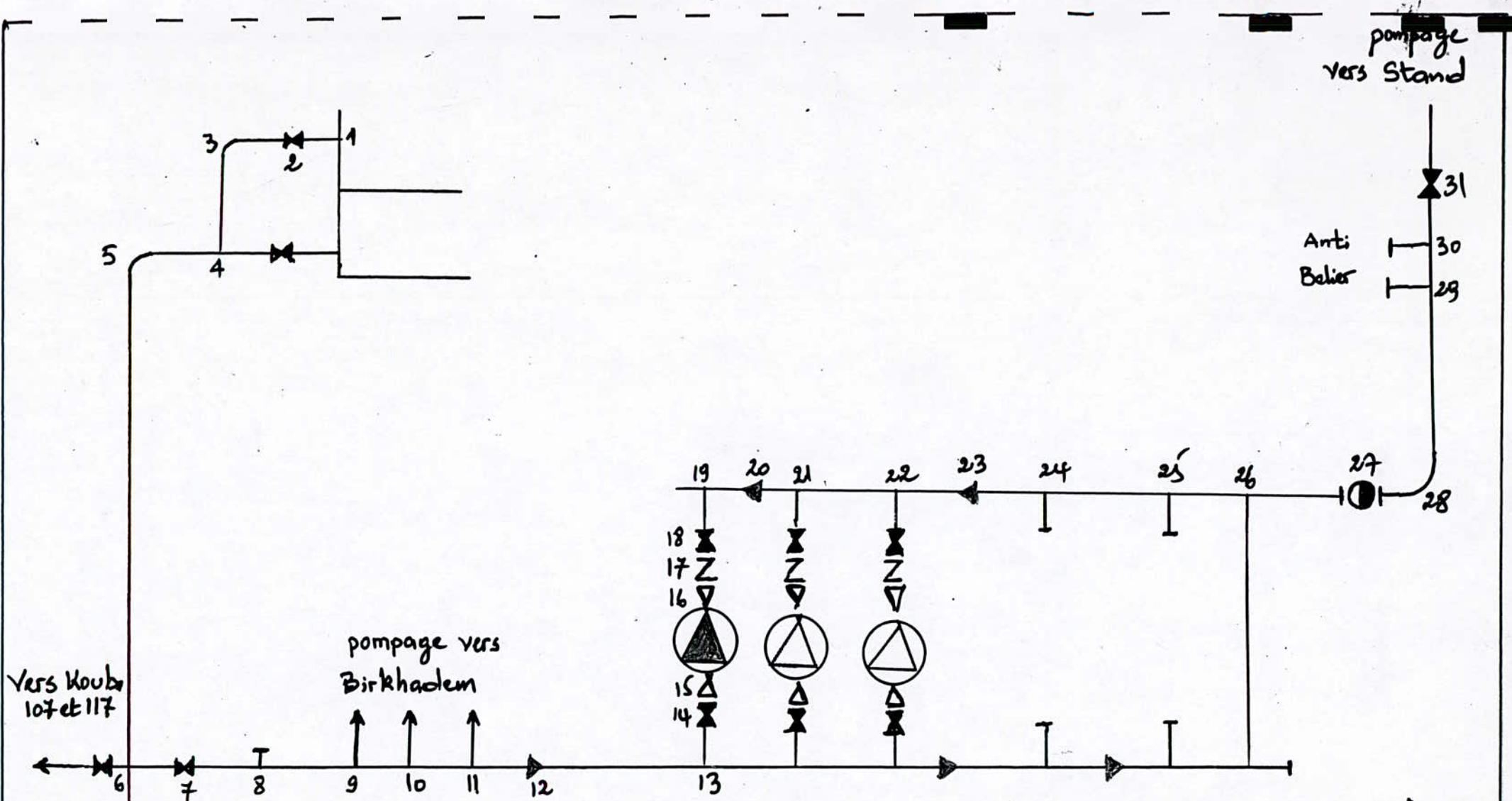


Figure 5 F1 Identification des longueurs, diamètres et délais.

Trançon	1-4	4-6	6-10	10-12	12-13	13-14	18-19	19-20	20-21	21-23	23-27	27-31
diamètre (mm)	2000		1200		1000	400	350	500	800		1100	1100
débit (l/s)	856,50	1713	1013	653		326,50			653			
Longueurs (m)	5,45	78,74	22,50	6,01	02,00			0,50	2,50	07,00	26,50	27,00

(Tableau 5T1) Variantes possibles de fonctionnement de la station

Cas	V. Kouba	Birkhadem	Stand, Château-neuf, Djenane Malik			PDC totales	Voir annexes
	Gravitaire	1 ^{er} groupe	1 ^{er} groupe	2 ^{eme} groupe	3 ^{eme} groupe		
1	Arrêt	Marche	Marche	Marche	Marche	2.7741	A3
2	Arrêt	Marche	Arrêt	Marche	Marche	2.6576	A4
3	Arrêt	Marche	Arrêt	Arrêt	Marche	2.5525	A5
4	Arrêt	Arrêt	Marche	Marche	Marche	2.7510	A6
5	Arrêt	Arrêt	Arrêt	Marche	Marche	2.6412	A7
6	Arrêt	Arrêt	Arrêt	Arrêt	Marche	2.5428	A8
7	Marche	Marche	Marche	Marche	Marche	2.8041	A9
8	Marche	Marche	Arrêt	Marche	Marche	2.6817	A10
9	Marche	Marche	Arrêt	Arrêt	Marche	2.5710	A11
10	Marche	Arrêt	Marche	Marche	Marche	2.7746	A12
11	Marche	Arrêt	Arrêt	Marche	Marche	2.6590	A13
12	Marche	Arrêt	Arrêt	Arrêt	Marche	2.5548	A14

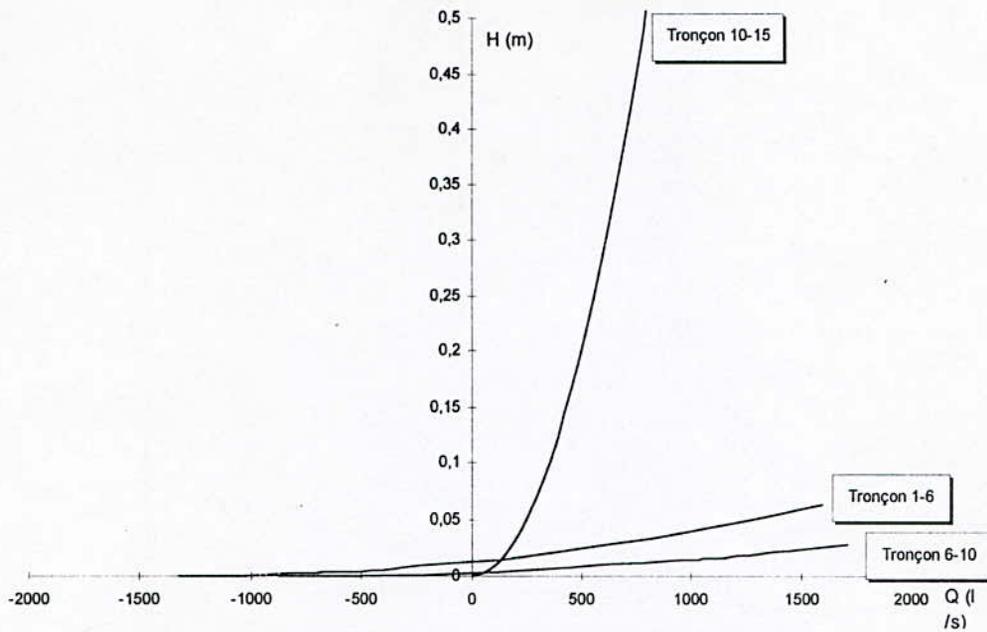
5.1.1 Etude de la partie aspiration

Pour cette étude, nous avons émis l'hypothèse que la partie aspiration s'étend de la sortie du réservoir jusqu'à l'entrée de la pompe, c'est à dire de 1 jusqu'à 15 (Figure 5F1).-

Après calcul de l'ensemble des pertes de charge pour chaque cas, nous avons constaté que le cas (8) présente le maximum de pertes de charge (pour le cas actuel), et vue que l'augmentation de cette dernière favorise l'apparition de la cavitation, donc tout notre calcul à été fais pour ce cas limite (alors que le cas (7) présente le maximum de pertes de charge pour le cas future).

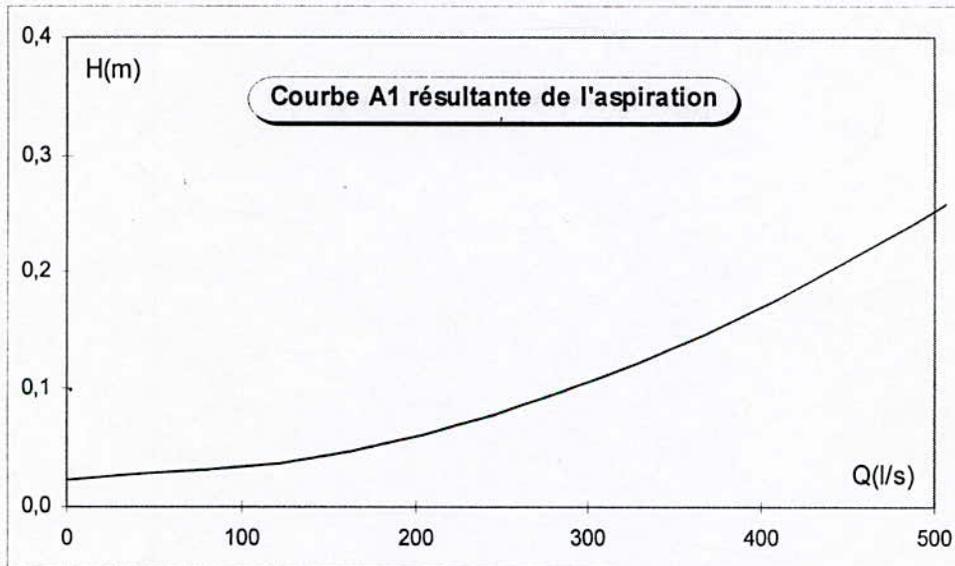
Dans le but d'avoir les courbes caractéristiques des différents tronçons (soit 1-6, 6-10, et 10-15), nous avons calculer les pertes de charge singulières (voir annexe A15) et cela pour des débits fixés à l'aide de la formule de COLBROOK (voir étude bibliographique), ainsi nous pouvons avoir un tableau récapitulatif (voir annexe A17) qui donne les pertes de charge totales correspondantes à chaque tronçon et cela pour un débit fixé.

A partir de ce tableau, on peut déduire les courbes caractéristiques spécifiques à chaque tronçon, tout en notant un décalage entre les courbes dues aux piquages sur l'aspiration vers Vieux Kouba et Birkhadem (voir graphe 5G1).



(Graphe 5G1) Courbe caractéristique pour chaque tronçon

En sommant les courbes du graphe 5G1 en série, nous aurons la courbe caractéristique résultante à l'aspiration soit A1 (voir 5G2).



(Graphe 5G2) Courbe A1 résultante de l'aspiration

5.1.2 Détermination de la zone de cavitation

Pour déterminer la zone de cavitation nous devons faire l'intersection des courbes $NPSH_{requis}$ (donnée par le constructeur) et le $NPSH_{disponible}$ (que nous devons déterminer), la partie pour laquelle $NPSH_r > NPSH_d$ définit la zone pour laquelle les pompes cavitent.

- Le $NPSH_{requis}$ pour les pompes EBARA CDM 350x250 est donné par le constructeur, nous pouvons le retrouver sur le graphe(4G1).
- Le $NPSH_{disponible}$ est donné par la formule déjà citée dans l'étude bibliographique qui est de la forme :

$$NPSH_{disponible} = \frac{(P - P_v)}{\rho g} H_{geo\ asp} - PDC_{asp}$$

Au niveau de la mer , on a la pression atmosphérique qui est :

$$P_{atm} = 10.33 \text{ m}$$

$$\text{à une altitude } h, \text{ on a : } P = P_{atm} - 0.0012 h$$

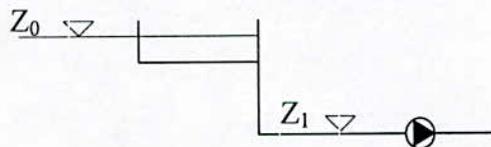
Dans notre cas, l'altitude à laquelle se trouve le réservoir est 137.10 m, donc on a une pression atmosphérique égale à : $P_{atm} = 10.17 \text{ m}$, la température de l'eau est de l'ordre de 12 à 15°, en prenant 18°, on trouve une pression de vapeur, $P_v = 0.2 \text{ m}$, donc pour notre cas à 100 m environ de la surface de la mer, on peut prendre :

$$NPSH_{disp} = 10 - H_{asp} - h'_{asp}$$

$H_{asp} = Z_0 - Z_1$ dans notre cas, on a une aspiration en charge donc ($H_{asp} > 0$).

Pour une aspiration en dépression sous la hauteur H_a ($Z_0 - Z_1$) est négative.

$H_{asp} = Z_0 - Z_1$ dans notre cas ou nous avons une aspiration en charge donc : $H_{asp} > 0$. (pour une hauteur en dépression la hauteur est négative)

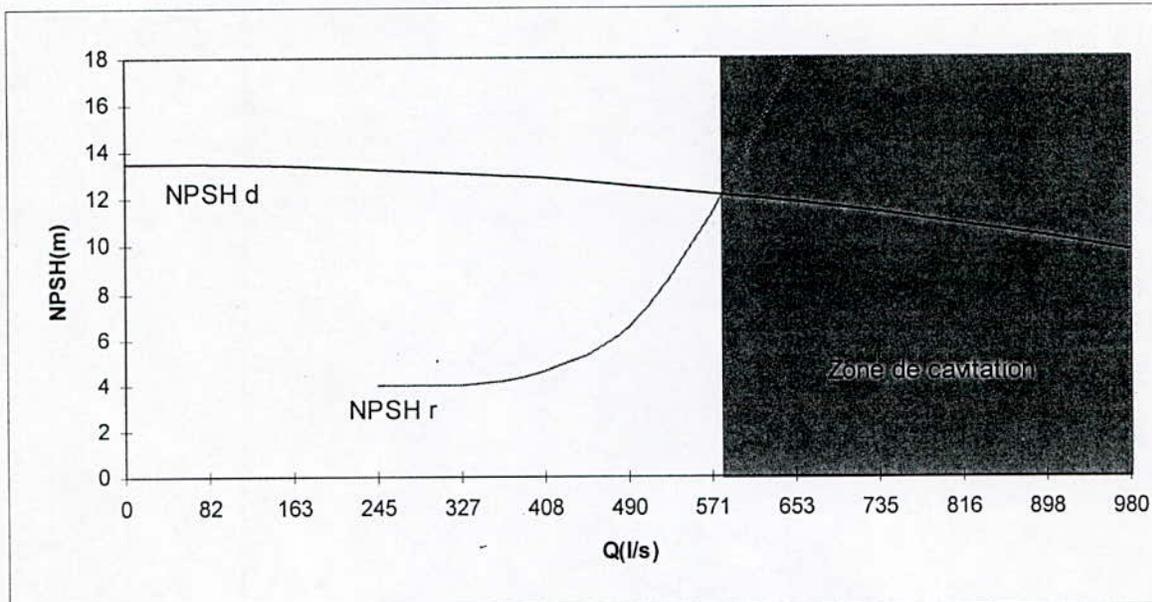


$$H_{asp} = 132.5 - 129 = 3.5 \text{ m}$$

$$\text{d'ou nous avons } NPSH_{disp} = 10 + 3.5 - PDC_{asp} = 13.5 - PDC_{asp}$$

Sachant que la $PDC_{asp} = 0.413$ m pour un débit $Q = 326.5$ l/s, nous faisons varier le débit pour avoir le $NPSH_{disp}$.

Tout calcul fait nous aurons le graphe (5G3) qui donne de débit limite au-delà duquel apparaîtra la cavitation de la pompe prise en service.



(Graphe 5G3) Courbes des $NPSH_{disponible}$ et $NPSH_{requis}$

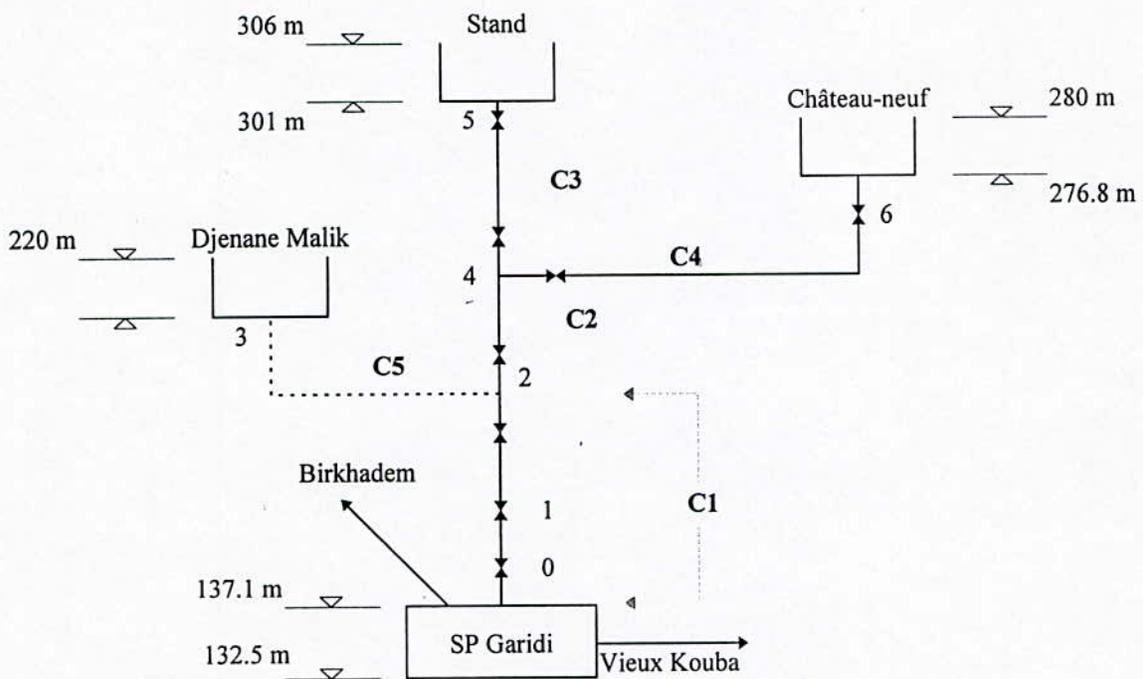
5.2 Réseau d'adduction

Comme nous avons pu voir précédemment (Chap. 4.3), la station de Garidi est conçue pour l'alimentation de trois parties principales (voir profil en long). Une partie allant jusqu'au réservoir Vieux Kouba, une partie qui s'étend sur 3592.80 m vers Birkhadem et une partie vers Stand et qui fait l'objet de notre présente étude. Sur cette dernière, il a été prévu deux branchements, l'un vers Djenan Malik à environ 7.5 km de Garidi (qui rentre dans le cadre de l'extension et qui n'est pas encore réalisée), et l'autre vers Château-neuf à 10 km de Garidi (voir 5F2).

Le réseau comprend plusieurs type de canalisations de diamètre et longueur différents, et en vue d'assurer les interventions ultérieures sur les conduites, il a été prévu de poser ces dernières au droit de la traversée de l'autoroute dans une gaine de protection en béton, sauf à environ 0.9 km de la station (lequel passe sous l'autoroute) d'où la pose de conduites en fonte

ductile. Nous tenons à signaler aussi que le 2/3 du tracé entier passe dans la zone non urbanisée et 1/3 passe sous les chaussées.

Concernant maintenant l'équipement du réseau en accessoires, la conduite principale et les branchements sont munis de vannes papillons de sectionnement motorisées dans des chambres, les dites vannes servent à isoler les branchements et en vue de diviser le tracé en tronçon d'essai. Il a été prévu aussi 47 chambres pour l'installation des matériels comprenant les soupapes d'aération et les vidanges.



(Figure 5F2) Schéma de fonctionnement

Nous pouvons résumer les caractéristiques de chaque conduite dans le tableau 5T2.

(Tableau 5T2) Caractéristique des conduites de refoulement

Conduite	Tronçon	Type de matériau	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Rugosité (mm)
C1	0-1	Acier	500/800/1000/1100	63.50	0.5
	1-2	Béton	1100/1200	3042.51/4483.81	2
C2	2-4	Béton	1100	2688.97	2
C3	4-5	Béton	1000	917.86	2
C4	4-6	Fonte	700	500	0.5
C5	variante A	Fonte	700	300	0.5
	variante B	Béton	700	300	2

Légende :

Situation future

Situation actuelle

5.2.1 Détermination des courbes caractéristiques

a) Situation actuelle :

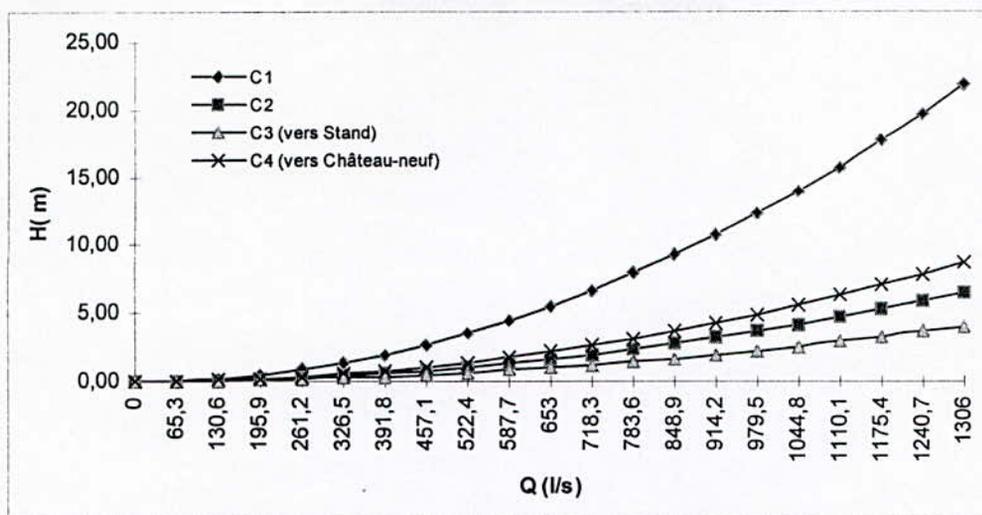
Dans le but d'avoir les courbes caractéristiques des conduites, il est utile de calculer les pertes de charge linéaires et singulières de chaque tronçon (pour un débit fixé) puis déterminer la courbe sachant que : $PDC_{totale} = RQ^2$.

PDC_{totale} = perte de charge totale (singulière + linéaire) en (m)

R = résistance de la conduite $m^{-5} s$

Q = débit en m^3/s ou l/s

- Les pertes de charge linéaires relatives à chaque conduites ont été calculées à l'aide de la formule de COLBROOK et présentée dans un tableau (voir annexe A18).
- Pour les pertes de charge singulières et afin d'avoir une certaine exactitude dans notre étude nous avons jugé bon de faire l'inventaire de toute les singularités propres à chaque conduite et non pas d'estimer la perte de charge singulière à partir de la perte de charge linéaire comme le préconise certain ouvrages. Ceci dit nous avons présenté les pertes de charge singulières propre à chaque tronçon (pour un débit fixé) dans des tableau (voir annexe A19 jusqu'à A23).
- En additionnant les pertes de charge linéaires et singulières, nous aurons les pertes de charge totales relatives à chaque conduite (voir annexe A24).
- Par conséquent nous pouvons déduire les courbes caractéristiques comme présenté ci-dessous (voir graphe 5G4)



(Graphe 5G4) Courbes caractéristiques des différents tronçons

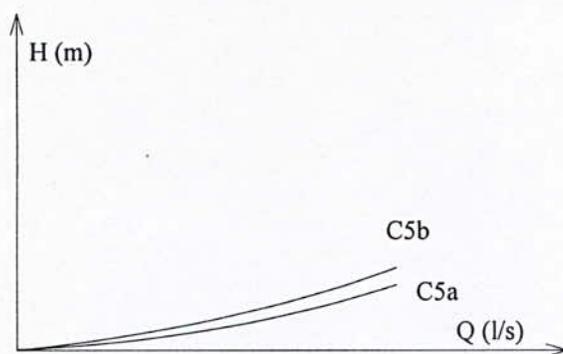
b) Situation future :

Pour la situation future il a été prévu la pose de conduites reliant le réseau déjà existant et le réservoir de Djenan Malik, pour cela nous avons opter pour deux variantes déjà citées dans le tableau 5T2 qui sont :

- Conduite en fonte avec un diamètre de 700 mm ;
- Ou conduite en béton avec un diamètre de 700 mm, et qui vont être ajoutés au réseau déjà existant ;

N'ayant pas assez d'informations sur le relief, la topographie et la géologie du terrain, nous avons estimé les pertes de charge singulières à 30% des pertes de charge linéaires, le tout a été présenté dans un tableau récapitulatif (voir annexe A25).

Les courbes caractéristiques des deux variantes sont présentés ci-dessous (voir graphe 5G5).



(Graphe 5G5) Courbe caractéristique des deux variantes

5.3 Réservoirs terminaux

Comme décrit précédemment, l'eau pompée, à partir du réservoir de Garidi, doit être refoulée, à trois étages différents et accumulés dans des réservoirs pour être restituée à des zones plus ou moins importantes à partir d'un autre réseau de distribution. L'approvisionnement des réservoirs a été pris en compte pour chaque zone de consommation. Lorsque le relief le permet, ces réservoirs alimentent directement les réseaux de distribution. Dans le cas contraire, le pompage vers les châteaux d'eau est indispensable, ce qui est le cas pour Stand et Château-neuf (5F3 et 5F4 ci-après).

Cependant, nous pouvons résumer l'étude des réservoirs dans le tableau suivant :

(Tableau 5T3) Caractéristiques des réservoirs

	Réservoir de départ		Réservoirs terminaux							
	SP Garidi		Stand				Château-neuf		Djenane Malik	
Nb compar.	02		04				02		02	
Forme	Rect	Rect	Rect	Rect	Cir	Cir	Rect	Rect	Circ	Circ
Type	SEMI ENTERRE									
Capacité	12500	12500	1500	1500	1000	1000	1500	1500	2500	2500
TP	139	139	306	306	306	306	280	280	220	220
Radier	134.5	134.5	301	301	301	301	276.8	276.8		
Cte arrivée	1100	1100	600	600	600	600	700	700		
Zones alimentées	Stand Château-neuf Djenane Malik Vieux-Kouba Birkhadem		Cheraga Maison blanche Ben Aknoun Dely Brahim Oued Romane El Achour Draria Ouled Fayet				Stand Haut Hydra		La Zhun de Said Hamdine	

Figure 3F6

STATION DE POMPAGE STAND

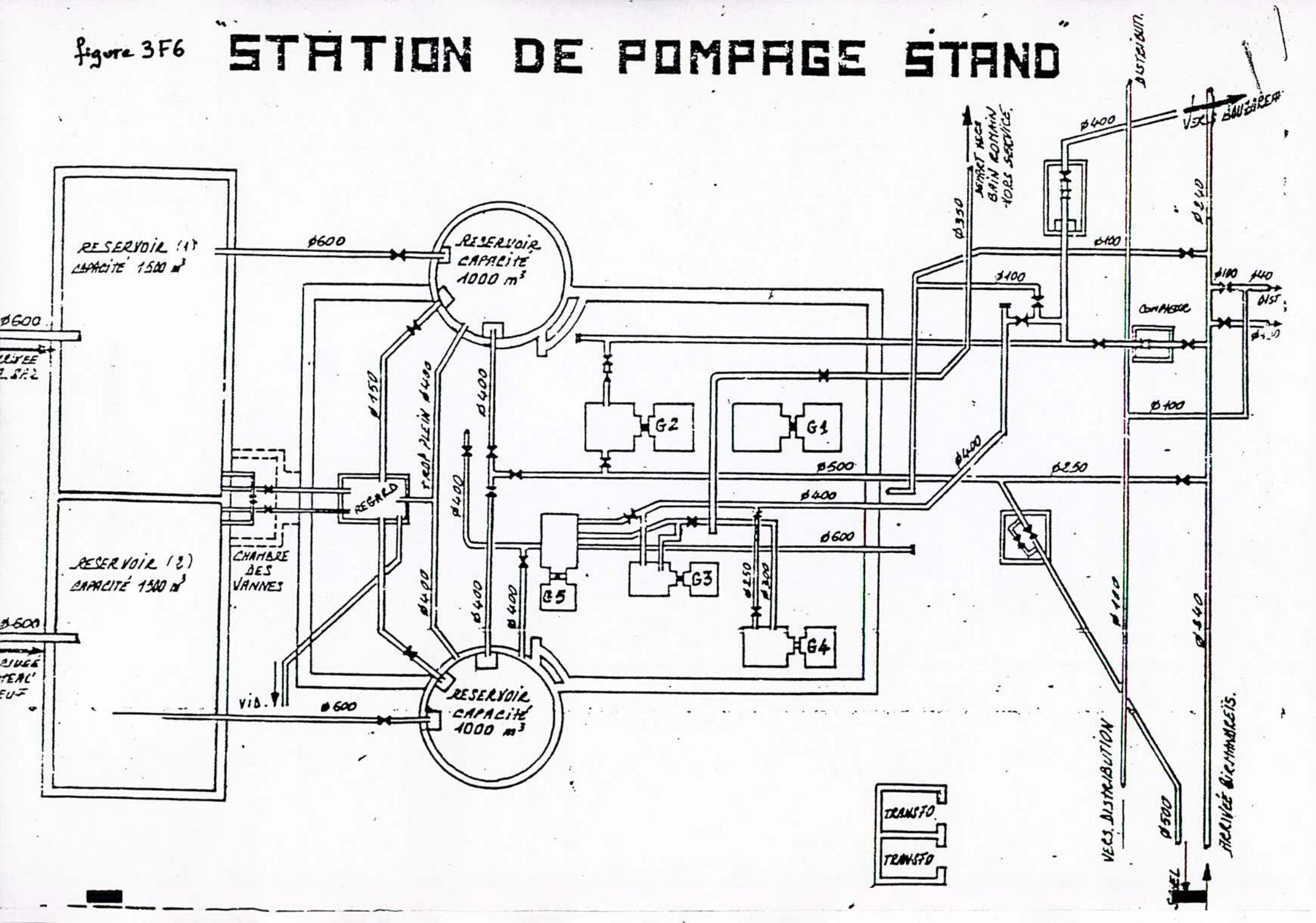
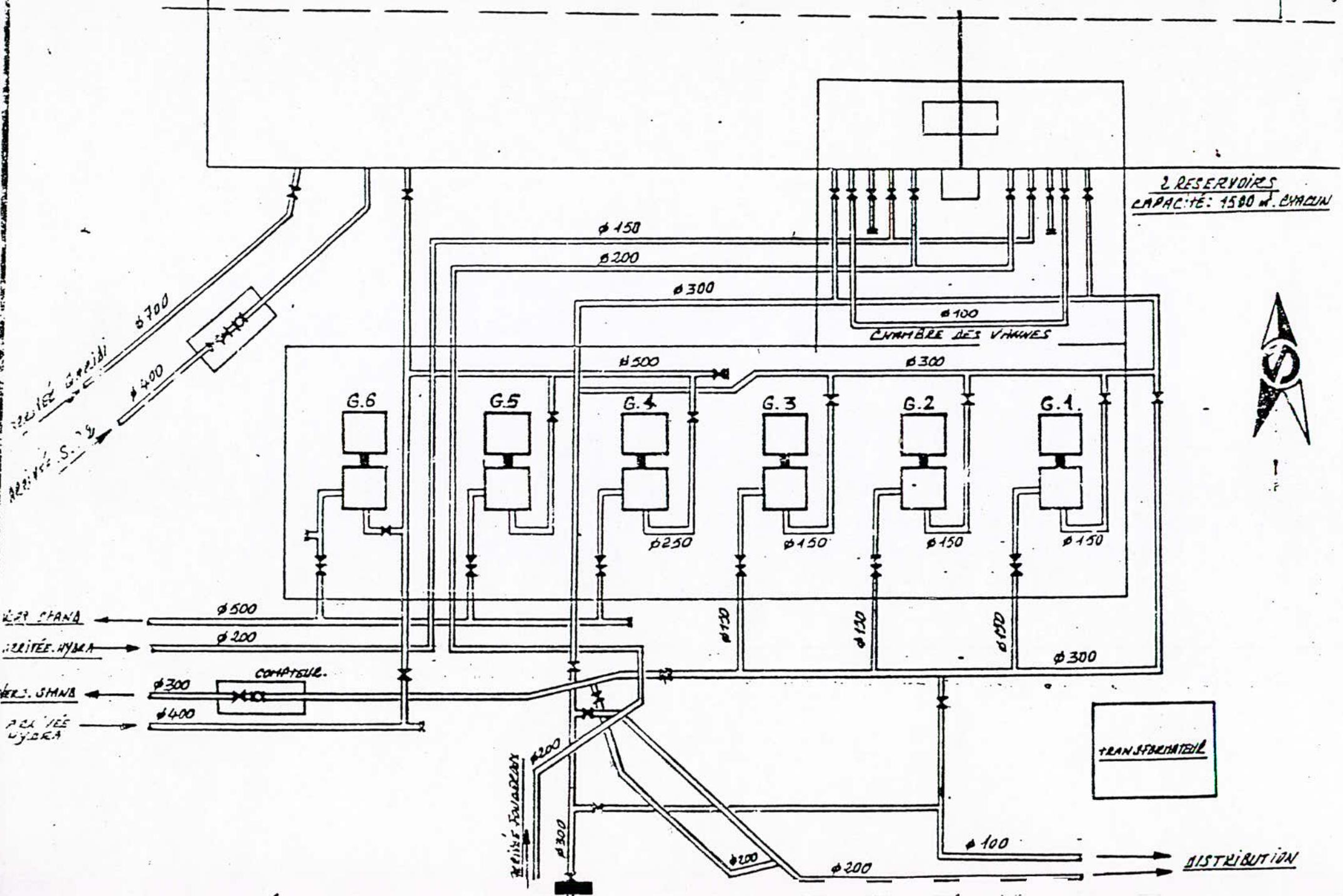


Figure 3F7 "STATION DE POMPAGE CHATEAUNEUF"



6. Etude et diagnostic

6.1 Objectif

L'objectif principal de l'étude hydraulique des différentes variantes est d'essayer de faire l'analyse de l'état de marche du système complet à travers la détermination des points de fonctionnement et des conditions de marche des pompes pour chaque cas.

Nous tenons à rappeler que :

- Pour la situation actuelle, pratiquement il n'y a que le réservoir de Stand qui est alimenté, alors que le réservoir de Château-neuf est à l'arrêt, car l'alimentation des deux étages en même temps crée des problèmes que nous allons essayer d'analyser ultérieurement. En plus, la station ne dispose que de trois pompes dont une de secours.

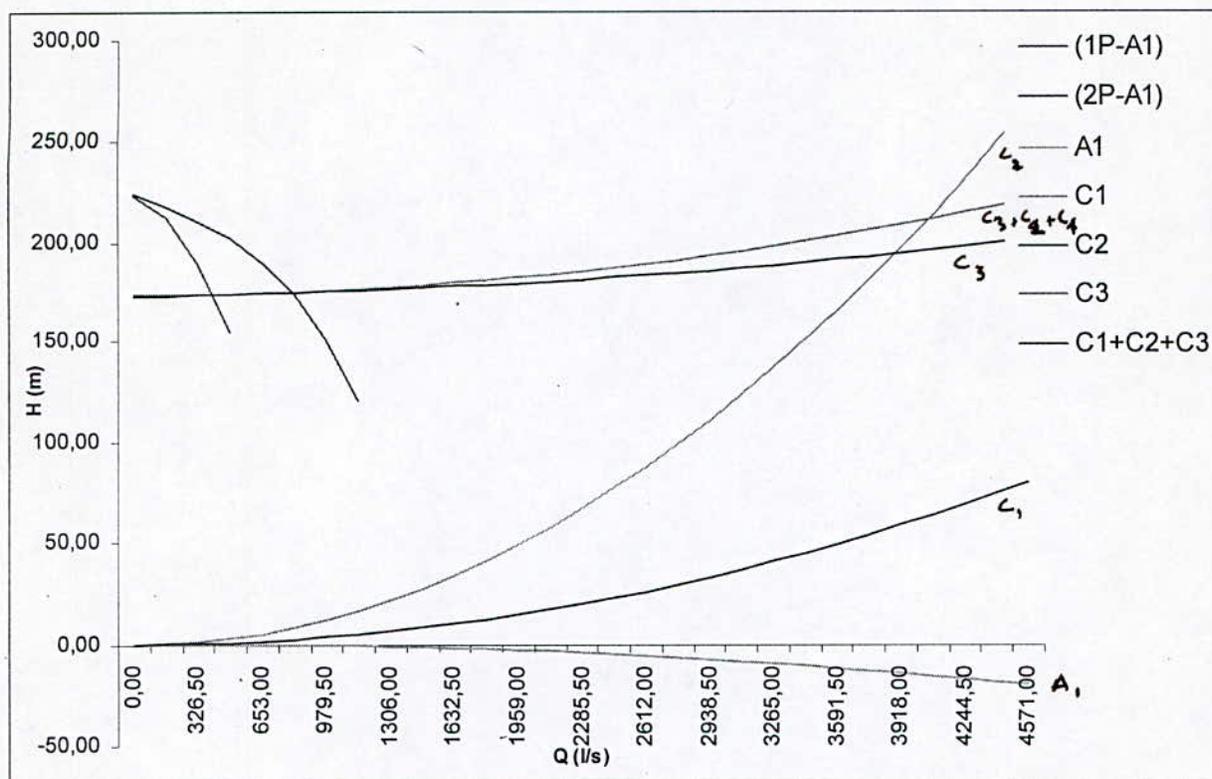
- Pour la situation future nous avons émis l'hypothèse que le réservoir de Djenan Malik sera raccordé au réseau principal par une conduite de diamètre 700mm avec deux variantes en béton et en fonte, en plus, la station sera dotée de deux pompes supplémentaires de même type que les précédentes (pour éviter les problèmes lors de l'exploitation) d'où nous aurons cinq groupes électropompes dont un de secours.

6.2 Tableaux et graphes de calcul

6.2.1 Situation actuelle

- Variante1 (alimentation de Stand uniquement) :

Pour cette variante qui caractérise l'état de marche de la station actuellement nous avons comparé les résultats entre l'étude graphique (théorique) et les mesures faites au niveau de la station (pratique).



(Graphe 6G1) Alimentation de Stand uniquement

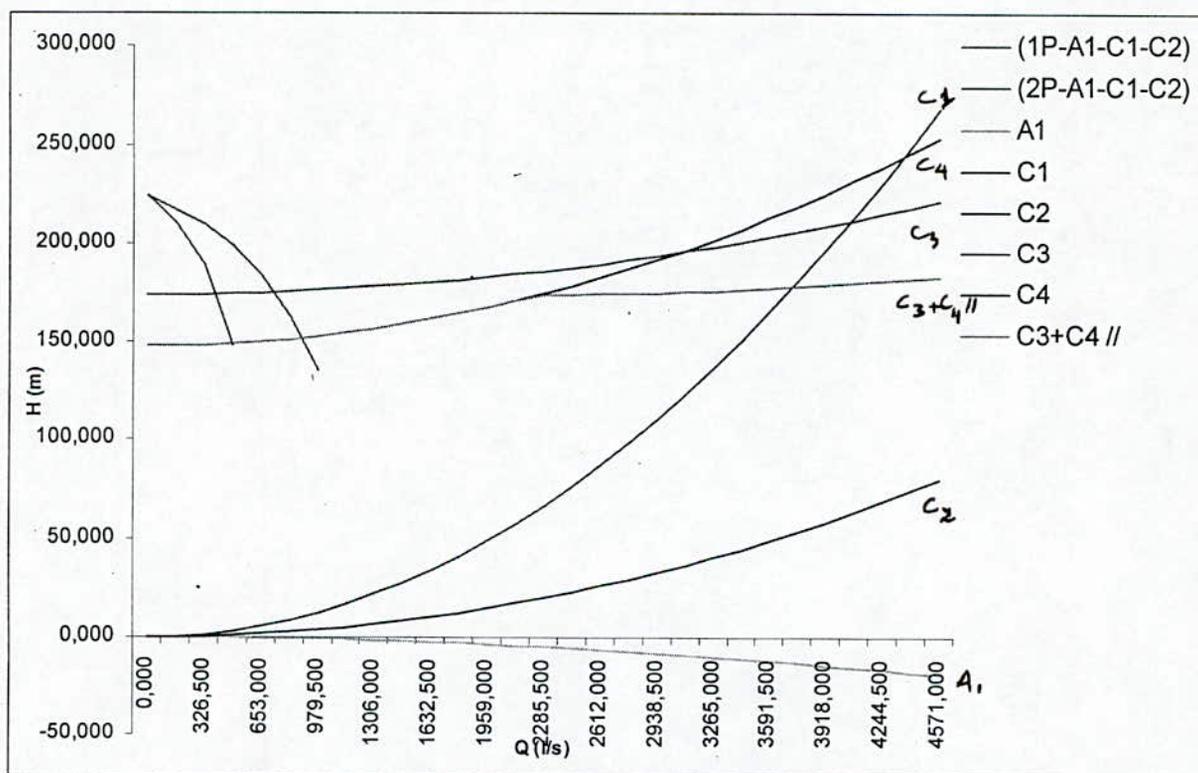
6T1 "Alimentation de Stand uniquement" (résultat graphique)

Variante		1	
Cas		1	2
Nombre de pompes mises en service		1 / 3 pompes	2 / 3 pompes
Point de Fonctionnement	Q(l/s)	405,300	756,000
	H(m)	174,000	174,800
Refoulement Vers Stand	Q(l/s)	405,300	756,000
	V(m/s)	0,500	0,960
Caractéristiques d'une Pompe	Q(l/s)	405,300	400,400
	H(m)	177,288	178,820
	η (%)	83,300	83,100
	P(KW)	850,000	840,000

6T2 "Alimentation de Stand Uniquement (données pratiques)"

Nombre de pompe mise en marche	Collecteur de refoulement		Pompe			
	Débit Refoulé (l/s)	Pression (bar)	Pression (bar)		Vitesse de rotation (tr/mn)	Hauteur relevé (m)
			Amont	Aval		
01/03 pompes	406,991	16,800	0,250	17,452	1488,870	177,020
02/03 pompes	707,000	18,250	0,250	18,150	1489,000	179,000

□ Variante 2 (alimentation de Stand et Château-neuf) :



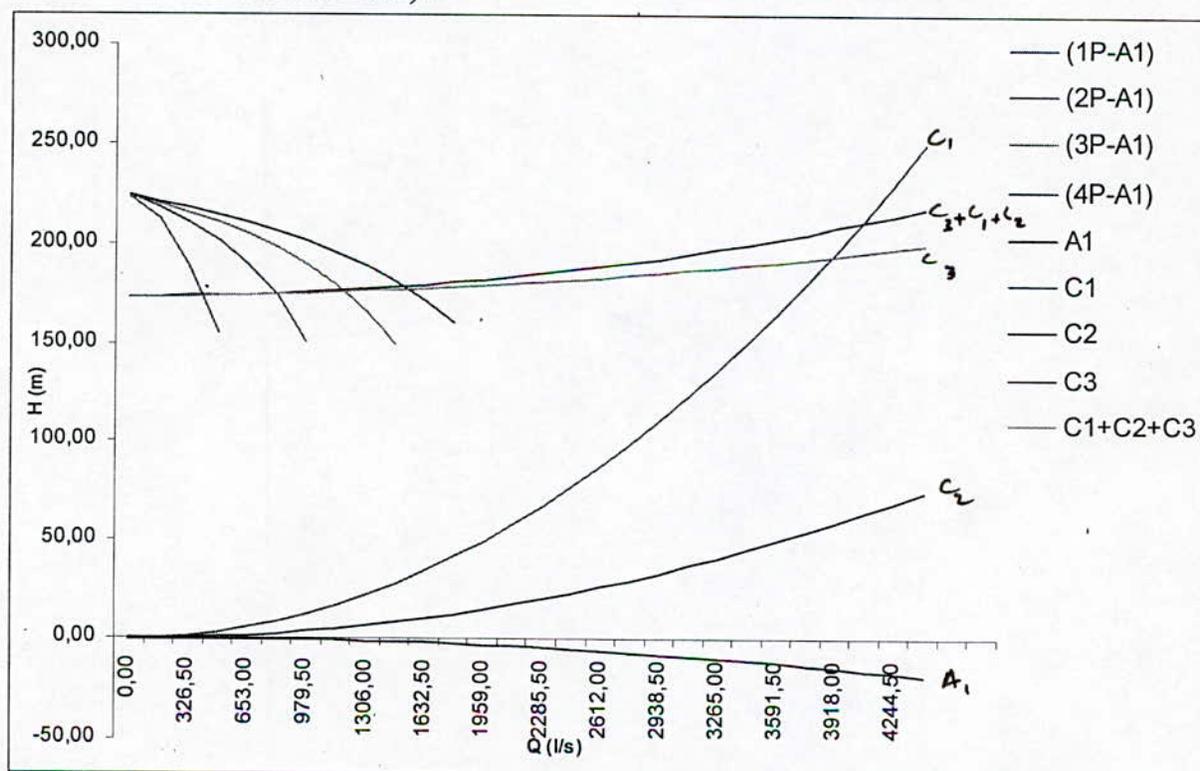
(Graphe 6G2) Alimentation de Stand Uniquement

6T3 "Alimentation de Stand et Château Neuf" (résultat graphique)

Variante		2	
Cas		1	2
Nombre de pompes mises en service		1 / 3 pompes	2 / 3 pompes
Point de Fonctionnement	Q(l/s)	476,000	891,800
	H(m)	148,720	151,520
Refoulement Vers Stand	Q(l/s)	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000
Refoulement Château neuf	Q(l/s)	476,000	891,800
	V(m/s)	1,240	2,320
Caractéristiques d'une Pompe	Q(l/s)	476,000	469,000
	H(m)	-	-
	η (%)	-	-
	P(kW)	-	-

6.2.2 Situation future

- Variante 3 (Alimentation de Stand uniquement avec extension de la station) :

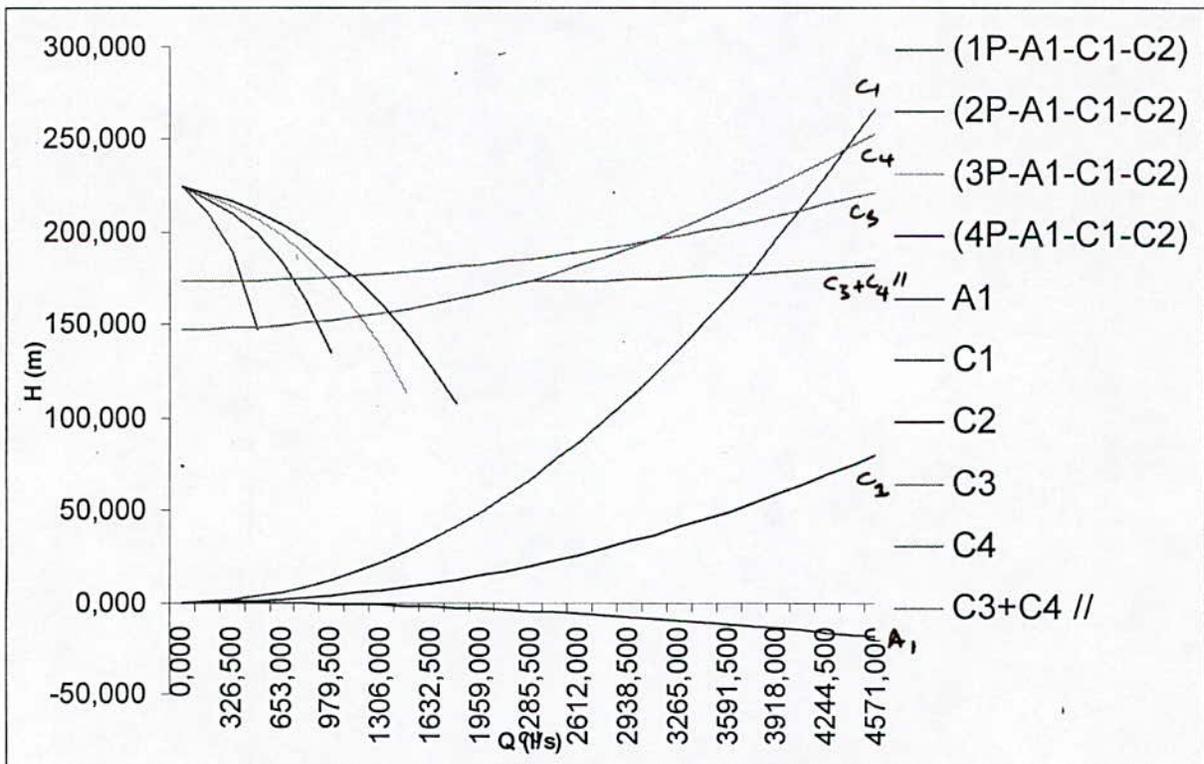


6G3 Alimentation de Stand Unique

6T4 "Alimentation de Stand
uniquement" (résultat graphique)

Variante		3			
Cas		1	2	3	4
Nombre de pompes mises en service		1 / 5 Pompes	2 / 5 Pompes	3 / 5 Pompes	4 / 5 Pompes
Point de Fonctionnement	Q(l/s)	405,300	756,000	987,000	1120,000
	H(m)	174,000	174,800	175,000	176,400
Refoulement Vers Stand	Q(l/s)	405,300	756,000	987,000	1120,000
	V(m/s)	0,520	0,970	1,250	1,420
Caractéristiques d'une Pompe	Q(l/s)	405,300	400,400	395,500	392,000
	H(m)	177,288	178,820	180,151	180,703
	$\eta(\%)$	83,300	83,100	83,000	83,000
	P(kW)	850,000	840,000	835,000	825,000

□ Variante 4 (alimentation de Stand et Château-neuf avec extension de la station) :



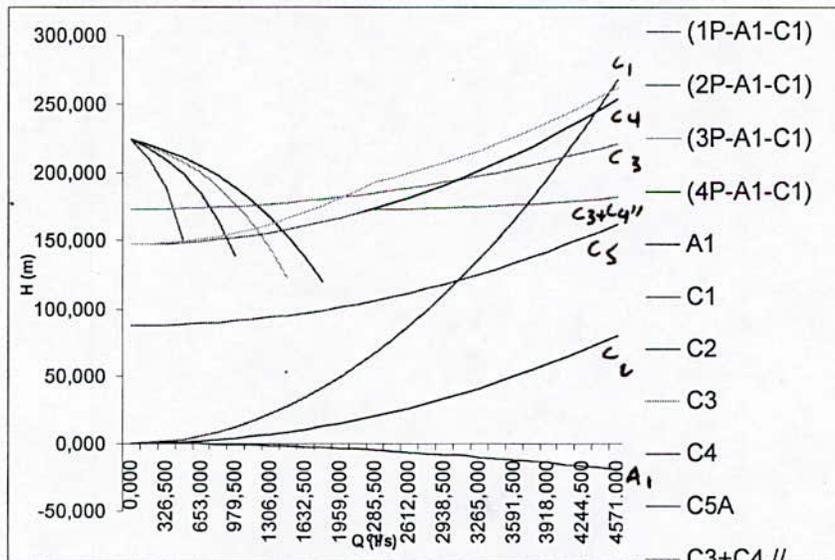
6G4 "Alimentation de Stand et Château Neuf"

6T5 "Alimentation de Stand et Château Neuf"
(résultat graphique)

Variante		4			
Cas		1	2	3	4
Nombre de pompe Mises en services		1 / 5 Pompes	2 / 5 Pompes	3 / 5 Pompes	4 / 5 Pompes
Point de Fonctionnement	Q(l/s)	476,000	891,800	1176,000	1385,300
	H(m)	148,700	151,520	154,400	157,200
Refoulement Vers Stand	Q(l/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
Refoulement Château neuf	Q(l/s)	476,000	891,800	1176,000	1388,300
	V(m/s)	1,240	2,320	3,060	3,600
Caractéristiques d'une Pompe	Q(l/s)	476,000	469,000	460,600	452,900
	H(m)	-	-	-	-
	η (%)	-	-	-	-
	P(kW)	-	-	-	-

- Variante 5 (alimentation de Stand, Château-neuf et Djenan Malik ($\varnothing 700$ mm) avec extension de la station) :

a - Conduites en fonte

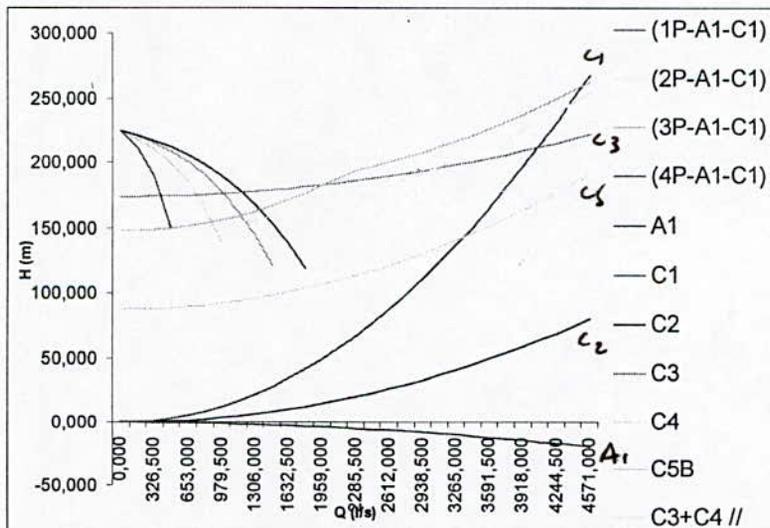


6G5 "Alimentation de Stand, Château Neuf et Djenane Malik ($\varnothing 700$ en fonte)"

6T6"Alimentation de Stand, Château Neuf et Djenane Malik
(Ø 700 en fonte)" (résultat graphique)

Variante		5a			
Cas		1	2	3	4
Nombre de pompes Mises en services		1 / 5 Pompes	2 / 5 Pompes	3 / 5 Pompes	4 / 5 Pompes
Point de Fonctionnement	Q(l/s)	-	-	-	-
	H(m)	-	-	-	-
Refoulement Vers Stand	Q(l/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
Refoulement Château neuf	Q(l/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
Refoulement Djenane Malik	Q(l/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
Caractéristiques d'une Pompe	Q(l/s)	-	-	-	120,000
	H(m)	-	-	-	170,000
	η(%)	-	-	-	83,500
	P(kW)	-	-	-	850,000

a - Conduites en fonte



6G6 "Alimentation de Stand, Château Neuf et Djenan Malik (Ø 700 en béton)"

6T7 "Alimentation de Stand, Château Neuf et Djenan Malik (Ø 700 en béton)" (résultat graphique)

Variante		5b			
Cas		1	2	3	4
Nombre de pompes mises en services		1 / 5 Pompes	2 / 5 Pompes	3 / 5 Pompes	4 / 5 Pompes
Point de Fonctionnement	Q(l/s)	-	-	-	-
	H(m)	-	-	-	-
Refoulement Vers Stand	Q(l/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
Refoulement Château neuf	Q(l/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
Refoulement Djenane Malik	Q(l/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
	V(m/s)	0,000	0,000	0,000	0,000
Caractéristiques d'une Pompe	Q(l/s)	-	-	-	120,000
	H(m)	-	-	-	170,000
	η(%)	-	-	-	85,500
	P(kW)	-	-	-	850,000

6.3 Remarques

Une fois l'étude du système complet faite nous allons tirer des remarques pour chaque variante :

1. Variante1 :
 - Les résultats théoriques coïncident avec les résultats pratiques.
 - Les vitesses sont relativement faibles dans les conduites.
 - Les pompes fonctionnent avec un bon rendement et sans risque de cavitation.

2. Variante2 :
 - Dans cette variante, il n'y a que l'étage de Château -Neuf qui est alimenté.

3. Variante3 :
 - Dans le cas 1 et 2 les vitesses dans les conduites sont relativement faibles alors que pour les cas 3 et 4, elles sont respectées

- Les pompes travaillent avec un bon rendement et sans risque de cavitation.

4. variante 4 :

- Dans cette variante, il n'y a que l'étage de Djenane Malik qui est alimenté.

5. variante 5a, 5b :

- Dans cette variante, il n'y a que l'étage de Djenane Malik qui est alimenté.

7. Discussion et solutions

7.1 Discussion

Des courbes précédentes (Stand + Château-neuf + Djenan Malik), nous remarquons que le point de fonctionnement se trouve sur la partie commune entre la courbe considérée et la résultante, cela veut dire que chaque tronçon pourra être alimenté seul, mais dans ces conditions nous ne pourrions jamais alimenter les trois tronçons (Stand, Château-neuf et Djenan Malik simultanément).

On remarque que toutes les courbes obtenues sont de forme aplatie, et cela parce qu'on a une charge très importante surtout au niveau de Djenan Malik et Château-neuf.

Cette charge très importante est logique car pour faire arriver l'eau à Stand il nous faut une HMT très importante, cette HMT provoque une pression très grande aux étages inférieures à Stand (Djenan Malik et Château-neuf), pour pouvoir alimenter les trois étages simultanément sans problème et avec sécurité, il nous faut casser la charge à Djenan Malik et Château-neuf, par l'augmentation des pertes de charge au niveau de ces conduites.

Nous aurons de cette façon leurs courbes respectives qui se redresseront, et par-là le point de fonctionnement se trouvera sur la résultante des trois tronçons, qui seront donc alimentés simultanément.

7.2 Etape logique du calcul

7.2.1 ce qu'on désire avoir

L'objectif que nous voulons atteindre consiste à alimenter les trois réservoirs, Stand, Château-neuf et Djenan Malik simultanément avec des débits acceptables. On doit donc :

**Maintenir au moins le même débit qui est desservie
actuellement à Stand, tout en alimentant les deux autres**

réservoirs Château-neuf et Djenan Malik avec des débits suffisants.

Alimenter le réservoir Château-neuf qui a une capacité de 3000 m³ et déterminer la perte de charge supplémentaire nécessaire sur ce tronçon.

Déterminer le diamètre nécessaire et suffisant à Djenan Malik pour lui assurer un débit acceptable avec une vitesse optimale.

Le diamètre choisi doit être en harmonie avec le débit desservi vers ce réservoir (capacité de 5000 m³), la perte de charge désirée (la perte de charge augmente quand le diamètre diminue), et les débits donnés aux autres réservoirs (Stand et Château-neuf).

Augmenter le débit de refoulement de la station de pompage Garidi, donc étudier son extension

7.2.2 Calcul du cas actuel (Stand + Château-neuf)

Nous devons traiter les variables suivantes :

1. Stand :

\varnothing_S : diamètre de la conduite C₃ vers Stand (1000mm)

Q_S : débit desservi à Stand

v_S : vitesse d'écoulement dans la conduite C₃

h_S : perte de charge totale dans ce tronçon

Z_i : cote du réservoir

i : DM - Djenan Malik
S - Stand
SP - Station de pompage
ch - Château-neuf

2. Pour Château-neuf

\varnothing_{ch} : diamètre de la conduite C₄ vers Château-neuf (700mm)

Q_{ch} : débit desservi à Château-neuf

v_{ch} : vitesse d'écoulement dans la conduite C₄

h_{ch} : perte de charge totale dans ce tronçon

3. Station de pompage et conduites de refoulement

Q_{SP} : débit donné par la station de pompage (pour les pompes en service)

H_{SP} : hauteur manométrique totale nécessaire aux pompes pour réaliser le refoulement désiré.

h_i : perte de charge totale de la conduite

i : 1 - conduite C₁
2 - conduite C₂

Soit : $\alpha = Q_{sp} / Q_s$ avec : $\alpha = 0 \div 1$; avec un pas choisis 10^{-1} ou 10^{-2}
ou 10^{-3}

pour : Q_{sp} donné [choisi dans l'intervalle de la capacité des pompes]

- ① Nous calculons : $Q_s = Q_{sp} / \alpha$
 ② Nous déduisons : $Q_{ch} = Q_{sp} - Q_s$
 ③ Nous vérifions les vitesses $V_s = Q_s / S_s$
 $V_{ch} = Q_{ch} / S_{ch}$
 $V_{c2} = Q_{sp} / S_{c2}$

- ④ On calcul la PDC dans chaque tronçon :
 $h_s = R_s Q_s^2$
 $h_{ch} = h_s + Z_s - Z_{ch}$

- ⑤ Nous trouvons la PDC singulière à rajouter au tronçon C4 vers Château-neuf.

$$h_{chL} = \frac{\lambda L}{D} \frac{V_{ch}^2}{2g}$$

$$(h_{ch \text{ sing}})^{calc} = h_{ch} - h_{chL}$$

$$(h_{ch \text{ sing}}) \text{ supplémentaire} = (h_{ch \text{ sing}})^{calc} - (h_{ch \text{ sing}})_{actuel}$$

Nous calculons : h_{c1} , h_{c2}

- ⑥ on trouve le coefficient de PDC singulière à rajouter :

$$\epsilon_{supl} = (h_{sing})_{supl} (2g) / V_{ch}^2$$

- ⑦ on calcul la charge totale des pompes :

$$H_{sp} = h_{c1} + h_{c2} + h_s + Z_s - Z_{SP}$$

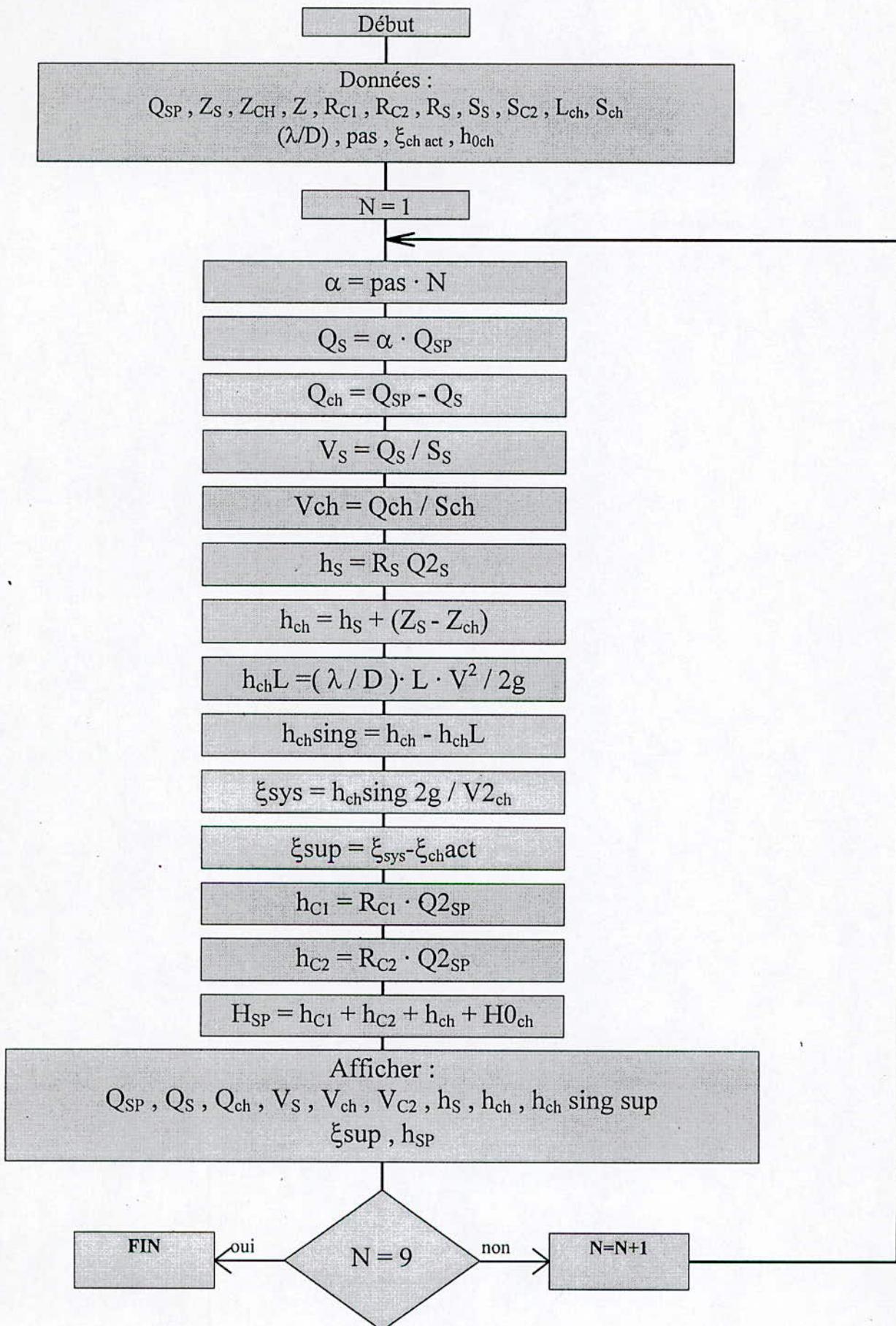
Si on change le débit donné par la station de pompage (Q_{SP}), on aura d'autre valeurs pour les débits : Q_s , Q_{ch} , les vitesses V_s , V_{ch} , V_{c2} et les PDC : h_s , h_{ch} , h_C , h_{c2} .

Cette manière de procéder, nous a permis de cerner le problème, d'avoir une vue sur toutes les variantes existantes, et delà choisir les débits adéquats pour chaque tronçon, et la perte de charge à mettre en œuvre pour réaliser le système de refoulement désiré.

Remarque :

Pour toute variante choisie, nous devons vérifier si les pompes travaillent en zone de cavitation ou non, déterminer la puissance et le rendement nécessaire, et de cette façon choisir la variante optimale.

7.2.4 Organigramme N° 1



Programme N° 1

```
5  REM Débit en m3/s
10  REM STAND+CHATEAU NEUF
20  INPUT " Qsp= " ;Qsp :
    INPUT " Zs= " ;Zs :
    INPUT " Zsp= " ;Zsp :
    INPUT " Zch= " ;Zch :
    INPUT " pas= " ;pas :
    INPUT " KSYact= " ;KSYact :
    INPUT " LAMDA/D=" ;LAMDA/D
30  FOR N=1 TO 9
40      ALPHA=pas * N
50      Qs=ALPHA*Qsp : PRINT " Qsp= " ;Qsp
60      Qch=Qsp-Qs :
        PRINT " Qch= " ;Qch :Vs=Qs/0.785 :
        PRINT " Vs= " ;Vs
70      Vch=Qch/0.385 :PRINT " Vch= " ;Vch:
        Vc2=Qsp/0.95 :PRINT " Vc2= " ;Vc2
80      hs=2.3*Qs^2 :PRINT " hs= " ;hs
90      hch=hs+Zs-Zch :PRINT " hch= " ;hch
100     hchl=LAMDA/D*300*Vch/19.62 :
        PRINT " hchl= " ;hchl
110     hchsing=hch*hchl :
        PRINT " hchsing= " ;hchsing
120     KSYsys=hchsing*19.62/Vch^2 :
        PRINT " KSYsys= " ;KSYsys
130     KSYsup=KSYsys-KSYact :
        PRINT " KSYsup= " ;KSYsup
140     hsingsup=KSYsup*Vch^2/19.62 :
        PRINT " hsingsup= " ;hsingsup
150     hc1=12.82*Qsp^2 :hc2=3.84*Qsp^2
160     Hsp=hc1+hc2+hs+Zs-Zsp :
        PRINT " Hsp= " ;Hsp
170  NEXT N
180  END
```

7-2-6- Exemple de calcul (cas actuel) :

Données : Nous avons :

$$H_{c1}=12.82 \cdot Q_{sp}^2, H_{c2}=3.84 \cdot Q_{sp}^2, H_{c3}=173.5+2.3 \cdot Q_s^2, \text{ avec } Q(\text{m}^3/\text{s})$$

$$Q_{sp}=720 \text{ l/s}, Z_s=306 \text{ m}, Z_{sp}=132.5\text{m}, S_{ch}=0.385, S_{C2}=0.95$$

$$\text{Pas}=0.5, \xi_{act}=3.85, S_s=0.785\text{m}^2, Z_{ch}=280\text{m}, (\lambda/D)_{ch}=0.0266$$

$$N=1 \div 9$$

$$1/ \alpha = \text{pas} \cdot N \Rightarrow \alpha_1 = 0.5$$

$$Q_s = 375 \text{ l/s}$$

$$Q_{ch} = Q_{sp} - Q_s = 375$$

$$V_s = 0.375 / 0.785 = 0.48 \text{ m/s}$$

$$V_{ch} = 0.750 / 0.95 = 0.79 \text{ m/s}$$

$$h_s = 2.3 q_s^2 = 0.32$$

$$h_{ch} = 0.32 + 306 - 280 = 26.32$$

$$h_{ch2} = 0.0266 \times (500) \times 0.97 / 19.62 = 0.66$$

$$h_{ch \text{ sing}} = 25.66$$

$$\xi_{sys} = h_{ch \text{ sing}} + 19.62 / V_{ch}^2 = 535.14$$

$$\xi_{sup} = \xi_{sys} - \xi_{act} = 531.29\text{m}$$

$$h_{ch \text{ sing sup}} = \xi_{sup} \times V_{ch}^2 / Z_g = 25.48 \text{ m}$$

$$h_{c2} = 3.84 \times Q_{sp}^2 = 2.16$$

$$h_{c1} = 12.82 \times Q_{sp}^2 = 7.21$$

$$\text{HMT} = h_{c1} + h_{c2} + h_s + Z_s - Z_{sp}$$

$$\text{HMT} = 183.19 \text{ m}$$

Ces résultats sont conformes aux résultats du programme réalisé pour $\alpha=0.5$.

Si on prend le pas = 10^{-2} ou 10^{-3} , on aura des résultats plus précis.

7.3 Cas futur (Stand - Château-neuf - Djenan Malik)

En plus des variables précédentes nous devons traiter les variables suivantes :

- Q_{DM} : débit desservi au réservoir Djenan Malik
- \varnothing_{DM} : diamètre de la conduite vers Djenan Malik (C5)
- h_{DM} : perte de charge totale dans ce tronçon (C5)
- V_{DM} : vitesse d'écoulement dans ce tronçon (C5)
- Q_{SCH} : débit dans la conduite C2 vers Stand et Château-neuf

7.3.1 Historique de l'étude

Comme le démontre notre étude, le refoulement vers les trois étages (Stand - Château-neuf - Djenan Malik) simultanément, va créer une charge très importante au niveau de Djenan Malik, et de Château-neuf pour pouvoir réaliser le refoulement sans problème, il nous faut casser cette charge.

Une étude ultérieure fait par un bureau d'étude anglais (Bennie & Partners) préconise de mettre un réservoir tampon à Claireval, ce réservoir sera alimenté par la station de pompage Garidi et reprendra le refoulement vers Stand et Château-neuf.

C'est une bonne solution du point de vu hydraulique car elle nous permettra de refouler un grand débit avec une HMT moins importante au niveau des pompes de Garidi.

Cette méthode n'a pas été suivi, à cause du manque de place à Claireval pour un réservoir de ce genre ou bien à cause d'autre problèmes relatifs à la mise en place de ce système de refoulement.

7.3.2 Analyse grapho- analytique

Nous avons à déterminer dans ce cas neuf variables liées entre elles par les équations suivantes :

$$Q_{SP}, Q_S, Q_{CH}, h_{CH}, h_S, h_{DM}, Q_{DM}, \varnothing_{DM}, H_{SP}$$

$$Q_{SP} = Q_S + Q_{CH} + Q_{DM}$$

$$H_{SP} = h_{C1} + h_{C2} + h_s + Z_S - Z_{SP}$$

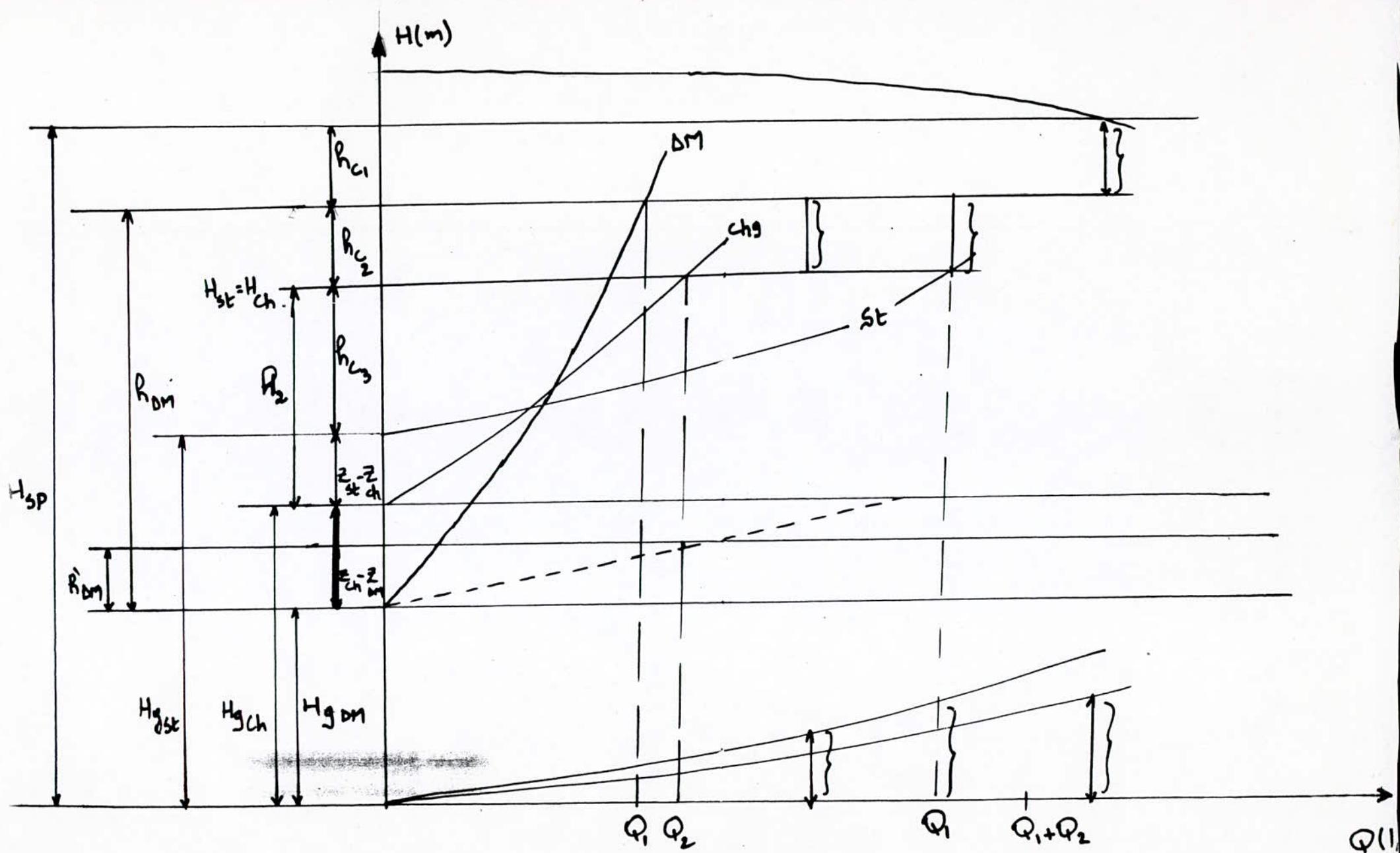
$$h_{DM} = h_s + Z_S - Z_{DM}$$

$$h_{CH} = h_s + Z_S - Z_{CH}$$

Pour avoir un système de refoulement à trois étages en fonctionnement optimal, nous procédons dans notre calcul de la manière suivante :

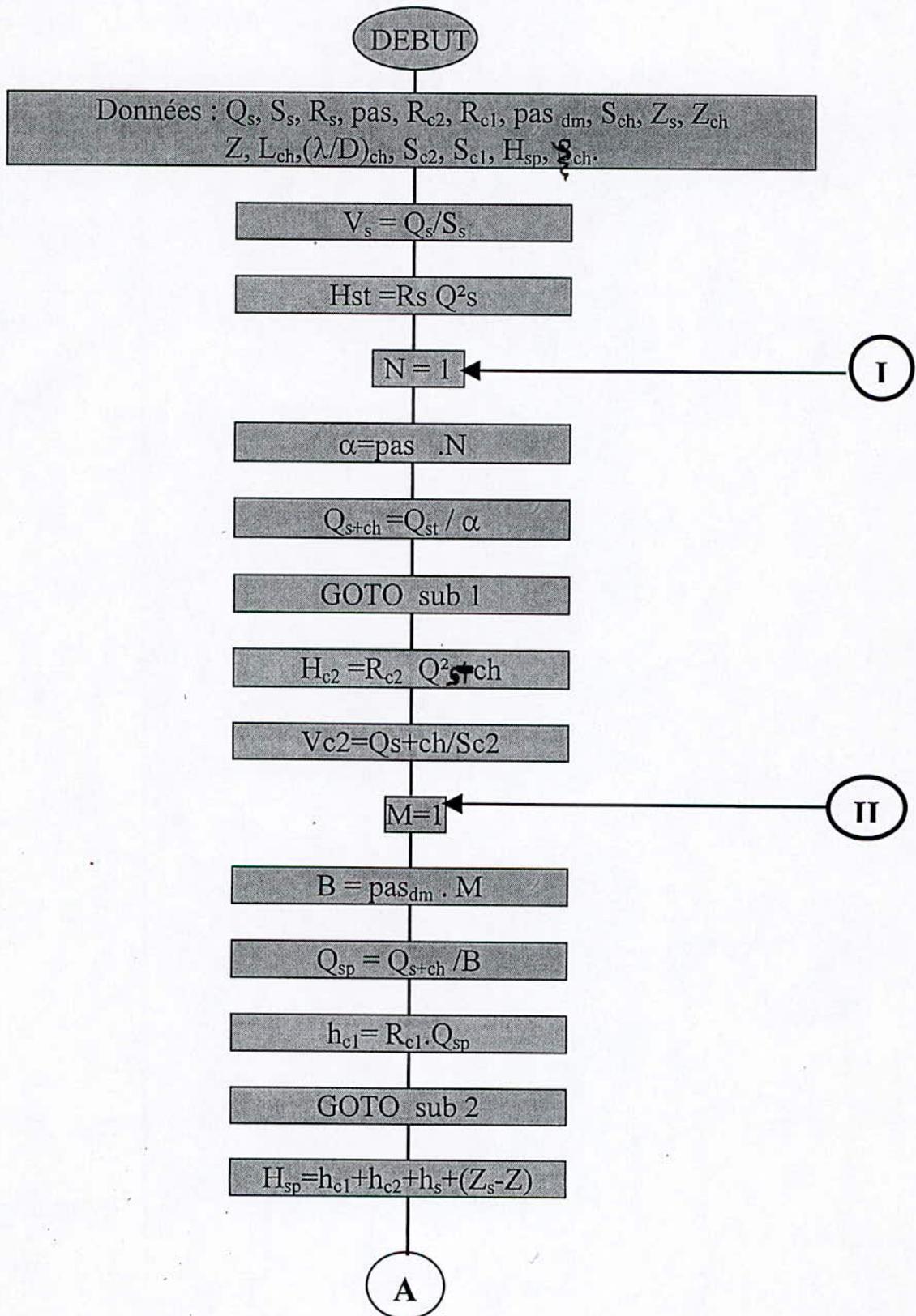
On donne un débit adéquat à Stand et en fonction de ce débit on calcule le débit de Château-neuf, du tronçon C2, Q_{SCH} ; de la station de pompage et du tronçon C5 vers Djenan Malik.

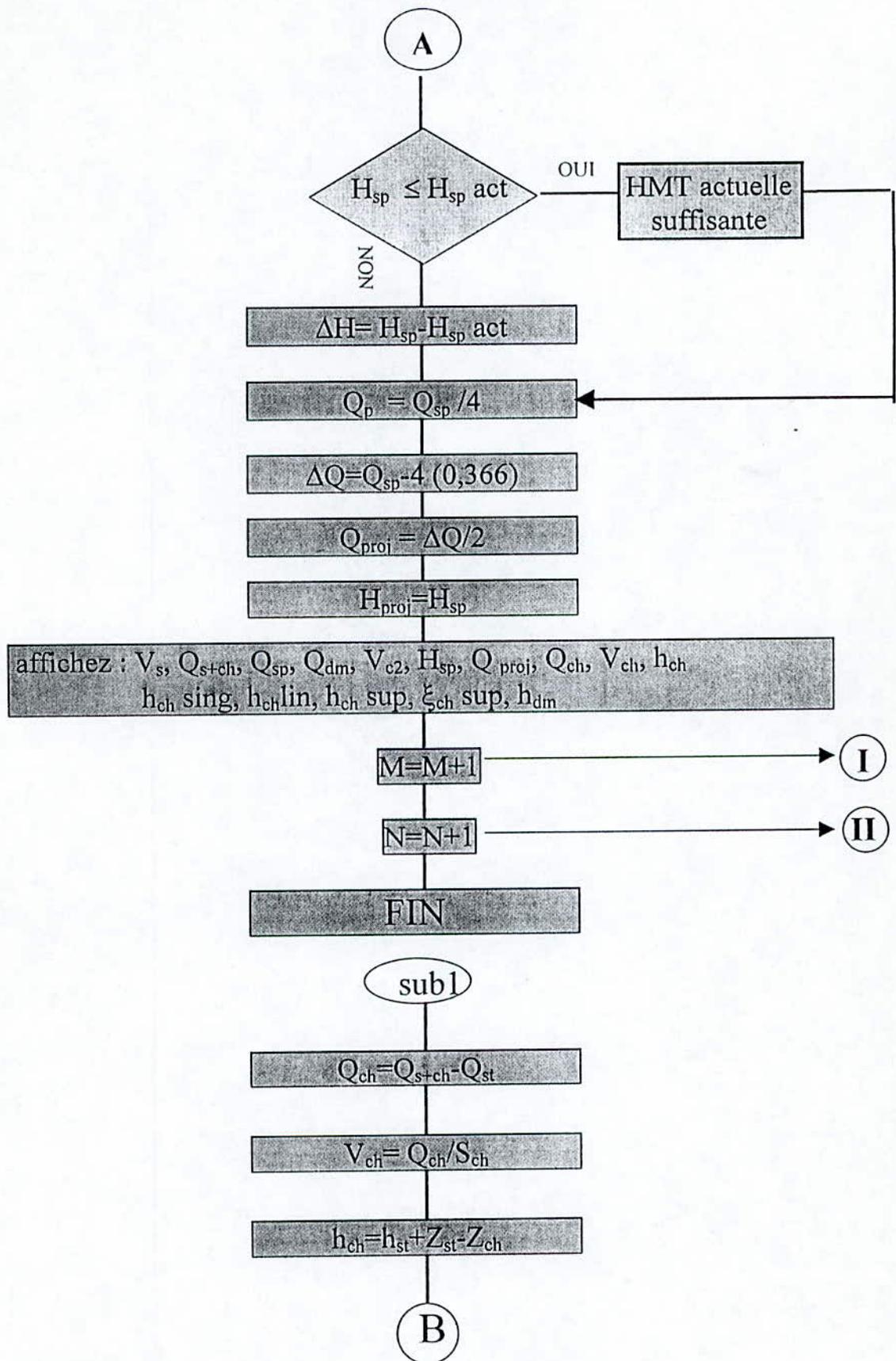
Puis on calcul la PDC dans chaque tronçon et le diamètre adéquat de la conduite de Djenan Malik.

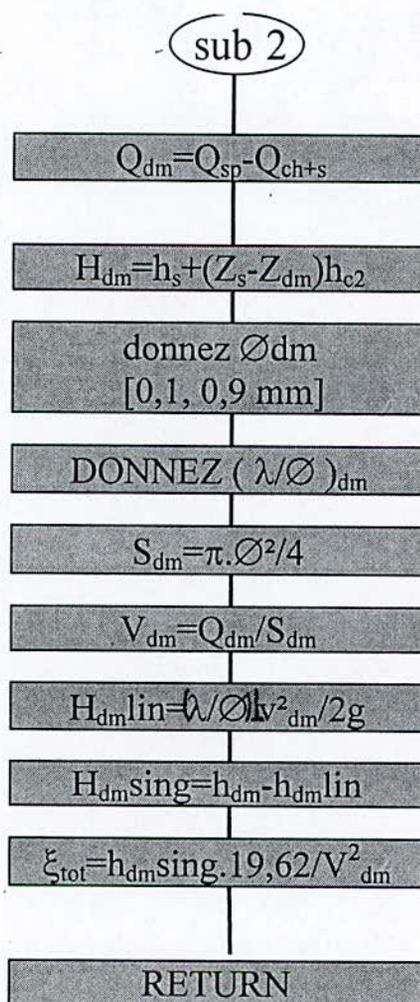
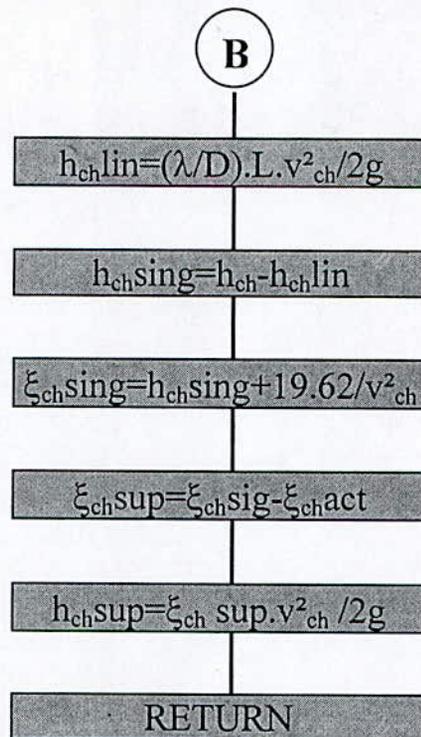


ANALYSE GRAPHO - ANALYTIQUE

7.3.3 Organigramme N° 2







Programme N° 2

```

10 rem st+ch+dm
20 input "qs=";qs: input "Ss=";Ss:input "pas=";pas:input "pasdm="
;pasdm:input "Sch=";Sch:input "Zs=";Zs
30 input "Zch=";Zch:input "Zsp=";Zsp:input "Sc2=";Sc2:input "Hspact
=";Hspact:input "KSYact=";KSYact
40 Vs=Qs/Ss:print "Vs=";Vs:hs=2.3*Qs^2:print "hs=";hs
50 for n=1 to 9
60 alpha=pas*n
70 Qsch=Qsch/alpha:gosub 240
80 hs2=3.84*Qsch^2:Vc2=Qsch/Sc2:print "Vc2=";Vc2
90 for m=1 to 9
100 B=pasdm*M:Qsp=Qsch/B:print "Qsp=";Qsp:hcl=12.82*Qsp^2:gosub
330
110 Hsp=hcl+hc2+hs+Zs-Zsp:print "Hsp=";Hsp
120 if Hsp>= Hspact then 130
125 print " la hmt actuelle est suffisante":goto 140
130 dH=Hsp-Hspact:print "dH=";dH
140 Qp1=Qsp/4;if Qp1>=0.460 then 150
145 print "le débit actuel des pompes est suffisant":goto 160
150 dQ=Qsp-2*0.366:Qproj=dQ/2:print "Qproj="; Qproj
160 next m
170 next n
180 end
240 rem SPROG.ch9
250 Qch=Qsch-Qs:print "Qch=";Qch:Vch=Qch/Sch:print "Vch=";Vch:
hch=hs+Zs-Zch:print "hch=";hch
260 hchl=0.678*Vch^2:print "hchl=";hchl:hchsn=hch-hchl:if hchsn
<=0 then hchsn=0:print "hchsn="hchsn
270 ksychn=hchsn*19.62/Vch^2:print "ksychn=";ksychn:ksysupl=ksychn-ksy
ksychnact:if ksysupl<0 then ksysupl=0:print "ksysupl=";
ksysupl
280 hsupl=ksysupl*Vch^2/19.62:print "hsupl=";hsupl:return
330 rem s.prog.d.malik
340 Qdm=Qsp-Qsch:print "Qdm=";Qdm:hdm=hs+Zs-Zdm+hc2:PRINT "hdm="
";hdm
350 PRINT "DONNER Ddm EN mm ENTRE (100,900)":INPUT "D=";D:E=D/
100
360 ON E GOSUB 500,600,700,800,900,1000,1100,1200,1300
370 Sdm=3.14*(D*.001)^2/4:PRINT "Sdm=";Sdm:Vdm=Qdm/Sdm:PRINT "
Vdm=";Vdm
380 hdm1=F*15.29*Vdm^2:PRINT "hdm1=";hdm1:hdm2=hdm-hdm1
385 IF hdm2<0 THEN hdm2=0:PRINT "hdm2=";hdm2
390 KSYdm=hdm2*19.62/Vdm^2:PRINT "KSYdm=";KSYdm :RETURN
500 F=0.49:RETURN
600 F=0.19:RETURN
700 F=0.11: RETURN
800 F=0.758 :RETURN
900 F=0.0566 :RETURN
1000 F=0.0477 :RETURN
1100 F=0.368 :RETURN
1200 F=0.031 :RETURN
1300 F=0.0267 :RETURN

```

7.3.4 Méthodologie de calcul

soit : $\alpha = Q_S / Q_{SCH}$ avec : $\alpha = [0.1 \div 0.9]$

le pas peut être

choisis: $10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, \dots$

$B = Q_{SCH} / Q_{SP}$ avec : $B = [0.1 \div 0.9]$

Pour un débit Q_S donné, choisit de manière à satisfaire la demande à Stand, avec une vitesse (V_s) admissible.

On calcule :

Djenana Malik	Stand + SP	Château-neuf
$Q_{DM} = Q_{SP} - Q_{Sch}$	$V_S = Q_S / S_S$	$Q_{ch} = Q_{Sch} - Q_S$
$h_{DM} = h_S + Z_S - Z_{DM} + h_{C2}$	$h_S = R_S * Q_S^2$	$V_{ch} = Q_{ch} / S_{ch}$
Donner $\varnothing_{DM} [0.3 \div 0.9]$	$Q_{Sch} = Q_S / \alpha$	$h_{ch} = h_S + Z_S - Z_{ch}$
$S_{DM} = \pi \varnothing^2 / 4$	$h_{C2} = R_2 Q_{Sch}^2$	$h_{chL} = (\lambda L / D) * (V_{ch}^2 / 2g)$
$V_{DM} = Q_{DM} / S_{DM}$	$Q_{SP} = Q_{Sch} / B$	$h_{chsin} = h_{ch} - h_{chL}$
$h_{LDM} = (\lambda L / \varnothing_{DM}) * (V_{DM}^2 / 2g)$	$h_{C1} = R_{C1} * Q_{SP}$	$\xi_{sinch} = h_{chsin} * 2g / V_{ch}^2$
$h_{sinDM} = h_{DM} - h_{LDM}$		$\xi_{supl} = \xi_{sinch} - \epsilon_{act}$
$\xi_{tot} = h_{sinDM} * 2g / V_{DM}^2$		

RESULTATS DES CALCULS

7.4.1 CAS ACTUEL

Une fois le programme réalise nous avons une gamme de variantes possibles ; parmi celle-ci , nous avons choisi celles qui devraient nous fournir des débits ,des pressions et des vitesses d'écoulement acceptables.

Nous avons choisi les variantes suivantes :

STAND			CHATEAU NEUF						
$Q_s(l/s)$	$V_s(m/s)$	$h_s(m)$	$Q_{ch}(l/s)$	$V_{ch}(m/s)$	PDCtot	PDCL	PDCsing	ξ_{sing}	Rch
362.7	0.46	0.303	387.3	1	26.3	0.678	25.62	502.66	175.33
272.8	0.35	0.171	478.2	1.2	26.17	0.976	25.19	343.21	114.44
131.0	0.17	0.04	621	1.6	26.04	1.735	24.30	186.24	67.52

Les pompes devraient avoir les caractéristiques suivantes :

$Q_p(l/s)$	HMT(m)	P(kW)	$\eta(\%)$	$V_{C2} (m/s)$
750	183.6	825	83	0.789
751	183.5	826	83	0.791
752	183.4	827	83	0.792

7.4.2 CAS FUTUR :

Dans ce cas , le programme est plus compliqué que le précédent ,avec des résultats plus vastes.

Après traitement des résultats nous avons retenu les deux variantes suivantes :

Nous avons rajouté deux pompes différentes, et nous trouvons les résultats suivants :

Stand				Château-neuf						
$Q_s(l/s)$	PDC _s (m)	$V_s(m/s)$	$R_s(m^{-5}s^2)$	$Q_{ch}(l/s)$	PDC _{ch} (m)	PDC _{chl} (m)	PDC _{sing ch} (m)	$V_{ch}(m/s)$	ξ_{sing}	$R(m^{-5}s^2)$
900	1.86	1.15	2.3	386	27.86	0.68	27.18	1	533.27	186.98

Le diamètres a Djenane Malik est de $\phi_{DM}=700\text{mm}$.

Djenan Malik							Conduite C2	
ϕ_{DM} (mm)	Q_{DM} (l/s)	PDC_{DM} (m)	V_{DM} (m/s)	ξ_{DM}	h_{VM} (m)	ξ_{obt}	Q_{C2} (l/s)	V_{cr} (m/s)
700	551	87.86	1.4	341.89	33.66	53.4	1286	1.35

Les pompes devons avoir les caractéristiques suivantes :

1-Pompe actuelle (modifier)

	Q_{Ip} (l/s)	HMT(m)	P(kW)	η (%)	N(tour/min)	Q tot (l/s)
Pompe act	366.7	185.3	811	82	1490	733.4
Pompe prod	449.6	205.2	1101.3	82	1650	899.2

2-Pompe rajoutée (différente)

Q_{Ip} (l/s)	HMT(m)	Q_{proj}	Nombre de pompes
468.9	205	937.8	2

Puisqu'on doit diminuer la charge très importante dans les tronçons allant vers Djenan Malik et Château-neuf, donc nous devons mettre en œuvre une perte de charge assez grande (87.86 m pour D. Malik et 27.86 pour Ch-Neuf).

Cette PDC sera donner par plusieurs pièces hydrauliques tels que la somme des PDC engendrée par ces accessoires correspondants aux PDC que nous avons déterminé.

Dans chaque réservoir nous allons placer un obturateur à disque autocentreur, c'est un robinet à flotteur qui peut régler le remplissage des réservoirs, les protéger et mettre en œuvre une PDC importante que nous pouvons régler.

Le reste des PDC requises par le réseau seront données par des vannes fermées à un pourcentage déterminé.

De cette façon nous pouvons faire passer le débit voulu dans le tronçon de conduite que nous désirons.

8. Conclusion et recommandations

Notre étude a été axée sur trois parties :

1. Etude de l'alimentation (pompes)
2. Etude du récepteur (conduites et réservoirs)
3. Etude du système complet

Et dans le but de faire une étude grapho-analytique du système complet nous étions dans l'obligation de déterminer les courbes caractéristiques des deux parties afin de situer les points de fonctionnement des différentes variantes de marche du système.

A signaler qu'au niveau de la station la partie aspiration présentait un cas particulier dû au piquage sur cette dernière, ce qui explique le décalage de la courbe caractéristique relative à la partie aspiration.

Ayant fait l'étude du système complet nous avons remarqué que l'alimentation des deux étages (Stand et Château-neuf) actuellement et des trois étages (Stand, Château-neuf et Djenan Malik) à l'état future s'avère quasi impossible, et pour remédier à ce problème nous avons opté pour une solution tout en respectant les conditions suivantes :

- Le bon fonctionnement du système complet
- La vérification des contraintes de vitesse et de pression
- La régulation du système

Ayant remarqué la grande pression au niveau des deux étages Djenan Malik et Château-neuf par rapport à Stand, notre solution consiste à créer des pertes de charge supplémentaires afin de briser la pression importante entre les trois étages, ces pertes de charges doivent être créées par la fermeture partielle des vannes (à des degrés acceptables pour éviter des problèmes d'exploitation) au niveau des tronçons C4 (vers Château-neuf) et C5 (vers Djenan Malik) ; et cela en maintenant C3 (vers Stand) comme il l'était avant.

Mais pour se faire, la station doit dégagé un débit beaucoup plus important que le débit actuel pour cela nous avons opter pour deux variantes :

- Garder les mêmes pompes en ajoutant d'autres de même type tout en modifiant la vitesse de rotation pour un rendement acceptable.
- Changer les pompes actuelles en projetant d'autres plus importantes.

Reste le problème de la régulation du système pour ce dernier nous avons opter pour l'installation d'obturateurs au niveau des réservoirs Château-neuf et Djenan Malik pour caler ces derniers.

Notre choix s'est porté sur les obturateurs à disque autocentreur, car ils présentent les avantages suivant :

- Maintient du niveau d'eau sensiblement constant quels que soient les fluctuations du débit.
- Absence de coups de bélier
- Fonctionnement progressif et sans heurt
- Résistance à l'usure et à la cavitation quelque soit le degré d'ouverture et la charge à dissiper
- En plus il contribue à la création de pertes de charge singulières supplémentaires et c'est ce qui fait l'objet de notre solution

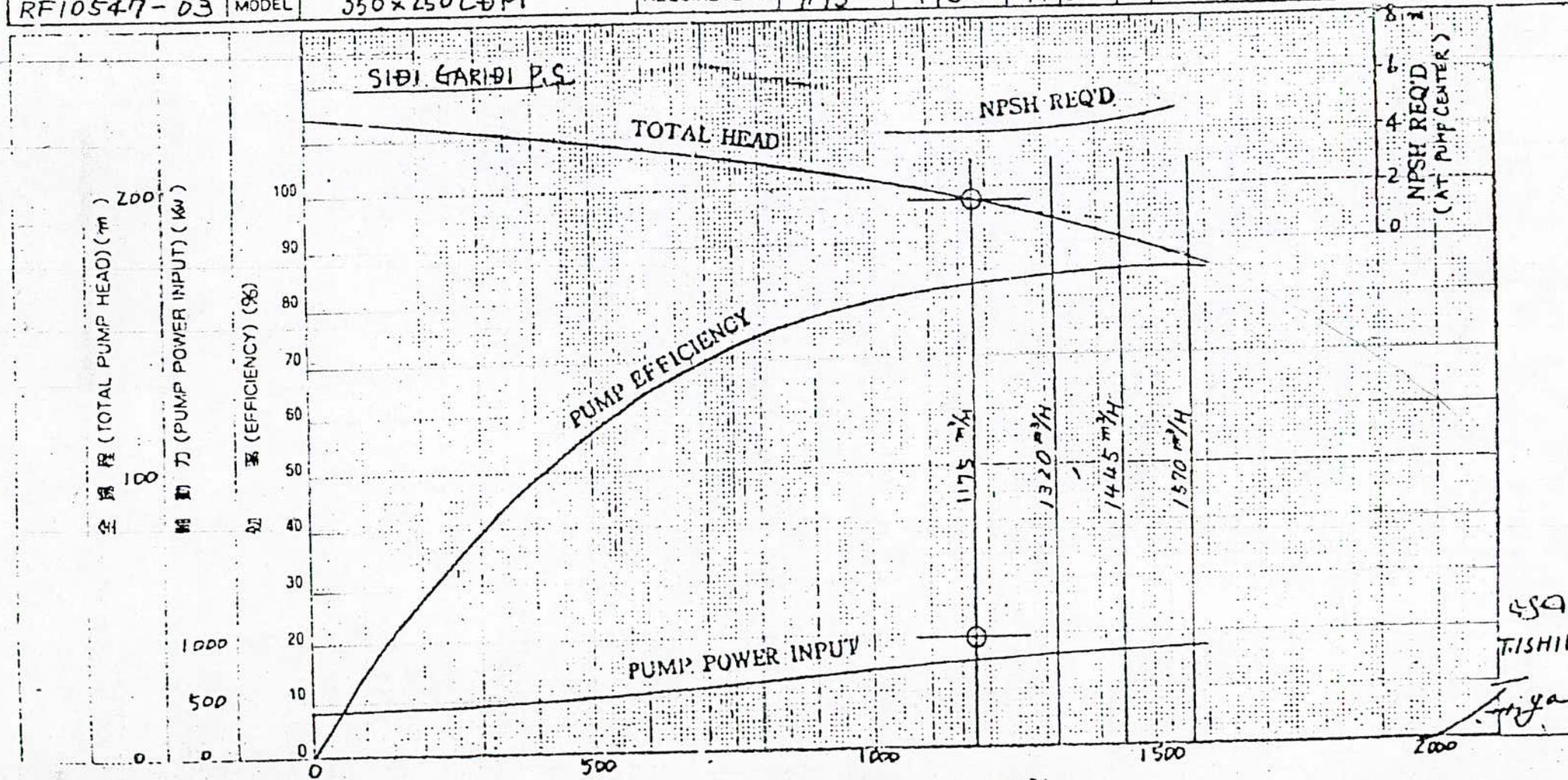
Nous pouvons conclure que nous avons apporté une sorte de semi automatisation du réseau vu que l'automatisation complète (commande à partir d'un ordinateur central) s'avère très onéreuse.

ANNEXE

性能曲線図(PERFORMANCE CURVES)

性能試験はJIS規格によります。
(ACCORDING TO JIS TESTING CODE)

御注文主 FOR MESSRS	UNION INVEST / MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE, ALGERIA			用途 SERVICE	FOR STAND LINE			日付 DATE
RF10547-03	機名 MODEL	350x250CDM	規定要目 REQUIREMENTS	1175 m ³ /h	195 m	1490 RPM	970	OCT. 25, 1984
							Sp. Gr. 1.0 VIS =	CURVE NO 549-DSN012
								REV. Z



型式P00+N119S1038CKN-

吐出量 (CAPACITY) (m³/h)

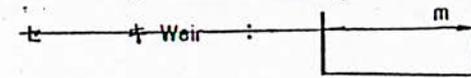
EBARA CORPORATION

549-TISHIDI

Signature

0008
 98/04/21 10:30
 EBARA TOKYO OVERSEAS
 03 3745 0961
 04/24 15:53

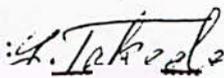
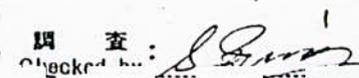
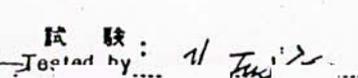
Item No. :
 御注文主 Customer: UNION INVEST / MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE ALGERIA
 製 番: EBARA Ser. No. RF 10547-03 Z/3
 機 名: Model Pump 350X250 EDM
 規定要項: Specified Items 117.5 m³/h x 19.5 m x 1490 min⁻¹ x 970 kW (γ=1.0 kg/l)
 電動機要項: Motor Perform. 5500 VX 121 AX 1485 min⁻¹ x 970 kW
 使用電動機: Employed Motor 製造者 RADE KONCAR 番号 999755 附 属 試 験 用 電 機 BY JOD

試験日: Date OCT/2-86
 御立会者: Witnessed by
 流量測定器 Measuring Method of Discharge
 セキ Weir : 
 オリフィス Orifice : d/D → +
 ベンチュリー Venturi : d/D 65.9/390.5
 計器の倍率 Magnification of Instrument.
 電圧計 Volt : 1/60 電流計 Amp. : 1/30 電力計 Watt : 1/

Test No.	回転数 Speed Nt (min ⁻¹)	吐出し量 Discharge		揚 程 Head					水 動 力 Water Power Lw (kW)	効 率 Efficiency η (%)	計器の読み Reading of Measuring Instrument			効 率 Efficiency (%)	軸 動 力 Shaft Power Li (kW)	規定状態に換算した値 Converted Values to Specified Conditions			
		計測器の読み Reading of Instrument	吐出し量 Discharge	吐出し Discharge	吸 込 Suction	測点高さ Gauge Height	速度水頭差 Vel. Head	全 揚 程 Total Head			電 圧 Voltage	電 流 Current	電 力 Input			N (min ⁻¹)	Q (/)	H ()	L ()
		h (mmHg)	Ql (m ³ /h)	Hd (m)	Hs (m)	Hg (m)	Hv (m)	Hl (m)			(V)	(A)	(W)						
1	1497	0	0	247.6	12.49	0	0	235.1	0	0	947	1.671	177	94.0	299.5				
2	1495	29.4	598.1	214.1	2.56	"	0.43	212.0	345.5	64.6	94.8	2.391	313	95.0	535.2				
3	1491	113.7	1176	194.5	2.63	"	1.67	193.5	620.1	82.4	94.5	3.169	440	95.0	752.4				
4	1491	142.8	1318	186.8	2.28	"	2.10	186.6	670.2	83.6	94.5	3.350	469	95.0	802.0				
5	1490	171.8	1446	178.8	2.07	"	2.53	179.3	706.5	84.5	94.1	3.491	489	95.0	836.2				
6	1490	201.6	1566	171.6	2.31	"	2.97	172.3	735.3	84.8	94.2	3.611	507	95.0	867.0				
7	1490	222.5	1645	166.2	2.30	"	3.27	167.2	749.5	84.8	94.4	3.671	517	95.0	884.1				
8																			

水 温 Water Temp.	°C	保証効率 Guaranteed Eff.	80.19 ~ 82.5 %
大 気 圧 Atmos. Press.	mmHg	適用規格 Standard	ISO 3555
運 転 時 間 Running Hours.	h	判 定 Result	GOOD
室 温 Room Temp.	°C		

備考 Remarks: Hv = 1.21 × 10⁻² (b)
 Qt = 110.3 √ h m³/H
 WITNESSED DATA

承認 Approved by:  調査 Checked by:  試験 Tested by:  11 July 86

(Annexe A03) Pertes de charge singulières cas N°1

N°	Singularité Type	Diamètre	Débit Total	ξ	Vitesse	V2/2g	PDC sin.
1	Entrée de l'aspiration	2000	669,75	0,500	0,21	0,0023	0,0012
2	Vanne papillon PN10	2000	669,75	0,280	0,21	0,0023	0,0006
3	Coude 90°- r/D=1	2000	669,75	0,500	0,21	0,0023	0,0012
4	Té	2000	1339,5	0,460	0,43	0,0093	0,0043
5	Coude 90°- r/D=1	2000	1339,5	0,500	0,43	0,0093	0,0046
6	Té	2000	1339,5	1,170	0,43	0,0093	0,0109
7	Vanne papillon PN10	1200	1339,5	0,320	1,18	0,0716	0,0229
8-9	Té	1200	1339,5	0,000	1,18	0,0716	0,0000
10	Té	1200	1339,5	0,050	1,18	0,0716	0,0036
11	Té	1200	979,5	0,000	0,87	0,0383	0,0000
12	Convergent (1200/1000)	1000	979,5	0,100	1,25	0,0794	0,0079
13	Té	1000	979,5	1,090	1,25	0,0794	0,0865
14	Vanne opercule	400	326,5	0,200	2,60	0,3444	0,0689
15	Convergent(400/250)	250	326,5	0,100	6,65	2,2572	0,2257
16	Divergent(250/350)	350	326,5	0,500	3,40	0,5876	0,2938
17	Clapet anti retour	350	326,5	2,100	3,40	0,5876	1,2339
18	Vanne papillon PN40	350	326,5	0,800	3,40	0,5876	0,4701
19	Té	500	326,5	1,450	1,66	0,1411	0,2046
20	Divergent(500/800)	800	326,5	0,600	0,65	0,0215	0,0129
21-22	Té	800	653	0,350	1,30	0,0861	0,0301
23	Divergent(800/1000)	1000	653	0,370	0,83	0,0353	0,0130
24-25	Té	1000	979,5	0,000	1,25	0,0794	0,0000
26	Té	1000	979,5	0,000	1,25	0,0794	0,0000
27	Débitmètre(1000/1100)	1100	979,5	0,210	1,03	0,0542	0,0114
28	Coude 90°- r/D=1,5	1100	979,5	0,410	1,03	0,0542	0,0222
29	Té	1100	979,5	0,004	1,03	0,0542	0,0002
30	Té	1100	979,5	0,004	1,03	0,0542	0,0002
31	Vanne papillon PN40	1100	979,5	0,800	1,03	0,0542	0,0434
Total							2,7741

(Annexe A04) Pertes de charge singulières cas N°2

N°	Singularité Type	Diamètre	Débit Total	ξ	Vitesse	V2/2g	PDC sin.
1	Entrée de l'aspiration	2000	506,5	0,500	0,16	0,0013	0,0007
2	Vanne papillon PN10	2000	506,5	0,280	0,16	0,0013	0,0004
3	Coude 90°- r/D=1	2000	506,5	0,500	0,16	0,0013	0,0007
4	Té	2000	1013	0,460	0,32	0,0053	0,0024
5	Coude 90°- r/D=1	2000	1013	0,500	0,32	0,0053	0,0027
6	Té	2000	1013	1,170	0,32	0,0053	0,0062
7	Vanne papillon PN10	1200	1013	0,320	0,90	0,0409	0,0131
8-9	Té	1200	1013	0,000	0,90	0,0409	0,0000
10	Té	1200	1013	0,050	0,90	0,0409	0,0020
11	Té	1200	653	0,000	0,58	0,0170	0,0000
12	Convergent (1200/1000)	1000	653	0,100	0,83	0,0353	0,0035
13	Té	1000	653	1,090	0,83	0,0353	0,0384
14	Vanne opercule	400	326,5	0,200	2,60	0,3444	0,0689
15	Convergent (400/250)	250	326,5	0,100	6,65	2,2572	0,2257
16	Divergent (250/350)	350	326,5	0,500	3,40	0,5876	0,2938
17	Clapet anti retour	350	326,5	2,100	3,40	0,5876	1,2339
18	Vanne papillon PN40	350	326,5	0,800	3,40	0,5876	0,4701
19	Té	500	326,5	1,450	1,66	0,1411	0,2046
20	Divergent (500/800)	800	326,5	0,600	0,65	0,0215	0,0129
21-22	Té	800	653	0,350	1,30	0,0861	0,0301
23	Divergent (800/1000)	1000	653	0,370	0,83	0,0353	0,0130
24-25	Té	1000	653	0,000	0,83	0,0353	0,0000
26	Té	1000	653	0,000	0,83	0,0353	0,0000
27	Débitmètre (1000/1100)	1100	653	0,210	0,69	0,0241	0,0051
28	Coude 90°- r/D=1,5	1100	653	0,410	0,69	0,0241	0,0099
29	Té	1100	653	0,004	0,69	0,0241	0,0001
30	Té	1100	653	0,004	0,69	0,0241	0,0001
31	Vanne papillon PN40	1100	653	0,800	0,69	0,0241	0,0193
Total							2,6576

(Annexe A06) Pertes de charge singulières cas N°4

N°	Singularité Type	Diamètre	Débit Total	ξ	Vitesse	V2/2g	PDC sin.
1	Entrée de l'aspiration	2000	489,75	0,500	0,16	0,0012	0,0006
2	Vanne papillon PN10	2000	489,75	0,280	0,16	0,0012	0,0003
3	Coude 90°- r/D=1	2000	489,75	0,500	0,16	0,0012	0,0006
4	Té	2000	979,5	0,460	0,31	0,0050	0,0023
5	Coude 90°- r/D=1	2000	979,5	0,500	0,31	0,0050	0,0025
6	Té	2000	979,5	1,170	0,31	0,0050	0,0058
7	Vanne papillon PN10	1200	979,5	0,320	0,87	0,0383	0,0122
8-9	Té	1200	979,5	0,000	0,87	0,0383	0,0000
10	Té	1200	979,5	0,050	0,87	0,0383	0,0019
11	Té	1200	979,5	0,000	0,87	0,0383	0,0000
12	Convergent (1200/1000)	1000	979,5	0,100	1,25	0,0794	0,0079
13	Té	1000	979,5	1,090	1,25	0,0794	0,0865
14	Vanne opercule	400	326,5	0,200	2,60	0,3444	0,0689
15	Convergent (400/250)	250	326,5	0,100	6,65	2,2572	0,2257
16	Divergent (250/350)	350	326,5	0,500	3,40	0,5876	0,2938
17	Clapet anti retour	350	326,5	2,100	3,40	0,5876	1,2339
18	Vanne papillon PN40	350	326,5	0,800	3,40	0,5876	0,4701
19	Té	500	326,5	1,450	1,66	0,1411	0,2046
20	Divergent (500/800)	800	326,5	0,600	0,65	0,0215	0,0129
21-22	Té	800	653	0,350	1,30	0,0861	0,0301
23	Divergent (800/1000)	1000	653	0,370	0,83	0,0353	0,0130
24-25	Té	1000	979,5	0,000	1,25	0,0794	0,0000
26	Té	1000	979,5	0,000	1,25	0,0794	0,0000
27	Débitmètre (1000/1100)	1100	979,5	0,210	1,03	0,0542	0,0114
28	Coude 90°- r/D=1,5	1100	979,5	0,410	1,03	0,0542	0,0222
29	Té	1100	979,5	0,004	1,03	0,0542	0,0002
30	Té	1100	979,5	0,004	1,03	0,0542	0,0002
31	Vanne papillon PN40	1100	979,5	0,800	1,03	0,0542	0,0434
Total							2,7510

(Annexe A08) Pertes de charge singulières cas N°6

N°	Singularité Type	Diamètre	Débit Total	ξ	Vitesse	V2/2g	PDC sin.
1	Entrée de l'aspiration	2000	163,25	0,500	0,05	0,0001	0,0001
2	Vanne papillon PN10	2000	163,25	0,280	0,05	0,0001	0,0000
3	Coude 90°- r/D=1	2000	163,25	0,500	0,05	0,0001	0,0001
4	Té	2000	326,5	0,460	0,10	0,0006	0,0003
5	Coude 90°- r/D=1	2000	326,5	0,500	0,10	0,0006	0,0003
6	Té	2000	326,5	1,170	0,10	0,0006	0,0006
7	Vanne papillon PN10	1200	326,5	0,320	0,29	0,0043	0,0014
8-9	Té	1200	326,5	0,000	0,29	0,0043	0,0000
10	Té	1200	326,5	0,050	0,29	0,0043	0,0002
11	Té	1200	326,5	0,000	0,29	0,0043	0,0000
12	Convergent (1200/1000)	1000	326,5	0,100	0,42	0,0088	0,0009
13	Té	1000	326,5	1,090	0,42	0,0088	0,0096
14	Vanne opercule	400	326,5	0,200	2,60	0,3444	0,0689
15	Convergent (400/250)	250	326,5	0,100	6,65	2,2572	0,2257
16	Divergent (250/350)	350	326,5	0,500	3,40	0,5876	0,2938
17	Clapet anti retour	350	326,5	2,100	3,40	0,5876	1,2339
18	Vanne papillon PN40	350	326,5	0,800	3,40	0,5876	0,4701
19	Té	500	326,5	1,450	1,66	0,1411	0,2046
20	Divergent (500/800)	800	326,5	0,600	0,65	0,0215	0,0129
21-22	Té	800	326,5	0,350	0,65	0,0215	0,0075
23	Divergent (800/1000)	1000	326,5	0,370	0,42	0,0088	0,0033
24-25	Té	1000	326,5	0,000	0,42	0,0088	0,0000
26	Té	1000	326,5	0,000	0,42	0,0088	0,0000
27	Débitmètre (1000/1100)	1100	326,5	0,210	0,34	0,0060	0,0013
28	Coude 90°- r/D=1,5	1100	326,5	0,410	0,34	0,0060	0,0025
29	Té	1100	326,5	0,004	0,34	0,0060	0,0000
30	Té	1100	326,5	0,004	0,34	0,0060	0,0000
31	Vanne papillon PN40	1100	326,5	0,800	0,34	0,0060	0,0048
Total							2,5428

(Annexe A09) Pertes de charge singulières cas N°7

N°	Singularité Type	Diamètre	Débit Total	ξ	Vitesse	V2/2g	PDC sin.
1	Entrée de l'aspiration	2000	1019,75	0,500	0,32	0,0054	0,0027
2	Vanne papillon PN10	2000	1019,75	0,280	0,32	0,0054	0,0015
3	Coude 90°- r/D=1	2000	1019,75	0,500	0,32	0,0054	0,0027
4	Té	2000	2039,5	0,460	0,65	0,0215	0,0099
5	Coude 90°- r/D=1	2000	2039,5	0,500	0,65	0,0215	0,0108
6	Té	2000	2039,5	1,170	0,65	0,0215	0,0252
7	Vanne papillon PN10	1200	1339,5	0,320	1,18	0,0716	0,0229
8-9	Té	1200	1339,5	0,000	1,18	0,0716	0,0000
10	Té	1200	1339,5	0,050	1,18	0,0716	0,0036
11	Té	1200	979,5	0,000	0,87	0,0383	0,0000
12	Convergent (1200/1000)	1000	979,5	0,100	1,25	0,0794	0,0079
13	Té	1000	979,5	1,090	1,25	0,0794	0,0865
14	Vanne opercule	400	326,5	0,200	2,60	0,3444	0,0689
15	Convergent (400/250)	250	326,5	0,100	6,65	2,2572	0,2257
16	Divergent (250/350)	350	326,5	0,500	3,40	0,5876	0,2938
17	Clapet anti retour	350	326,5	2,100	3,40	0,5876	1,2339
18	Vanne papillon PN40	350	326,5	0,800	3,40	0,5876	0,4701
19	Té	500	326,5	1,450	1,66	0,1411	0,2046
20	Divergent (500/800)	800	326,5	0,600	0,65	0,0215	0,0129
21-22	Té	800	653	0,350	1,30	0,0861	0,0301
23	Divergent (800/1000)	1000	653	0,370	0,83	0,0353	0,0130
24-25	Té	1000	979,5	0,000	1,25	0,0794	0,0000
26	Té	1000	979,5	0,000	1,25	0,0794	0,0000
27	Débitmètre (1000/1100)	1100	979,5	0,210	1,03	0,0542	0,0114
28	Coude 90°- r/D=1,5	1100	979,5	0,410	1,03	0,0542	0,0222
29	Té	1100	979,5	0,004	1,03	0,0542	0,0002
30	Té	1100	979,5	0,004	1,03	0,0542	0,0002
31	Vanne papillon PN40	1100	979,5	0,800	1,03	0,0542	0,0434
Total							2,8041

(Annexe A13) Pertes de charge singulières cas N°11

N°	Singularité Type	Diamètre	Débit Total	ξ	Vitesse	V2/2g	PDC sin.
1	Entrée de l'aspiration	2000	676,5	0,500	0,22	0,0024	0,0012
2	Vanne papillon PN10	2000	676,5	0,280	0,22	0,0024	0,0007
3	Coude 90°- r/D=1	2000	676,5	0,500	0,22	0,0024	0,0012
4	Té	2000	1353	0,460	0,43	0,0095	0,0044
5	Coude 90°- r/D=1	2000	1353	0,500	0,43	0,0095	0,0047
6	Té	2000	1353	1,170	0,43	0,0095	0,0111
7	Vanne papillon PN10	1200	653	0,320	0,58	0,0170	0,0054
8-9	Té	1200	653	0,000	0,58	0,0170	0,0000
10	Té	1200	653	0,050	0,58	0,0170	0,0009
11	Té	1200	653	0,000	0,58	0,0170	0,0000
12	Convergent (1200/1000)	1000	653	0,100	0,83	0,0353	0,0035
13	Té	1000	653	1,090	0,83	0,0353	0,0384
14	Vanne opercule	400	326,5	0,200	2,60	0,3444	0,0689
15	Convergent (400/250)	250	326,5	0,100	6,65	2,2572	0,2257
16	Divergent (250/350)	350	326,5	0,500	3,40	0,5876	0,2938
17	Clapet anti retour	350	326,5	2,100	3,40	0,5876	1,2339
18	Vanne papillon PN40	350	326,5	0,800	3,40	0,5876	0,4701
19	Té	500	326,5	1,450	1,66	0,1411	0,2046
20	Divergent (500/800)	800	326,5	0,600	0,65	0,0215	0,0129
21-22	Té	800	653	0,350	1,30	0,0861	0,0301
23	Divergent (800/1000)	1000	653	0,370	0,83	0,0353	0,0130
24-25	Té	1000	653	0,000	0,83	0,0353	0,0000
26	Té	1000	653	0,000	0,83	0,0353	0,0000
27	Débitmètre (1000/1100)	1100	653	0,210	0,69	0,0241	0,0051
28	Coude 90°- r/D=1,5	1100	653	0,410	0,69	0,0241	0,0099
29	Té	1100	653	0,004	0,69	0,0241	0,0001
30	Té	1100	653	0,004	0,69	0,0241	0,0001
31	Vanne papillon PN40	1100	653	0,800	0,69	0,0241	0,0193
Total							2,6590

(Annexe A14) Pertes de charge singulières cas N°12

N°	Singularité Type	Diamètre	Débit Total	ξ	Vitesse	V2/2g	PDC sin.
1	Entrée de l'aspiration	2000	513,25	0,500	0,16	0,0014	0,0007
2	Vanne papillon PN10	2000	513,25	0,280	0,16	0,0014	0,0004
3	Coude 90°- r/D=1	2000	513,25	0,500	0,16	0,0014	0,0007
4	Té	2000	1026,5	0,460	0,33	0,0054	0,0025
5	Coude 90°- r/D=1	2000	1026,5	0,500	0,33	0,0054	0,0027
6	Té	2000	1026,5	1,170	0,33	0,0054	0,0064
7	Vanne papillon PN10	1200	326,5	0,320	0,29	0,0043	0,0014
8-9	Té	1200	326,5	0,000	0,29	0,0043	0,0000
10	Té	1200	326,5	0,050	0,29	0,0043	0,0002
11	Té	1200	326,5	0,000	0,29	0,0043	0,0000
12	Convergent (1200/1000)	1000	326,5	0,100	0,42	0,0088	0,0009
13	Té	1000	326,5	1,090	0,42	0,0088	0,0096
14	Vanne opercule	400	326,5	0,200	2,60	0,3444	0,0689
15	Convergent (400/250)	250	326,5	0,100	6,65	2,2572	0,2257
16	Divergent (250/350)	350	326,5	0,500	3,40	0,5876	0,2938
17	Clapet anti retour	350	326,5	2,100	3,40	0,5876	1,2339
18	Vanne papillon PN40	350	326,5	0,800	3,40	0,5876	0,4701
19	Té	500	326,5	1,450	1,66	0,1411	0,2046
20	Divergent (500/800)	800	326,5	0,600	0,65	0,0215	0,0129
21-22	Té	800	326,5	0,350	0,65	0,0215	0,0075
23	Divergent (800/1000)	1000	326,5	0,370	0,42	0,0088	0,0033
24-25	Té	1000	326,5	0,000	0,42	0,0088	0,0000
26	Té	1000	326,5	0,000	0,42	0,0088	0,0000
27	Débitmètre (1000/1100)	1100	326,5	0,210	0,34	0,0060	0,0013
28	Coude 90°- r/D=1,5	1100	326,5	0,410	0,34	0,0060	0,0025
29	Té	1100	326,5	0,004	0,34	0,0060	0,0000
30	Té	1100	326,5	0,004	0,34	0,0060	0,0000
31	Vanne papillon PN40	1100	326,5	0,800	0,34	0,0060	0,0048
Total							2,5548

– Djenane Malik

C2	2-4	– Stand – Château neuf	Béton	1100	2688,97	653	2,00	0,0209	0,69	1,354
C3	4-5	– Stand	Béton	1000	917,86	653	2,00	0,0234	0,83	0,757
C4	4-6	– Château neuf	Fonte ductile	700	500,00	653	0,50	0,0400	1,70	2,938

(Annexe A19) Pertes de charge singulière tronçon 0-1

singularité		ξ	Débit	Section	Vitesse	PDC sin	PDC sin x Nbr
Type	Nbr		(l/s)	(m ²)	(m/s)	(m)	(m)
Divergent(250/350)	1	0,5000	326,5	0,096	3,40	0,2938	0,2938
Clapet anti retour	1	2,1000	326,5	0,096	3,40	1,2339	1,2339
Vanne papillon PN40	1	0,8000	326,5	0,096	3,40	0,4701	0,4701
Té	1	1,4500	326,5	0,196	1,66	0,2046	0,2046
Divergent(500/800)	1	0,6000	326,5	0,503	0,65	0,0129	0,0129
Té	2	0,3500	653	0,503	1,30	0,0301	0,0301
Divergent(800/1000)	1	0,3700	653	0,785	0,83	0,0130	0,0130
Té	2	0,0000	653	0,785	0,83	0,0000	0,0000
Té	1	0,0000	653	0,785	0,83	0,0000	0,0000
Débitmètre(1000/1100)	1	0,2100	653	0,950	0,69	0,0051	0,0051
Coude 90° - r/D=1,5	1	0,4100	653	0,950	0,69	0,0099	0,0099
Té	1	0,0040	653	0,950	0,69	0,0001	0,0001
Té	1	0,0040	653	0,950	0,69	0,0001	0,0001
Vanne papillon PN40	1	0,8000	653	0,950	0,69	0,0193	0,0193
Coude 01°	37	0,0040	652	1,130	0,58	0,0001	0,0025
Coude 02°	30	0,0080	652	1,130	0,58	0,0001	0,0041
Coude 03°	14	0,0120	652	1,130	0,58	0,0002	0,0029
Coude 04°	11	0,0160	652	1,130	0,58	0,0003	0,0030
Coude 05°	7	0,0240	652	1,130	0,58	0,0004	0,0029
Coude 06°	10	0,0300	652	1,130	0,58	0,0005	0,0051
Coude 07°	14	0,0320	652	1,130	0,58	0,0005	0,0076
Coude 08°	7	0,0360	652	1,130	0,58	0,0006	0,0043
Coude 09°	4	0,0400	652	1,130	0,58	0,0007	0,0027
Coude 10°	1	0,0440	652	1,130	0,58	0,0007	0,0007
Coude 11°	1	0,0476	652	1,130	0,58	0,0008	0,0008
Coude 12°	3	0,0512	652	1,130	0,58	0,0009	0,0026
Coude 13°	1	0,0548	652	1,130	0,58	0,0009	0,0009
Coude 14°	3	0,0600	652	1,130	0,58	0,0010	0,0031
Coude 16°	3	0,0764	652	1,130	0,58	0,0013	0,0039
Coude 17°	1	0,0908	652	1,130	0,58	0,0015	0,0015
Coude 19°	2	0,1196	652	1,130	0,58	0,0020	0,0041

singularité		ξ	Débit	Section	Vitesse	PDC sin	PDC sin	
Type	Nbr		(l/s)	(m ²)	(m/s)	(m)	x Nbr	(m)
Coude 20°	4	0,1340	652	1,130	0,58	0,0023	0,0091	
Coude 21°	1	0,1484	652	1,130	0,58	0,0025	0,0025	
Coude 26°	1	0,1840	652	1,130	0,58	0,0031	0,0031	
Coude 27°	2	0,1900	652	1,130	0,58	0,0032	0,0064	
Coude 28°	2	0,1950	652	1,130	0,58	0,0033	0,0066	
Coude 29°	1	0,1999	652	1,130	0,58	0,0034	0,0034	
Coude 33°	2	0,2400	652	1,130	0,58	0,0041	0,0081	
Coude 35°	1	0,2667	652	1,130	0,58	0,0045	0,0045	
Coude 36°	1	0,2800	652	1,130	0,58	0,0048	0,0048	
Coude 38°	2	0,3067	652	1,130	0,58	0,0052	0,0104	
Coude 40°	1	0,3333	652	1,130	0,58	0,0057	0,0057	
Coude 41°	1	0,3467	652	1,130	0,58	0,0059	0,0059	
Coude 42°	1	0,3600	652	1,130	0,58	0,0061	0,0061	
Coude 43°	1	0,3733	652	1,130	0,58	0,0063	0,0063	
Coude 45°	2	0,4000	652	1,130	0,58	0,0068	0,0136	
Coude 55°	1	0,6000	652	1,130	0,58	0,0102	0,0102	
Coude 58°	3	0,6600	652	1,130	0,58	0,0112	0,0336	
Coude 60°	2	0,7000	652	1,130	0,58	0,0119	0,0238	
Coude 66°	1	0,8200	652	1,130	0,58	0,0139	0,0139	
Coude 69°	1	0,8800	652	1,130	0,58	0,0149	0,0149	
Coude 71°	1	0,9200	652	1,130	0,58	0,0156	0,0156	
Coude 75°	1	1,0000	652	1,130	0,58	0,0170	0,0170	
Vidange	8		652	1,130				
Soupape	9		652	1,130				Total
Vanne	1	0,2500	652	1,130	0,58	0,0042	0,0042	2,575

(Annexe A24) Pertes de charge totales - refoulement

	Tronçon	Destination	PDC Lin. (m)	PDC Sin. (m)	PDC Totales (m)
C1	0-1	- Stand - Château neuf - Djenan Malik	1,112	2,575	3,687
	1-2	- Stand - Château neuf - Djenan Malik	1,532	0,135	1,666
C2	2-4	- Stand - Château neuf	1,354	0,282	1,635
C3	4-5	- Stand	0,757	0,282	1,040
C4	4-6	- Château neuf	2,938	0,119	3,057

(Annexe A25) Pertes de charge totales pour les deux variantes vers Djenane Malik (Situation future)

Tronçon	Matériaux	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Rugosité (mm)	λ/D	PDC _{Lin} (m)	PDC _{Sin} (m)	PDC _{Tot} (m)
C5										
a	Fonte	300	700	653	1.7	0.5	0.0266	1.175	0.353	1.528
b	Béton	300	700	653	1.7	2.0	0.0368	1.626	0.488	2.114

Bibliographie

- [1] Antal Thuma
Machines hydrauliques 352 p - 1993
Office des publications universitaires.
- [2] Association générale des hygiénistes et techniciens municipaux.
Les stations de pompage d'eau 445 p - 1986
Techniques et documentation - Lavoisier
- [3] Carlier M.R.
Hydraulique générale et appliquée 565 p - 1980
Eyrolles
- [4] Degremond
Memento technique de l'eau 1200 p - 1978
Technique et documentation - Lavoisier
- [5] Featherstone R.E. et Neluri C.
Civil engineering hydraulics. 367 p - 1982
Collins
- [6] Gomella et Guerré
Guide de l'alimentation en eau dans les agglomérations urbaines
et rurales. 296 p - 1985
Eyrolles
- [7] Idelcik
Memento des pertes de charge. 634 p - 1996
Eyrolles
- [8] Lencastre A
Hydraulique générale. 634 p - 1996
Eyrolles
- [9] Morel M.A. et Laborde J.P.
Exercice de mécanique des fluides, Tome 1. 284 p, Tome 2. 382
p - 1994
Chihabe - Eyrolles
- [10] Sulzer
Kreiselpumpen Handbuch. 341 p - 1987
- [11] Ronald V. Giles. Serie Schaume
Mécanique des fluides et hydrauliques. 272 p - 1989
- [12] Theses Fodil Hafida, Oucif Zineb
Optimisation du fonctionnement du système SPIK. 179 p -
Promotion 1992
Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur
d'état en hydraulique
Proposé et dirigé par M. Saïfi Farid. USTHB

Catalogue

- [13] Erhard catalogue - vannes papillons

RESUME :

L'objectif du présent travail est de faire l'étude hydraulique d'une partie du SPIK qui consiste à alimenter trois étages simultanément qui sont les suivants :

- Stand (5000 m³).
- Château neuf (3000 m³).
- Djenane Malik (5000 m³).

Et cela a partir de la station de pompage Garidi , en sachant que le réseau vers Stand et Château neuf est réalisé, alors que la branche vers Djenane Malik ne l'est pas faute d'étude préalable. Nous tenons a signaler qu'actuellement il n'y a que le réservoir de Stand qui est alimenté.

Abstract :

The aim of present work is to make the hydraulic study of a part of SPIK which consists in feed of three stories simultaneously which is the following:

- Stand (5000 m³).
- Château neuf (3000 m³).
- Djenane Malik (5000 m³).

And that starting from the pump station of Garidi, in knowing that the network toward Stand and Château neuf are realized, so that the branch toward Djenane Malik is not realized for lack of previous study. We must signaling that currently only Stand which is supplied.

ملخص :

إن موضوع هذا البحث هو دراسة جزء من مشروع SPIK الذي يتمثل في تزويد ثلاثة مناطق في نفس الوقت بالماء وهما كالتالي:

- حزان Stand 5000 متر مكعب.
- حزان Chateau Neuf 3000 متر مكعب.
- حزان Djenane Malik 5000 متر مكعب.

و هذا انطلاقا من محطة الضخ بقاريدي . مع العلم بان الأنابيب المؤدية إلى Stand و Chateau Neuf منجورة من قبل أما الأنابيب المؤدية إلى Djenane Malik لم يتم إنجازها بعد . نظرا لعدم توفر دراسة مسبقة و دقيقة . يجدر الذكر بان المحطة تضخ الماء حاليا في اتجاه Stand فقط .