

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITÉ ABOU BAKR BELKAID**  
**FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR DÉPARTEMENT**  
**D'HYDRAULIQUE**

**MEMOIRE**

Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme **MASTER** en **HYDRAULIQUE**  
Option: Eau, Sol et Aménagement

**Thème :**

**ELABORATION D'UN LOGICIEL POUR  
LE CALCUL DES ECOULEMENTS EN CHARGE**

Présenté par  
**M<sup>r</sup> MANSOURI SAMIR**

**Soutenu publiquement le : ..../..../....**

**Devant le jury composé de :**

Benmansour. A.  
Ghanim.A.  
Habi .M.

President  
Examineur  
Encadreur

## ملخص

إن دراسة التدفقات تحت الضغط ، له أهمية كبيرة في دراسات المشاريع وتوزيع المياه، سواء المشاريع المائية أو الصناعية في هذا العمل تعرضنا إلي تعريف المفاهيم الهيدروليكية الضرورية للحساب في البرنامج.

لهذا الغرض قد تم تطوير البرنامج لحل القضايا التالية:

- حساب و رسم منحنى الطاقة الهيدروليكي.
- نقطة التشغيل في «مضخة».
- شبكة (خزان توريد عدة خزانات).
- اختبار البرنامج عالجنا أمثلة نظرية واجهناها في الكتب.

## *Résumé*

L'étude des écoulements en charge, a une grande importance dans les études des projets de transfert et la distribution d'eau ,soit en projets hydrauliques ou industriels.

Dans ce travail on a exposé la definition des paramètres hydrauliques nécessaires au calcul établie par Le logiciel.A cet effet, le logiciel AFC a été élaboré pour résoudre les questions suivantes:

- Calcul des pertes de charge.
- Calcul de la ligne piézométrique.
- Calcul du point de fonctionnement d'une pompe.
- Calcul de la capacité d'un reservoir.
- Calcul d'un réseau (reservoir alimentant plusieurs reservoirs).

Afin de tester le logiciel AFC, on a traité des exemples théoriques rencontrés dans la littérature.

## **Abstract**

The study of flows in charge, has a great importance in studies of projects transfert and distribution of "water, either hydraulic or industrial projects. In this work we exposed the definition of hydraulic parameters necessary to calculate established by the software.

For this purpose, the software was developed AFC resourare to the following questions:

- Calculus of losses.
- Calculus Of the hydraulic grade line.
- Calculation Of the operating point of "a pump.
- Calculus Capacity of a tank.
- Calculus A network (tank supplying several reservoirs).

To test the software AFC were treated theoretical examples encountered in literature.

## ***Remerciements***

*Je commence par remercier dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.*

*Mes plus vifs remerciements vont à **Mr HABI .M** pour avoir accepté de m'encadrer et nous diriger tout en long de la réalisation de ce projet, et pour tout les conseils instructifs et judicieux et leur disponibilité.*

*Je tiens à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je tiens à remercier mes collegues, cadres ADE du projet chott el gharbi.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire en guise de reconnaissance à Mes chers parents, à ma famille pour son encouragement, à mes amis et collègues de travail , mes collègues de la promotion de la Post Graduation, A tous ceux que j'aime dans ce monde, ce présent travail est en partie le votre.*

**MANSOURI .S**

## NOMENCLATURE DES SYMBOLES

- A: surface de la section transversale de la conduite ( $m^2$ )
- $A^-$ : Surface moyenne entre deux sections de la conduite ( $m^2$ )
- $A_r$ : coefficient de résistance.
- $C_d$ : Coefficient de décharge ( $lps/m^{0.5}$ ).
- $C_f$ : facteur de conversion d'unité.
- CHW: coefficient de Hazen-Williams.
- $C_v$ : coefficient de vanne [ $(m^3/s) / (Kpa)^{0.5}$ ].
- D : diamètre (m).
- e : épaisseur de la conduite (m).
- f : coefficient de frottement ou coefficient de résistance à l'écoulement.
- g: Accélération de pesanteur ( $m/s^2$ ).
- H: Charge hydraulique totale (m).
- $H_d$ : charge de vitesse (m).
- $h_L$ : pertes de charge due au frottement (m).
- $h_m$ : perte de charge singulière (m).
- HMT : hauteur manométrique totale exprimé (m).
- $h_p$ : charge de la pompe (m).
- $h_r$ : résistance du conduit.
- $H_{st}$ : hauteur d'élevation statique (m).
- h : charge de la pompe au débit nulle (m).
- $H^*$ : charge statique (m).
- K : coefficient dépend de l'élasticité du matériau constituant la conduite.
- $K_L$ : coefficient de perte de charge singulière.
- $K_m$ : coefficient de résistance de la perte de charge singulière ( $s^2/m^5$ ).
- $K_p$ : coefficient de résistance de la conduite ( $s^Z / m^{3Z-1}$ ).
- L: distance entre deux sections de la conduite (m).
- $L_e$ : longueur équivalente de la conduite (m).
- m : coefficient de pertes singulières.
- N: Périmètre de la section transversale de la canalisation (m).

$n$  : coefficient de rugosité de Manning.

$P$  : pression moyenne dans la conduite (pascalle).

$P_N$  : pression nominale (bars).

$P_P$  : puissance de la pompe (kw).

$Q$  : Débit ( $m^3/s$ ).

$Q_P$  : Débit de la pompe ( $m^3/s$ ).

$Re$  : Nombre de Reynolds.

$r$  : Coefficient de résistance.

$\epsilon$  : Index de la rugosité interne de la conduite (m).

$t$  : Le temps en seconde.

$U_0$  : La vitesse initiale de l'eau dans la conduite en m/s.

$V$  : Vitesse moyenne du fluide (m/s).

$Z$  : Altitude du point considéré (m).

$\alpha$  : Angle de la conduite par rapport à l'horizontale (deg).

$\gamma$  : Poids spécifique du fluide ( $Kg/m^2/s^2$ ).

$\mu$  : Viscosité absolue ( $Kg/m/s$ ).

$\vartheta$  : Viscosité cinématique ( $m^2/s$ ).

$\rho$  : Densité du fluide ( $Kg / m^3$ ).

$R_0$  : effort de cisaillement le long de paroi du conduit.

# TABLE DES MATIERES

Introduction générale .....	4
<b>Chapitre I : Ecoulement en charge</b>	
I.1. Introduction: .....	4
I.2. Vitesse et Régime d'écoulement : .....	4
I.3. Profil de Vitesse: .....	6
I.4. Concept d'énergie:.....	7
I.5. Les pertes de charge ou déperditions d'énergie: .....	9
I.5.1.Pertes de charge dues au frottement : .....	9
I.5.2.Formule de Darcy-Weisbach :.....	11
I.5.3.Équation de Colebrook –White et Diagramme universel de Moody : .....	13
I.5.4.Formule de Swamee-Jain : .....	16
I.5.5. La Formule de Hazen-Williams: .....	16
I.5.6 Équation de Manning : .....	17
I.5.7. Comparaison entre les méthodes de calcul de la perte de charge par frottement : .....	18
I.6.Pertes de charge singulières:.....	19
I.6.1.Coefficient de vanne ( coefficient de débit) : .....	21
I.6.2. Longueur équivalente de conduite : .....	21
I.7.Coefficient de résistance : .....	22
I.7.1 Darcy Weisbach : .....	23
I.7.2 Hazen- Williams :.....	23
I.7.3 Manning :.....	23
I.7.4.Coefficient de résistance pour les pertes de charge singulières : .....	23
I.8. Pompes centrifuges :.....	24
I.8.1.Courbes caractéristiques d'une pompe:.....	25
<i>La courbe caractéristique débit –hauteur</i> : .....	25
I.8.2.Point de fonctionnement d'une pompe :.....	27
I.8.3. La combinaison des pompes:.....	28
I.9.Dimensionnement de reseaux d'Adduction : .....	28
I.9.1.Adduction gravitaire :.....	29
I.9.2.Adduction par refoulement.....	31
I.9.4.Application du dimensionnement en projets: .....	34

## **Chapitre II : Organigrammes et Algorithmes**

II.1.Introduction: .....	38
II.2. Calcul des pertes de charges par la formule de Colebrook: .....	38
II.2.1.Algorithme: .....	38
Organigramme: .....	39
II.3.Calcul et trace de la ligne piézométrique écoulement gravitaire : .....	40
II.3.1 Algorithme: .....	40
II.3.2.Organigramme : .....	40
II.4. Calcul et trace de la ligne piézométrique écoulement par refoulement .....	41
II.4.1.Surpression: .....	41
II.4.2.: Pompage : .....	42
II.5.1.Algorithme: .....	43
II.5.2.Organigramme: .....	43
II.6.1.Calcul des debits de conduites et la charge au point de raccordement : .....	44
II.6.2.Calcul des diamètres de conduites avec débit imposé : .....	45

## **Chapitre III : Développement du logiciel AFC**

III.1. Introduction : .....	47
III.2. Langage Et Environnement : .....	47
III-3- Presentation du Logiciel AFC : .....	48

## **Chapitre IV : Application sur AFC**

IV-1 Introduction: .....	66
IV-2 -1- Calcul des pertes de charges : .....	66
IV-2 -2- Calcul la ligne piezométrique : .....	68
IV-2 -3- Calcul des diamètres de conduites,debits connues : .....	72
IV-2 -4- Calcul de la charge au point de raccordement et les débits dans les conduites : ....	74
IV-2 -5- Calcul de lacaracteristique d'une pompe : .....	75
IV-2-9 Calcul du point de fonctionnement de pompe: .....	79
CONCLUSION GENERALE,.....	81

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau existe en quantité finie, elle tombe et s'écoule sur terre selon les climats, Hommes et eau ne se trouvent pas donc nécessairement concentrés aux mêmes endroits. Ce décalage parfois observable entre les populations et l'abondance de l'eau est à l'origine de la complexité des réseaux hydrauliques.

La technologie informatique a été mobilisée depuis longtemps pour remédier à la complexité des réseaux hydrauliques, tout en facilitant le calcul des différents paramètres hydrauliques relatives au problème donné.

Cela a commencé il y a longtemps par l'invention des langages de programmation informatiques qui ont contribué à résoudre les différentes équations et au calcul rapide des différents cas hydrauliques.

Les projets numériques nécessitent une maîtrise et une connaissance d'un ou plusieurs langages de programmation ainsi que des lois qui régissent l'écoulement de l'eau et les théories fondamentales de l'hydraulique.

Pour ces raisons que cette science n'a cessé de se développer depuis longtemps, la modélisation des réseaux d'alimentation en eau est la dernière technologie dans ce processus d'avancement et elle est devenue une partie critique de concevoir et de gestion des systèmes d'alimentation en eau qui sont capables de répondre aux besoins, actuels et futurs, de la population d'une façon sûre, efficace, et sans risque.

La disponibilité de plus en plus de modèles sophistiqués et accessibles permet à ces buts d'être entièrement réalisés plus que jamais avant.

Un aperçu dans la littérature de la modélisation des réseaux et systèmes de transfert d'eau, nous montrent l'existence de plusieurs logiciels, malgré que les uns se différencient par rapport aux autres par leurs formulations mathématiques, algorithmes, domaines d'application, facilités d'utilisations, mais à la fin tous les programmes de modélisation des réseaux de conduites sont similaires, chaque programme

détermine la répartition des débits dans les conduites et calcule les pressions, les pertes de charge dans la conduite en plus tous les programmes construis et résoud les matrices .

Notre travail consiste à élaborer, un logiciel qui calcule différentes paramètres hydrauliques, ce logiciel est créé par le langage VISUAL BASIC sou excel.

Pour arriver à cet objectif nous avons préparé notre travail en cinq chapitres, nous commencerons d'abord dans le premier chapitre par une présentation.

Les principes de l'hydraulique fréquemment utilisées dans les systèmes en charge, car pour bien utiliser les capacités d'un modèle de simulation et bien interpréter les résultats produits, on doit avant tout, comprendre les principes mathématiques qui régissent l'écoulement dans les conduites.

Ensuite, nous présenterons dans le deuxième chapitre le développement du logiciel, par la définition de son fonctionnement, ainsi que son environnement de travail tout en définissant les différentes commandes de menus et fonctions.

Le troisième chapitre a été consacré aux applications pour les différentes tâches numériques.

En prenant des exemples de modélisation et la présentation des résultats des paramètres hydrauliques sous forme de schémas, graphes et tableaux suivis par une discussion analysante du système sur la base de ces résultats obtenus.

Enfin, on a clôturé notre travail par une conclusion générale, en résumant tout les chapitres Par une estimation du rendement de ce logiciel.

# **CHAPITRE I**

## **ÉCOULEMENTS EN CHARGE**

## I.1. Introduction:

L'écoulement en charge est l'écoulement en conduites, sous pression, soit gravitairement ou en refolement par pompage.

Le modèle de base de la simulation est la méthode pour rapprocher mathématiquement le comportement réel d'un système d'alimentation en eau.

Pour bien utiliser les capacités d'un modèle de simulation et bien interpréter les résultats produits, on doit avant tout, comprendre les principes mathématiques qui régissent l'écoulement dans les conduites.

Dans ce chapitre on donne un aperçu sur les principes de l'hydraulique fréquemment utilisés dans les systèmes de distribution ou de transfert d'eau.

## I.2. Vitesse et Régime d'écoulement :

Le profil de la vitesse d'un fluide s'écoulant dans une conduite n'est pas constant à travers le diamètre, la vitesse d'une particule fluide dépend de la position de celle-ci par rapport aux parois de la conduite, dans la plupart des cas, les modèles hydrauliques prennent en considération la vitesse moyenne à travers la section transversale de la canalisation qui peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Avec :  $V$ : vitesse moyenne du fluide (m/s)

$Q$ : Débit de la conduite ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$ : Surface de la section transversale de la conduite ( $\text{m}^2$ ).

La surface de la section transversale d'une conduite circulaire, peut être directement calculée à partir du diamètre  $D$ , donc l'équation de la vitesse peut être reformulée comme suit ;

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (2)$$

Avec  $D$  : diamètre (m).

Dans un écoulement en charge, les forces de pression et les forces de viscosité sont les seuls à jouer un rôle, par conséquent, un nombre sans dimensions peut être calculé et employé pour caractériser le régime d'écoulement, ce paramètre est le nombre de Reynolds qui peut être considéré comme rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité dans un fluide.

Le nombre de Reynolds pour les conduites circulaires :

$$Re = \frac{V.D.\rho}{\mu} \quad (3)$$

Avec :

Re: Nombre de Reynolds

$D$  : Diamètre de la conduite (m)

$\rho$  : densité du fluide ( Kg / m<sup>3</sup>)

$\mu$ : Viscosité absolue ( Kg/m/s)

$\nu$  : Viscosité cinématique (m<sup>2</sup>/s)

Pour les conduites non circulaires on prend  $D$  égal à quatre fois le rayon hydraulique.

Selon le nombre de Reynolds on peut définir trois régimes d'écoulement comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Nombre de Reynolds pour les différents régimes d'écoulement .

Régime	Nombre de
Laminaire	< 2000
Transitoire	2000-4000
Turbulent	> 4000

### I.3. Profil de Vitesse:

En raison des efforts de cisaillement le long des parois de la conduite , la vitesse du liquide est nulle au parois de la canalisation , et augmente en s'éloignant des parois pour atteindre son maximum le long de l'axe de la conduite , la figure N° 1, montre la variation de la vitesse du fluide dans une conduite , également appelée profile de vitesse . .

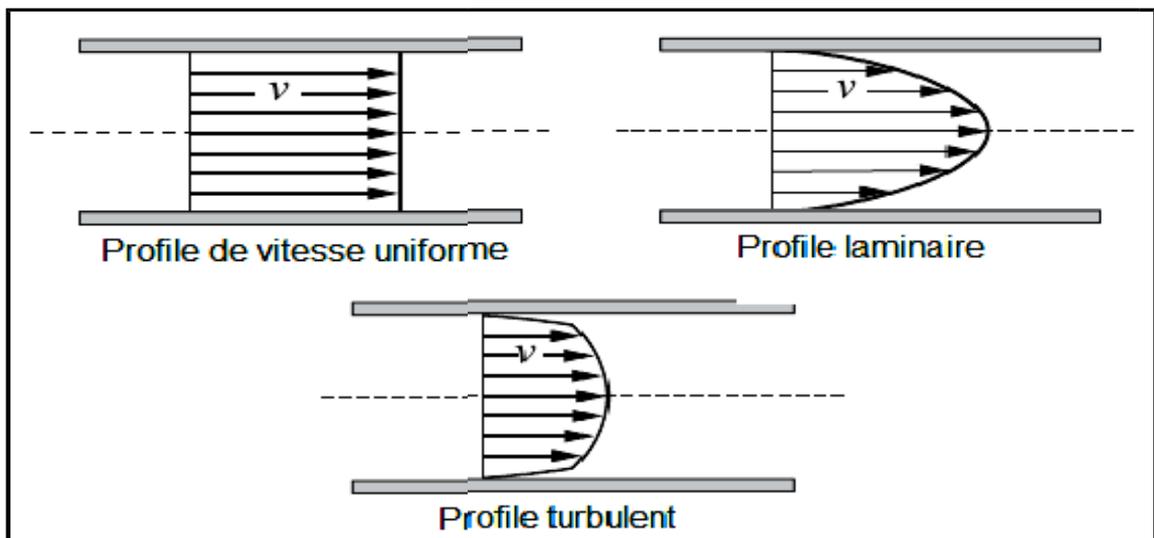


Figure 1 : Profil de vitesse pour différents régimes d'écoulement.

La forme du profil de vitesse varie selon le régime d'écoulement, dans l'écoulement laminaire, les particules liquides se déplacent en couches parallèles ou sous forme de lames, produisant des efforts de cisaillement très fortes entre les couches adjacentes, mathématiquement, le profil de vitesse dans l'écoulement laminaire est schématisé comme une parabole voir (Figure 1).

Dans l'écoulement laminaire, la perte de charge dans un segment de la canalisation est une fonction de la viscosité du liquide et pas de la rugosité de la conduite.

L'écoulement turbulent est caractérisé par les remous qui produisent des variations aléatoires des profils de vitesse, bien que le profil de vitesse de l'écoulement turbulent soit plus erratique que celui de l'écoulement laminaire, le profil moyen de vitesse montre moins de variation à travers la conduite.

#### I.4. Concept d'énergie:

Les fluides possèdent l'énergie sous trois formes. La quantité d'énergie dépend du mouvement du fluide (énergie cinétique), de l'altitude (énergie potentielle), et de la pression (énergie de pression). Dans un système hydraulique, un fluide peut avoir les trois types d'énergie en même temps. L'énergie totale liée à un fluide selon le poids spécifique du fluide s'appelle "charge hydraulique totale". L'énergie cinétique s'appelle la charge de vitesse ( $V^2/2g$ ), l'énergie potentielle s'appelle la charge d'altitude ( $z$ ), et l'énergie interne de pression s'appelle la charge de pression ( $P/\gamma$ ).

La charge hydraulique totale dans une section quelconque d'une conduite est définie par :

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad (4)$$

Avec H: Charge hydraulique totale (m)

Z : Altitude du point considéré.

P: Pression moyenne dans la conduite (pascale)

$\gamma$ : Poids spécifique du fluide ( $\text{Kg/m}^2/\text{s}^2$ )

V: vitesse moyenne (m/s)

g : Accélération de pesanteur ( $\text{m/s}^2$ )

Cette charge peut être répartie en deux grandeurs :  $H = H^* + H_d$

$$\text{avec} \quad H^* = \frac{P}{\gamma} + Z, \quad H_d = \frac{V^2}{2g}$$

les termes  $Z$ ,  $\frac{v^2}{2g}$  et  $Z + \frac{P}{\gamma}$  ont la dimension d'une longueur.

la ligne de charge représente la ligne des niveaux de la charge totale

$$H = Z + \left(\frac{P}{\gamma}\right) + \frac{v^2}{2g}$$

la somme de l'énergie potentielle de pression  $\left(Z + \left(\frac{P}{\gamma}\right)\right)$  nous donne le profil piézométrique qui représente la ligne des niveaux de la charge statique  $H^*$  en fonction de  $x$ , la figure N° 2 montre la ligne de charge et le profil piézométrique dans une conduite simple.

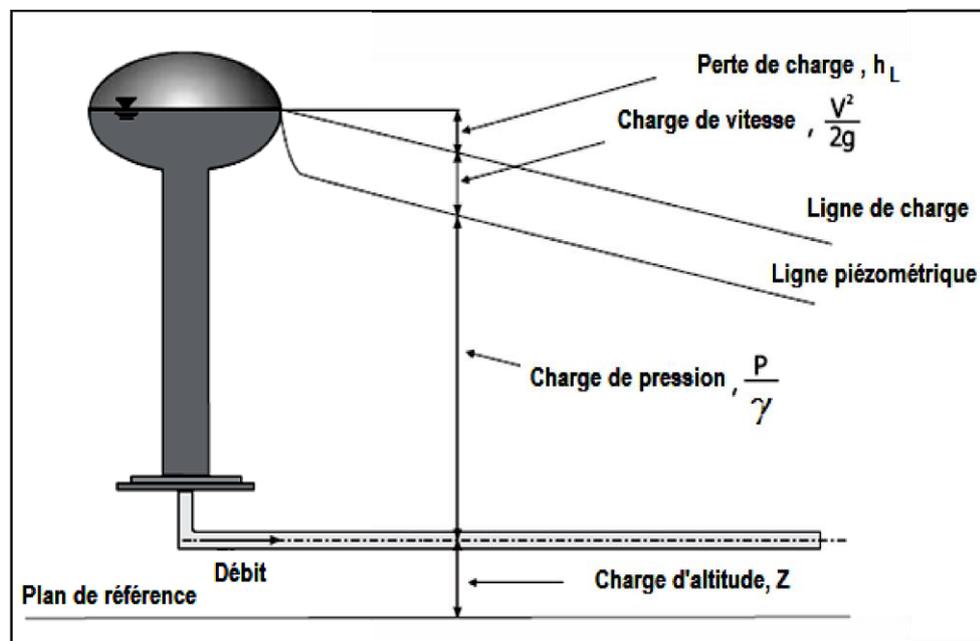


Figure 2 : Profil piézométrique et ligne de charge.

Dans la plupart des applications des réseaux d'alimentation en eau, les termes de la charge d'altitude et de pression sont beaucoup plus grands que le terme de la charge de vitesse. Pour cette raison, la charge de vitesse est souvent ignorée.

Par conséquent, la pression dans un point du réseau peut être calculée de la manière suivante :

$$\text{Pression au sol} = \text{cote piézométrique} - \text{cote du sol}$$

## I.5. Les pertes de charge ou déperditions d'énergie:

Les déperditions d'énergie, également appelées les pertes de charge, sont généralement le résultat de deux mécanismes :

- Frottement le long des parois de la conduite.
- Turbulence due aux changements des lignes profilées par des équipements et des accessoires.

Les pertes de charge le long des parois de la conduite s'appellent les pertes de frottement ou les pertes de charge dues au frottement, alors que les pertes dues à la turbulence dans le fluide s'appellent les pertes singulières.

### I.5.1. Pertes de charge dues au frottement :

Quand un liquide traverse une canalisation, les efforts de cisaillement se développent entre le liquide et les parois de la conduite. Cet effort de cisaillement est un résultat de frottement, et sa grandeur est dépendante des propriétés du fluide qui traverse la canalisation, la vitesse auquel il se déplace, la rugosité interne de la conduite, et la longueur et le diamètre de la conduite.

Considérer, par exemple, le segment de la canalisation représenté sur la figure N°3. Un équilibre de force sur l'élément liquide contenu dans une section de la conduite peut être employé pour former une expression générale décrivant la perte de charge due au frottement. Les forces exercées sur le liquide sont :

- la différence de pression entre les sections 1 et 2.
- Le poids du volume liquide contenu entre les sections 1 et 2.
- Le cisaillement aux parois de la conduite entre les sections 1 et 2.

Si on considère que l'écoulement dans la canalisation a une vitesse constante (c'est-à-dire, l'accélération est égale à zéro), le système peut être équilibré en appliquant la différence de pression, les forces de la gravité, et les forces de cisaillement.

$$(P_1 \cdot A_1) - (P_2 \cdot A_2) - (A \cdot L \cdot \gamma \cdot \sin(\alpha)) - r_0 \cdot N \cdot L = 0 \quad (5)$$

Avec:

$P_1$ : Pression à la section 1

$A_1$ : surface de la section transversale 1.

$P_2$ : Pression à la section 2.

$A_2$ : surface de la section transversale 2.

$A^-$ : surface moyenne entre la section 1 et la section 2.

$L$ : distance entre la section 1 et la section 2.

$\gamma$ : Poids spécifique du fluide.

$\alpha$ : angle de la conduite par rapport à l'horizontale.

$R_0$ : effort de cisaillement le long de paroi de la conduite.

$N$ : Périmètre de la section transversale de la canalisation.

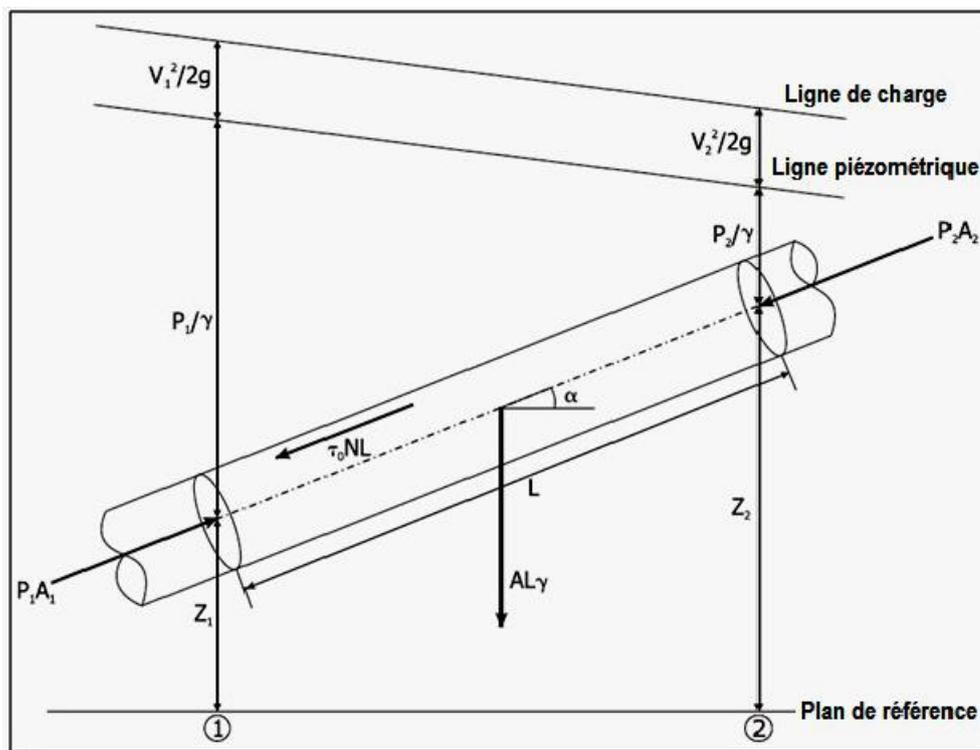


Figure 3 : Conditions d'écoulement dans une canalisation cylindrique rectiligne de section circulaire.

Le dernier terme de la partie gauche de l'équation (5) représente les pertes de charge dues aux frottements le long des parois de la conduite entre les deux sections.

En considérant que  $\sin(\alpha) = (Z_2 - Z_1)/L$ , l'équation de la perte de charge due au frottement peut être réécrite de la façon suivante:

(La charge de vitesse n'est pas considérée dans ce cas-ci parce que les diamètres de la conduite, et donc les charges de vitesse, sont identiques.)

$$h_L = r_0 \frac{N}{\gamma \cdot A} = \left( \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \right) \quad (6)$$

Avec :

$h_L$  : Pertes de charge dues au frottement.

$Z_1$  : Altitude de centre de surface de la section 1.

$Z_2$  : Altitude de centre de surface de la section 2.

Il faut se rappeler que Les efforts de cisaillement dans un fluide peuvent être trouvés analytiquement pour l'écoulement laminaire en utilisant la loi de viscosité de Newton. L'effort de cisaillement est une fonction de la viscosité et du gradient de la vitesse du fluide, de la masse volumique liquide (ou de densité), et du diamètre de la conduite. La rugosité des parois de pipe est également un facteur (c'est-à-dire, plus les parois de la conduite sont rugueuses, plus l'effort de cisaillement est grand). Combinant tous ces facteurs, on peut déduire cela par :

$$r_0 = F(\rho, \mu, V, D, S) \quad (7)$$

### 1.5.2. Formule de Darcy-Weisbach :

La formule de Darcy-Weisbach a été développée En utilisant l'analyse dimensionnelle, La formule est une équation pour la perte de charge exprimée en termes de variables énumérées en équation (7) comme suit :

$$h_L = f (V^2 \cdot L) / (D \cdot 2g) = (8 f \cdot Q^2 \cdot L) / (g \cdot \pi^2 \cdot D^5) \quad (8)$$

Avec :

$f$  : coefficient de frottement ou coefficient de résistance à l'écoulement

$g$  : l'accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ ).

$Q$  : Débit volume écoulé par la conduite de diamètre  $D$  ( $m^3/s$ ). Le coefficient de

frottement de Darcy-Weisbach,  $f$ , est une fonction des mêmes variables que l'effort de cisaillement des parois (Équation (7)). Encore en utilisant l'analyse dimensionnelle, un rapport fonctionnel pour le coefficient de frottement peut être développé :

$$f = F \left( \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}, \left( \frac{s}{D} \right) \right) = F \left( R_e, \left( \frac{s}{D} \right) \right) \quad (9)$$

Ou  $R_e$ : Nombre de Reynolds

Le facteur de frottement de Darcy-Weisbach dépend de la vitesse, de la densité, et de la viscosité du fluide ; la taille de la conduite transportant le fluide ; et la rugosité interne de la conduite. La vitesse, la densité, la viscosité, et les dimensions de la conduite sont exprimées en termes de nombre de Reynolds. La rugosité interne est exprimée en termes de variable appelée la rugosité relative, qui est la rugosité interne de la conduite ( $s$ ) divisée par le diamètre de la conduite ( $D$ ).

Au début des années 30, le chercheur allemand Nikuradse a développé une expérience qui deviendrait fondamentale dans la détermination de la perte de charge (Nikuradse, 1932).

Il a collé des grains de sable de diameters uniformes à l'intérieur de trois conduites de différentes tailles. Ses expériences ont prouvé que la courbe de  $f$  en fonction de  $R_e$  est lisse pour les mêmes valeurs de  $s/D$ .

En s'appuyant sur les expériences des grains de sable de Nikuradse,

La valeur  $s$  est appelée rugosité équivalente des grains de sable de la conduite.

Tableau 2 : Rugosité équivalente de sable  $\epsilon$  pour les conduites de différents matériaux

Rugosité équivalente de sable $\epsilon$	
Type de conduite	(mm)
Cuivre, laiton	$3.05 \times 10^{-2} - 0.9$
Fer forgé, acier	$4.6 \times 10^{-2} - 2.4$
Fonte asphaltée	0.1 – 2.1
Acier galvanisé	0.102 – 4.6
Fonte	0.2 – 5.5
Concrète	0.3 – 3.0
Fonte non enduit	0.226
Fonte enduit	0.102
Acier ondulé enduit	$5.6 \times 10^{-2}$
Ciment	0.4 – 1.2
Fer forgé	$5 \times 10^{-2}$
Acier non enduit	$2.8 \times 10^{-2}$
Acier enduit	$5.8 \times 10^{-2}$
Conduite en bois	0.2 – 0.9
PVC	$1.5 \times 10^{-3}$

### I.5.3.Équation de Colebrook –White et Diagramme universel de Moody :

Les formules existantes qui rapportent le facteur de frottement au nombre de Reynolds et à la rugosité relative sont nombreuses,

Établie en 1939 la formule de Colebrook –White est celle qui est largement adoptée Pour le calcul du coefficient de frottement  $f$  celui-ci s'exprime par :

$$1/\sqrt{f} = 0,86 \ln\left(\frac{\epsilon}{D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (10)$$

En admettant que les valeurs de  $\frac{\epsilon}{D}$  et de  $Re$  soient données, la relation (10) montre que la valeur du coefficient de frottement  $f$  ne peut être explicitement déterminée. la relation(10) est en effet implicite vis-à-vis de  $f$  puisque celui est contenu à la fois dans les membres gauche et droit de la relation

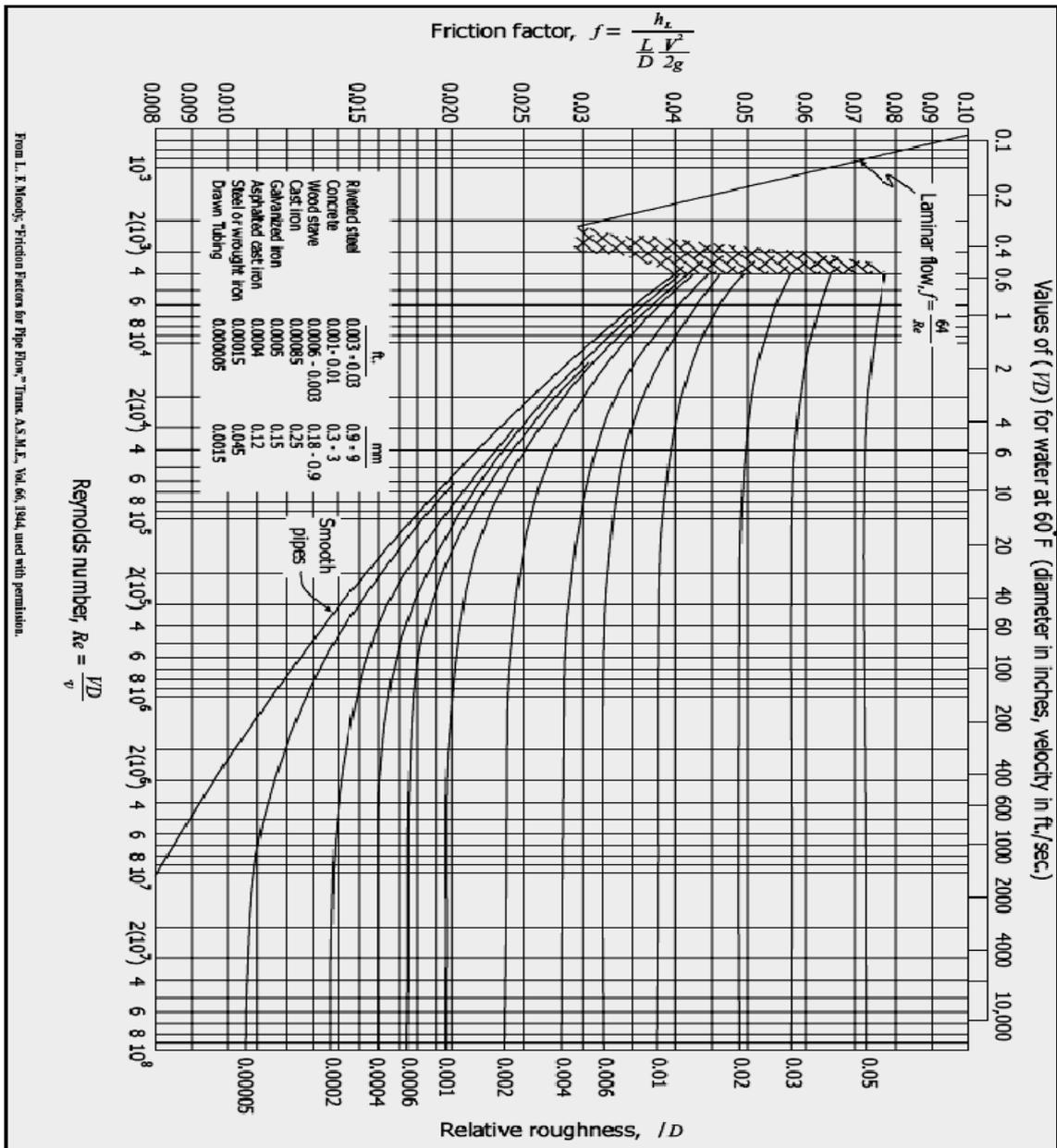
. La détermination du coefficient de frottement  $f$  nécessite donc un procédé itératif ou graphique dans le cas où la relation (10) est utilisée.

A ce sujet, un diagramme a été élaboré dans le but de déterminer par voie graphique la valeur du coefficient de frottement  $f$ , lorsque la rugosité relative de la conduite ainsi que le nombre de Reynolds  $Re$  caractérisant l'écoulement sont données .

Ce diagramme porte le nom de diagramme universel de Moody qui ne peut être dissocié de la relation (10) de Colebrook –White. En se basant sur les observations de Nikuradse et de Colebrook –White ainsi que sur un grand nombre d'expériences réalisées sur des conduites industrielles, Moody (1944) a élaboré un diagramme logarithmique dans le quel est présenté le coefficient de frottement  $f$  en fonction du nombre de Reynolds  $Re$  pour diverses valeurs de la rugosité relative  $\frac{\epsilon}{D}$  telle que  $0 \leq \frac{\epsilon}{D} \leq 5.10^{-2}$ .

Ce diagramme est présenté sur la figure N°4, Il est intéressant de noter que pour l'écoulement laminaire (valeur faible de  $Re$ ) le facteur de frottement est une fonction linéaire du nombre de Reynolds, alors que dans la gamme entièrement turbulente (valeur élevée de  $Re$ ) le facteur de frottement est seulement une fonction de la rugosité relative. Cette différence se produit parce que l'effet de la rugosité est négligeable pour l'écoulement laminaire, alors que pour l'écoulement turbulent les forces visqueuses deviennent négligeables.

$$f = \frac{1.325}{\ln\left(\frac{\epsilon}{(3.71.D)} + \frac{5.74}{(Re^{0.9})}\right)} \quad (11)$$



From L. F. Moody, "Friction Factors for Pipe Flow," Trans. A.S.M.E., Vol. 66, 1944, used with permission.

Figure 4 : Diagramme universel de MOODY

#### I.5.4. Formule de Swamee-Jain :

Etablie en 1976 , la formule de Swamee et Jain est destinée au calcul explicite du coefficient de frottement  $f$  de l'écoulement turbulent dans les conduites circulaires sous pression . Cette formule se veut être une solution approchée à la relation implicite de Colebrook- white. aucune méthode analytique n'a été proposée par les auteurs pour établir leur relation .selon Swamee et Jain (1976) , la relation de Colebrook- white peut être remplacée , avec une bonne approximation , par la relation approchée suivante :

$$f = \frac{0.25}{\left(\log_{10}\left(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \quad (12)$$

Comme l'indique la relation (11) , le coefficient de frottement peut être directement calculé à partir des valeurs connues du nombre de Reynolds  $Re$  et de la rugosité relative  $s/D$  . Cependant Swamee et Jain indiquent que la relation (11) doit être appliquée dans les gammes de valeur

$$4 \times 10^3 \leq Re \leq 10^8 \text{ et } 10^{-6} \leq \frac{\epsilon}{D} \leq 10^{-2}$$

La relation (11) ne couvre donc pas l'ensemble du diagramme de Moody , mais elle est de nos jours la formule la plus largement adoptée par la plupart des progiciels de la modélisation des systèmes d'alimentation en eau en raison de sa simplicité , la formule historique de Colebrook- white est ainsi peu à peu abandonnée au profit de la formule de Swamee et Jain.

#### I.5.5. La Formule de Hazen-Williams:

Une autre expression de pertes de charge fréquemment utilisée, en particulier en Amérique du Nord, est la formule de Hazen-Williams

$$h_L = (c_f \cdot L \cdot Q^{1,846}) / (c_{HW}^{1,852} \cdot D^{4,87}) \quad (13)$$

Avec:

$L$  : perte de charge due au frottement (m) .

$L$  : distance entre la section 1 et 2 (m).

$C_{HW}$ : coefficient de Hazen-Williams.

D: diamètre (m).

Q: débit dans la conduite (  $m^3/s$ ).

$C_f$  : facteur de conversion d'unité ( 10.7 SI ).

Au lieu d'employer un facteur de frottement, la formule de Hazen-Williams emploie un facteur de capacité de transport de la conduite ( $C_{HW}$ ), des valeurs de  $C_{HW}$  plus élevées représentent des conduites plus lisses (avec des capacités de charge plus élevées) et les valeurs de  $C_{HW}$  inférieures décrivent des conduites plus rugueuses.

Le tableau 3 présente les valeurs de  $C_{HW}$  pour différents matériaux de conduite.

Tableau 3: Coefficient de Hazen Williams , Lamont (1981)

Type de conduite	$C_{HW}$
Amiante-ciment	140
Fonte	
neuve	130
vieille (sans enduit)	40 - 120
avec enduit de ciment	130 - 150
avec enduit bitumineux	140 - 150
Béton de pression	140
Cuivre	130 - 140
Boyau à incendie	135
PVC	150

### I.5.6 Équation de Manning :

Une autre expression pour le calcul de la perte de charge, c'est l'équation de Manning

$$h_L = (C_f \cdot L \cdot n \cdot Q^2) / (Q^{5,33}) \quad (14)$$

Avec :

n : Coefficient de rugosité de Manning.

$C_f$  : Facteur de conversion des unités (10,29 SI).

Selon l'expression précédente, la perte de charge, en utilisant l'équation de Manning, dépend de la longueur et du diamètre de la conduite, du débit, et du coefficient de la rugosité, Dans ce cas-ci, une valeur plus élevée de  $n$  représente une rugosité interne plus élevée de la conduite.

Le tableau n° 4 fournit des coefficients de rugosité pour les matériaux utilisés généralement dans les conduites.

Tableau 4 : coefficient de rugosité de Manning pour quelques matériaux de conduites

Type de conduite	Coefficient de Manning	Type de conduite	Coefficient de Manning
Amiante	0,011	Acier galvanisé	0,016
Laiton	0,011	Plastique	0,009
Brique	0,015	Acier asphalté	0,010
Fonte	0,012	Acier	0,011
Cuivre	0,011	Bois	0,012
Métal ondulé	0,022		

### **I.5.7. Comparaison entre les méthodes de calcul de la perte de charge par frottement :**

La plupart des modèles hydrauliques ont des dispositifs qui permettent à l'utilisateur de choisir entre les formules de Darcy- Weisbach, Hazen-Williams, ou Manning pour le calcul des pertes de charge, cela dépend de la nature du problème et des préférences de l'utilisateur

La formule de Darcy-Weisbach est une équation physique à la base, dérivée de la seconde loi de Newton. Avec des viscosités et des densités appropriées, elle peut être employée pour trouver la perte de charge dans une conduite pour n'importe quel fluide newtonien dans n'importe quel régime d'écoulement.

Les formules de Hazen-Williams et Manning, sont des expressions empiriques (Elles ont été développées à partir des données expérimentales), et s'appliquent généralement seulement à l'eau dans des conditions d'écoulement turbulentes.

La formule de Hazen-Williams est l'équation prédominante utilisée aux Etats-Unis,

tandis que l'équation de Darcy-Weisbach est prédominante en Europe. La formule de Manning n'est pas typiquement employée pour la modélisation des réseaux d'alimentation en eau ; cependant, elle est parfois employée en Australie.

### I.6. Pertes de charge singulières:

A la perte de charge linéaire, due au frottement et répartie tout au long de la conduite, s'ajoutent des pertes de charges singulières, localisées dans des sections particulières de la conduite et dues à un changement de direction ou d'intensité de la vitesse.

Il s'agit de singularités qui, dans les écoulements en charge correspondent aux raccords et aux pièces spéciales (coudes, tés, cônes, joints, vannes, clapets, ...etc.)

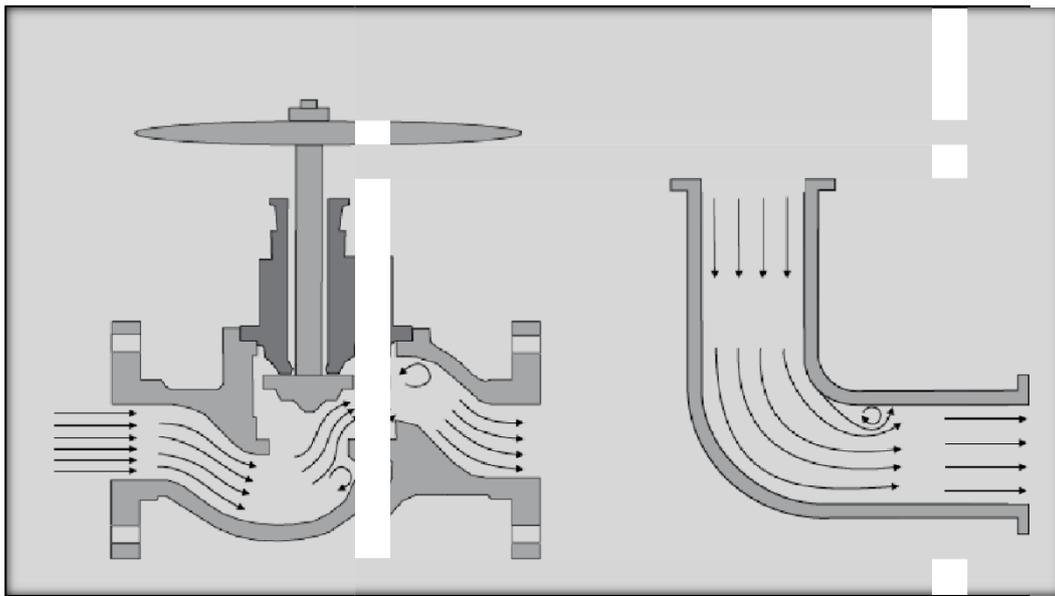


Figure 5 : coupe de vanne et de coude produisant des pertes de charge singulières

Les pertes de charge correspondantes sont évaluées comme une fraction ou un multiple de l'énergie cinétique, ce qui conduit à la forme générale de la loi de comportement des singularités:

$$h_m = K_L \frac{v^2}{2g} = K_L \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (15)$$

Avec ;

$h_m$  : perte de charge singulière (m).

$K_L$ : Coefficient de perte de charge singulière.

V: vitesse (m/s).

g : constante de l'accélération gravitationnelle ( $m/s^2$ ).

A: section de la conduite ( $m^2$ ).

Q: débit ( $m^3/s$ ).

Par rapport à la perte de charge linéaire,  $h_m$  introduit une perte supplémentaire, due à la présence d'une singularité dans un tronçon cylindrique rectiligne. Il apparaît ainsi que plusieurs singularités montées plus ou moins en série ne peuvent pas être considérées séparément; elles forment une nouvelle singularité. Cela multiplie à l'infini les combinaisons possibles et enlève tout espoir de mise au point d'une tabulation exhaustive.

Pour des systèmes d'alimentation en eau, les pertes de charge singulières sont généralement plus petites que les pertes de charge linéaires dues au frottement. Pour cette raison, beaucoup de modélisateurs choisissent fréquemment de négliger les pertes singulières. Mais dans d'autres cas, telle que les stations de pompage ou des tubulures de vanne où il peut y avoir plus d'accessoires et de vitesses plus élevées, les pertes mineures peuvent jouer un rôle significatif dans le système.

Comme les coefficients de rugosité des conduites, les coefficients de perte de charge singulière varieront légèrement avec la vitesse, cependant. Pour la plupart des problèmes pratiques de réseau, le coefficient de perte de charge singulière est traité en tant que constante.

Le tableau 5 affiche les coefficients de perte de charge singulière pour quelques types de vannes et raccords. Ces coefficients doivent être considérés seulement à titre indicatifs, parce que K dépend aussi de la géométrie, du numéro de Reynolds et des conditions de flux.

Tableau 5: Coefficients de pertes de charge singulière pour une sélection de vannes et raccords

<i>ACCESOIRE</i>	<i>COEFF.PERTE SINGULIERE</i>
Vanne à boule, entièrement ouverte	10,0
Vanne à angle, entièrement ouverte	5,0
Clapet anti-retour à battant, entièrement	2,5
Vanne, entièrement ouverte	0,2
Coude de petit rayon	0,9
Coude de rayon moyen	0,8
Coude de grand rayon	0,6
Coude de 45 degrés	0,4
Coude de 180 degrés	2,2
Té Standard -flux droit	0,6
Té Standard-flux dévié	1,8
Entrée brusque	0,5
Sortie brusque	1,0

### **I.6.1.Coefficient de vanne ( coefficient de débit) :**

Le coefficient de débit (ou coefficient de vanne) indique le débit en m<sup>3</sup>/h pour une perte de charge de 1 bar.

La plupart des fabricants de vanne fournissent un diagramme de pourcentage d'ouverture de la vanne appelé coefficient de vanne (Cv) ou coefficient de débit , qui peut être lié à la perte de charge singulière KL en employant l'équation (15) .

$$K_L = \frac{C_f \cdot D^5}{C_v^2} \quad (16)$$

Avec :

D : Diamètre (m)

Cv : Coefficient de vanne [(m<sup>3</sup>/s) /(Kpa)<sup>0.5</sup>]

Cf : Facteur de conversion des unités (1,22 SI)

### **I.6.2. Longueur équivalente de conduite :**

C'est la longueur équivalente de la conduite qui peut produire la même perte de

charge due à une singularité et elle peut être calculée par la relation suivante :

$$L_e = (K_L \cdot D) / f \quad (17)$$

Avec :

$L_e$  : longueur équivalente de la conduite (m).

$D$  : diamètre de la conduite équivalente (m).

$f$  : coefficient de Darcy-Weisbach.

la notion de longueur équivalente était répondeuse quand les calculs de pertes de charge singulières étaient calculés à la main, ce qui prenait beaucoup de temps, maintenant, avec le développement des modèles et des ordinateurs on peut faire ces calculs avec une extrême exactitude dans un laps de temps, ce qui rend la notion de longueur équivalente inefficace.

### **I.7.Coefficient de résistance :**

Beaucoup d'expressions relatives pour le calcul de la perte de charge ont été développées. Elles peuvent être mathématiquement généralisées avec l'introduction d'une variable désignée sous le nom de coefficient de résistance.

Ce format permet à l'équation de demeurer essentiellement la même indépendamment de la méthode de calcul de frottement employée, ce qui est idéal pour la modélisation hydraulique.

$$h_L = K_p \cdot Q \cdot Z \quad (18)$$

Avec :

$h_L$  : Perte de charge par frottement (m)

$K_p$  : Coefficient de résistance de la conduite ( $s^z / m^{3z-1}$ ).

$Q$  : Débit de la conduite ( $m^3/s$ )

$Z$  : Exposant en fonction du débit.

Les équations pour le calcul de  $K_p$  avec les différentes méthodes de calcul des pertes de charge sont les suivantes :

**I.7.1 Darcy Weisbach :**

$$K_p = f \cdot \frac{L}{2gA^2D} \quad (19)$$

f : coefficient de frottement de Darcy Weisbach

L : longueur de la conduite (m).

D : diamètre de la conduite (m).

A : surface de la section (m<sup>2</sup>) Z=2

**I.7.2 Hazen- Williams :**

$$K_p = f \cdot \frac{C_f \cdot L}{D^{4,87} C^Z} \quad (20)$$

Avec :

K<sub>p</sub> : Coefficient de résistance de la conduite (s<sup>z</sup> / m<sup>3z-1</sup>)

L : longueur de la conduite (m)

C : facteur avec l'ajustement de vitesse

C<sub>f</sub> : facteur de conversion des unités (10,7 SI)

D : diamètre de la conduite (m)

Z= 1,852.

**I.7.3 Manning :**

Avec :

n : coefficient de rugosité de Manning z = 2.

C : facteur de conversion des unités (10,3 SI).

**I.7.4. Coefficient de résistance pour les pertes de charge singulières :**

Le coefficient de résistance peut être défini aussi pour les pertes de charge singulières, suivant les indications de l'équation ci-dessous, comme le coefficient de résistance de la conduite, le coefficient de résistance pour des pertes de charge singulières

est une fonction des caractéristiques physiques des singularités et le débit

$$h_m = K_m Q^2 \quad (22)$$

Avec:

$h_m$ : perte de charge singulière (m) .

$K_m$ : coefficient de résistance de la perte de charge singulière ( $s^2/m^5$ )

$Q$  : Débit de la conduite ( $m^3/s$ )

D'autre part, En utilisant l'équation (14) on aura:

$$K_m = \frac{K_L}{2gA^2} \quad (23)$$

$K_L$ : Somme des coefficients de pertes de charge des accessoires.

### **I.8. Pompes centrifuges :**

Une pompe centrifuge est construite pour répondre à des conditions précises de fonctionnement :

Débit  $Q$  à élever à une hauteur  $H$  d'une façon générale, Une pompe de ce type comporte essentiellement :

- Un organe mobile : une roue ou turbine ou encore impulseur (rotor, mobile...) qui met en vitesse l'eau parvenant par son ouïe centrale situé dans le prolongement de l'axe de rotation.

- Des organes fixes : un diffuseur ou une volute ou le corps de la pompe qui transforme l'énergie de vitesse acquise en hauteur manométrique. Il est muni à sa base d'un orifice de vidange et à sa partie supérieure d'un orifice de remplissage qui sert lors de l'amorçage de la pompe. Le vide partiel ainsi créé à l'aspiration garantit l'approvisionnement continu de l'eau.

Une pompe peut être monocellulaire si elle a une seule roue valable dans des domaines de basses et moyennes pressions, ou multicellulaire si elle a plusieurs roues fonctionnant dans des domaines de moyennes et autres pressions.

### **I.8.1. Courbes caractéristiques d'une pompe:**

Les courbes principales qui caractérisent une pompe centrifuge et qui expriment ses qualités, sont, pour une vitesse de rotation donnée, au nombre de trois.

#### ***La courbe caractéristique débit - hauteur :***

La courbe QH représente le rapport entre la charge et le débit qu'une pompe peut fournir à sa vitesse nominale. La charge est le gain de charge que la pompe fournit à chaque unité d'eau, ce qui est approximativement la différence entre la pression à l'entrée et à la sortie de la pompe.

Elle est représentée sur l'axe vertical (Y) de la courbe en mètres.

Le débit est représenté sur l'axe horizontal (X) dans les unités de débit correspondant. Pour être valable, la charge de la courbe caractéristique d'une pompe doit diminuer quand le débit augmente.

Le point de rencontre de la courbe QH avec l'axe des ordonnées est le point de débit nul. On l'appelle point à vanne fermée ou, encore, point de barbotage

La forme d'une courbe caractéristique dépend du nombre de points introduits (voir la figure N°6):

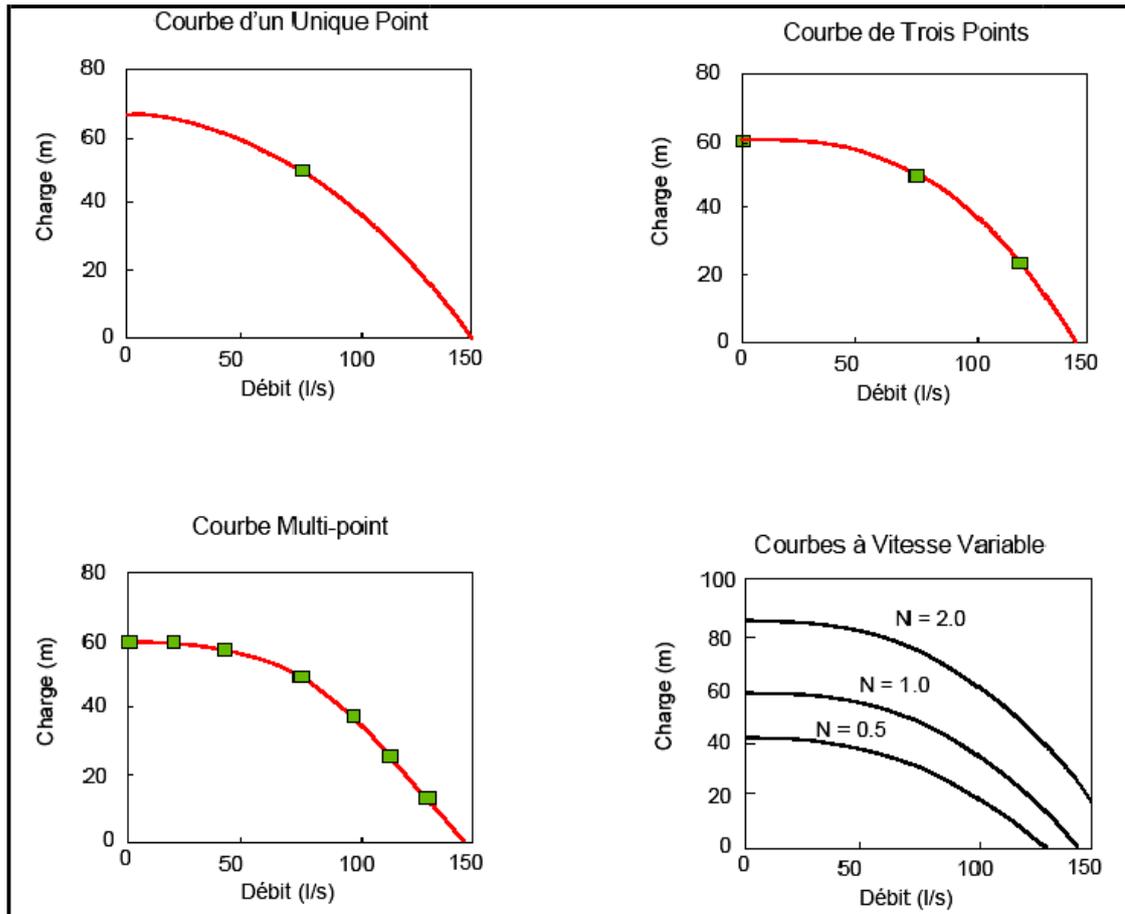


Figure 6 : Quelques exemples de courbes caractéristiques

Cette courbe définit la relation entre la charge ajoutée par la pompe et le débit qui passent par la même pompe, cette fonction est non linéaire, et comme on peut le voir sur la courbe, on peut dire que plus le débit est important plus on aura moins de charge à ajouter, Cette courbe doit être décrite comme fonction mathématique à employer dans une simulation hydraulique.

Quelques modèles ajustent une courbe polynôme aux points de repères choisis, mais l'approche la plus utilisée est de décrire la courbe en employant une fonction sous la forme suivante :

$$h_p = h_0 - C \cdot Q_p \cdot m \quad (24)$$

$h_p$  : charge de la pompe (m).

$h_0$  : charge de la pompe au débit nulle (m).

$Q_p$  : Débit de la pompe.

$C, m$  : coefficients décrivant la forme de courbe de pompe.

**Courbe à partir d'un Unique Point** : une courbe caractéristique construite à partir d'un point est définie par la seule combinaison d'une charge hydraulique et d'un débit, qui correspondent au point de fonctionnement de la pompe (les Conditions nominales). Quelques modèles supposent que la charge à débit nul est égale à 133 % de la charge nominale, et qu'à charge nulle, le débit est le double du débit nominal. Ils traitent alors la courbe comme une courbe construite à partir de trois points.

**Courbe à partir de deux points** : cette courbe caractéristique est définie par trois points de fonctionnement: un point de bas débit (quand le débit est limité ou nul), un point de débit nominal (débit et charge aux conditions nominales), et un point de débit maximal (débit et charge au débit maximal). On cherche la meilleure courbe de tendance qui passe par ces trois points et qui est décrite par la fonction (23).

**Courbe multiPoint** : une courbe caractéristique multipoint se définit en fournissant deux, quatre ou plus de quatre couples charge-débit.

Créer une courbe complète en reliant les points par des segments. Pour les pompes à vitesse variable, la courbe de pompe se décale quand la vitesse change. Les rapports entre le débit  $Q$  et la charge  $H$  pour deux points de fonctionnement homologues, aux vitesses  $N_1$  et  $N_2$  sont:

$$Q_1/Q_2 = N_1/N_2 = H_1 / H_2 \quad (25)$$

### **I.8.2.Point de fonctionnement d'une pompe :**

Pour élever le liquide à une certaine hauteur par l'intermédiaire d'un système de conduite sous pression, une pompe doit surmonter en plus de la hauteur d'élevation statique  $H_{st}$ , également les pertes de charge (linéaires et augmentent proportionnellement.

singulières) $(h'h)$  dans le système de conduite, ces pertes avec le carré de débit (ou de vitesse),  $h'(Q)$  représente la hauteur des pertes d'énergie dans la conduite en fonction du débit (figure), cette caractéristique est appelée résistance du conduit, notée aussi par  $h_r$ .

Le point de fonctionnement est obtenu graphiquement par l'intersection des deux caractéristiques  $H(Q)$  et  $H_c(Q)$ .

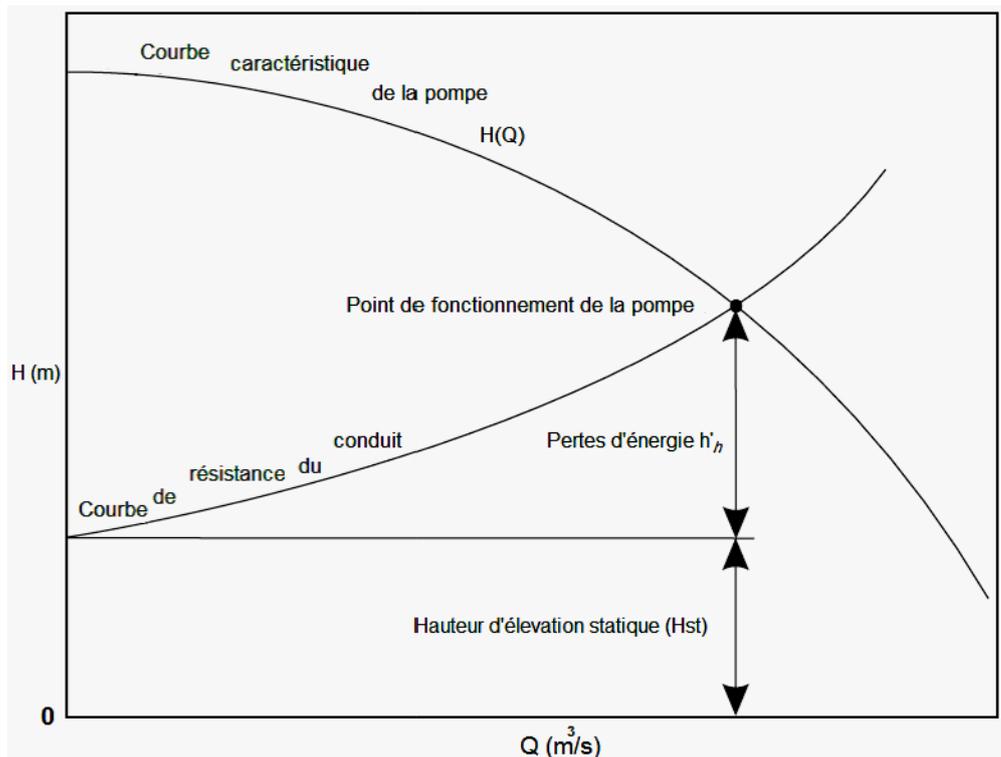


Figure 7: Point de fonctionnement d'une pompe débitant dans une conduite.

### I.8.3. La combinaison des pompes:

Le couplage en série pour un débit donné, la hauteur d'élevation résultante est la somme des hauteurs partielles.

La caractéristique correspondante devient :  $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$  et  $H = H_i$

Le couplage en parallèle pour une hauteur donnée le débit de refoulement résultant est la somme des débits partiels. On a  $Q = Q_i$  et  $H = \text{const.}$

### I.9. Dimensionnement de réseaux d'Adduction :

Le choix du diamètre d'une canalisation sous pression se fait en tenant compte :

- des paramètres hydrauliques (débit, pertes de charge, vitesse) pour une adduction gravitaire.

- des paramètres hydrauliques et économiques optimaux (coût du pompage et amortissement des installations) pour une adduction par refoulement.

En fonction des conditions de service, il y a lieu de quantifier les risques

éventuels de coups de bélier, de cavitation et d'abrasion, et de mettre en oeuvre les

protections adaptées.

### I.9.1. Adduction gravitaire :

L'adduction gravitaire est le mode d'adduction qui permet, à partir d'un stockage d'eau naturel ou artificiel situé à la cote  $Z$ , d'alimenter par une conduite en pression tous les points à desservir situés à des cotes  $z < Z$ , sans apport d'énergie.

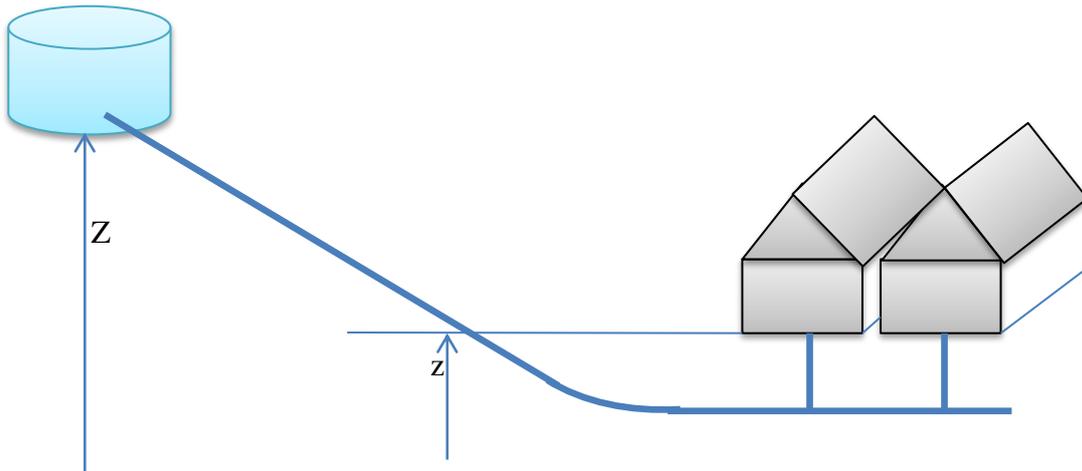


Figure 8 : Adduction gravitaire.

#### **Caractéristiques du réseau**

$Q$  : débit en fonction des besoins (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ).

- débit de pointe en distribution ou débit d'incendie.
- débit moyen en adduction.

$j$  : perte de charge unitaire (en  $\text{m}/\text{m}$ ).

$V$  : vitesse de l'eau dans la canalisation (en  $\text{m}/\text{s}$ )

$D$  : diamètre de la canalisation (en  $\text{m}$ )

$L$  : longueur de la canalisation (en  $\text{m}$ ).

#### **Caractéristiques topographiques**

Pour le calcul, on se place dans le cas le plus défavorable.

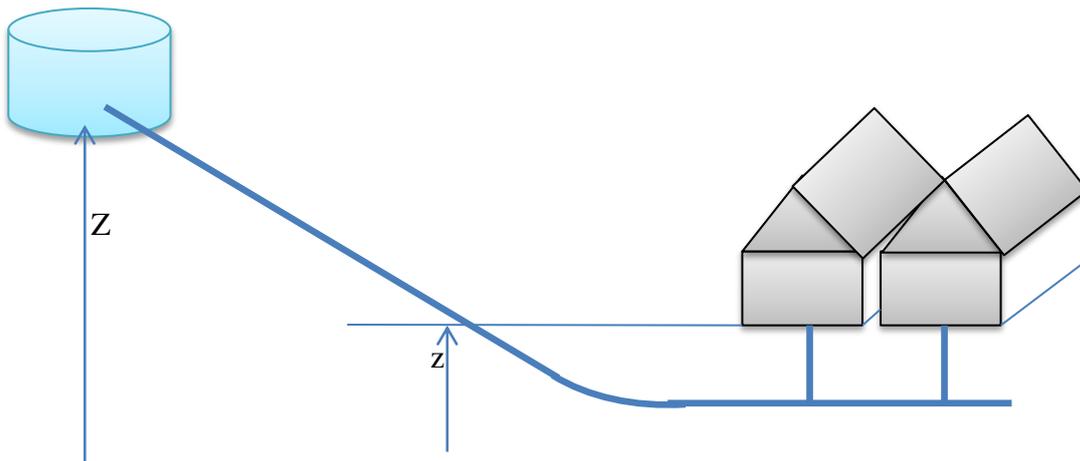


Figure 9 : Diagramme universel

**Adduction d'un réservoir A vers un réservoir B :**

$H$  = cote du niveau minimal dans A – cote du trop plein de B

Par sécurité, on prend parfois pour niveau minimal de A son radier.

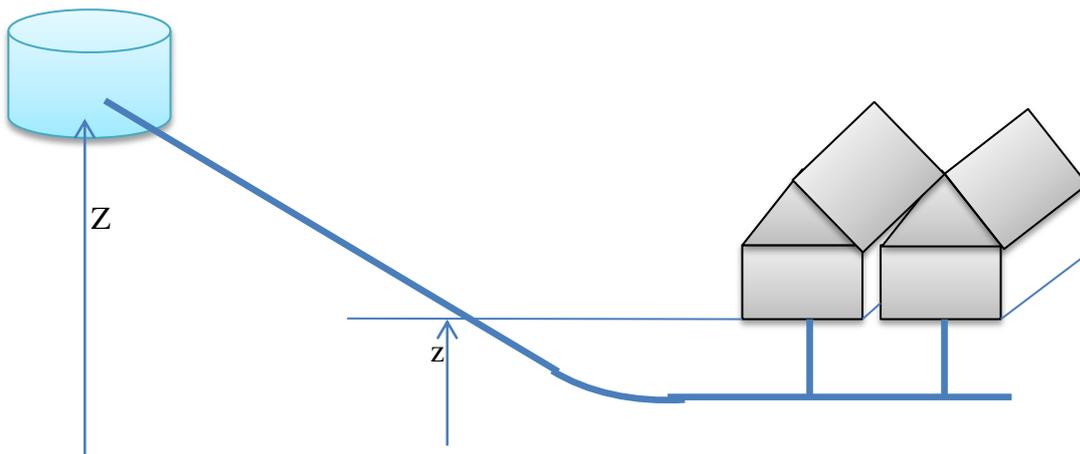


Figure 10 : Diagramme universel

**Distribution :**

$H$  : hauteur correspondant à la différence entre le niveau minimal dans le réservoir A et la cote  $(z + P)$ .

$P$  : pression minimale de distribution au point le plus haut.

$z$  : cote NGF de ce point.

Formules :

Sachant que :  $Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot V$

La formule de DARCY s'écrit :  $j = \frac{\lambda \cdot v^2 \cdot D}{2g} + \frac{8 \cdot \lambda \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$

$\lambda$  fonction de  $(k, j, D)$ , est déduit de la formule de COLEBROOK, dans laquelle  $k = 0,1$  mm (rugosité).

Pour plus de détails, voir CHAPITRE I.

### Détermination de D :

La perte de charge unitaire maximale est :  $j = \frac{H}{L}$

Le DN peut être déterminé :

- par calcul, en résolvant le système d'équations constitué par les formules de DARCY et COLEBROOK, (calcul par itérations impliquant des moyens informatiques) ;
- par lecture directe des tables de pertes de charge.

### I.9.2. Adduction par refoulement

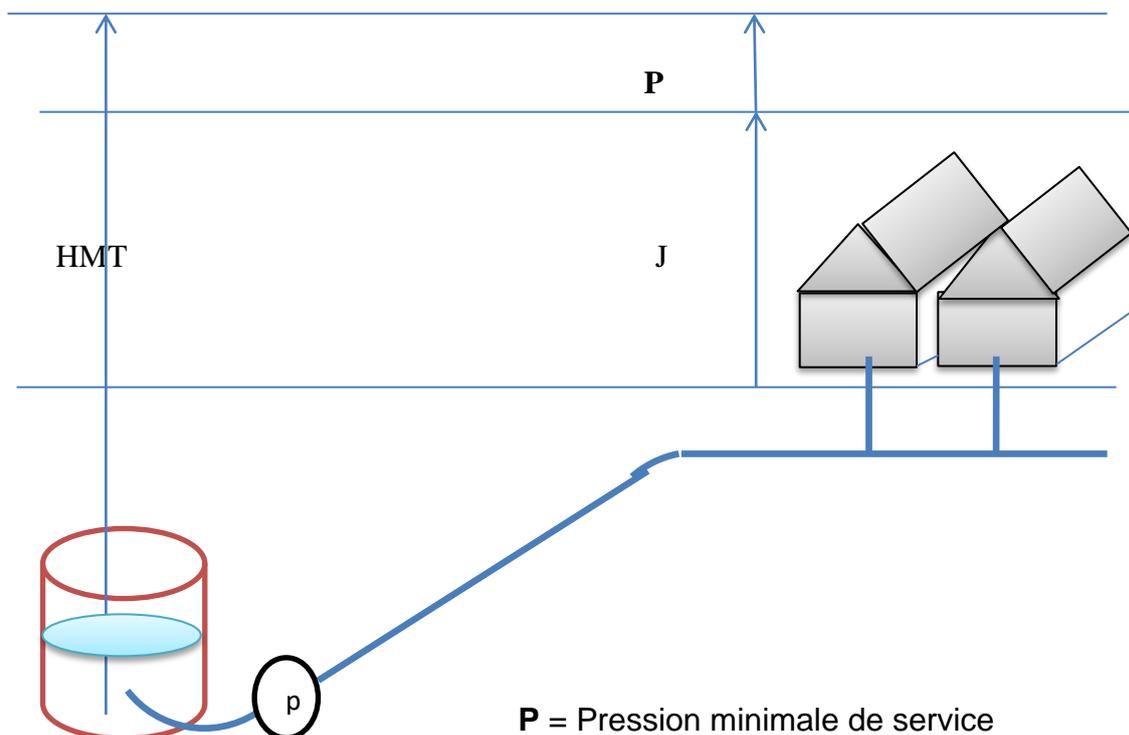


Figure 11 : Diagramme universel

**I.9.2.1 Adduction par refoulement depuis un réservoir**

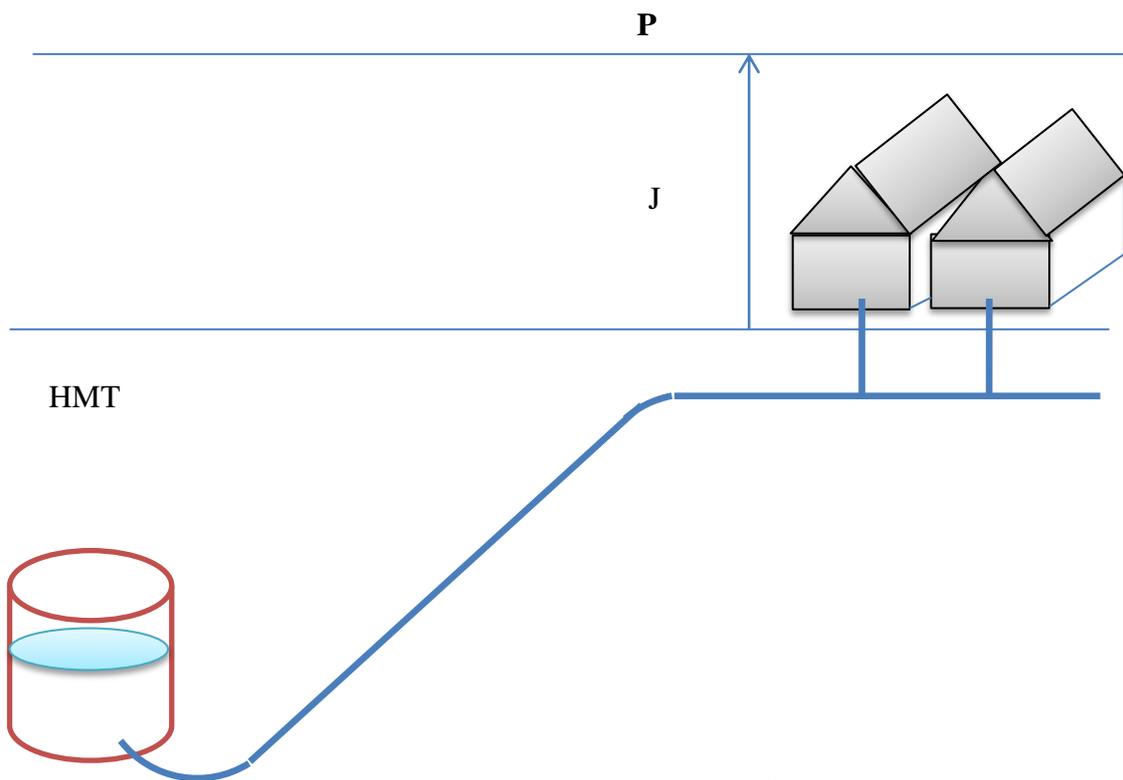


Figure 12 : Diagramme universel

**I.9.2.2 Adduction par refoulement depuis un forage :**

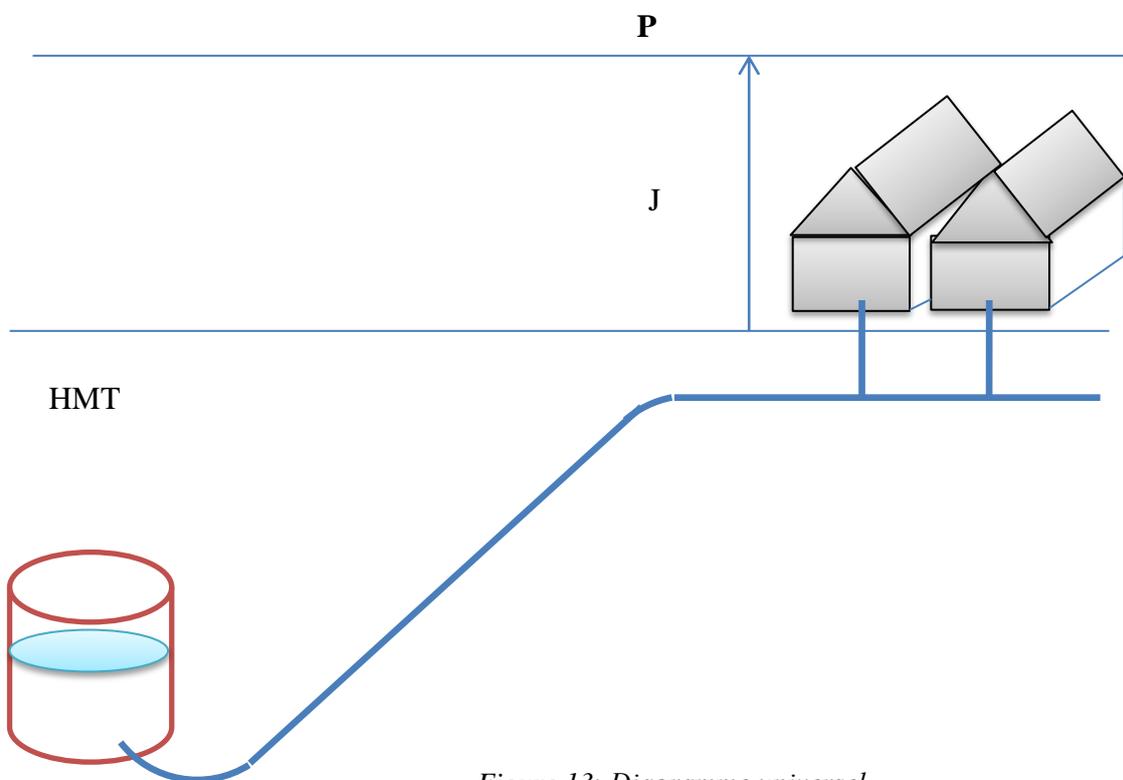


Figure 13: Diagramme universel

Il est fréquent que le captage ou le stockage soit à une altitude insuffisante pour respecter les conditions de pression requises. Il faut alors fournir au fluide l'énergie nécessaire pour rendre possible la distribution.

On appelle :

– hauteur géométrique (Hgéo) la différence d'altitude entre le plan d'eau de pompage et le lieu à alimenter,

– hauteur manométrique totale (HMT) la hauteur géométrique augmentée des pertes de charge totales liées à l'aspiration et au refoulement, et, le cas échéant, de la pression résiduelle minimale de distribution (voir figures données à titre d'exemple).

### **I.9.3.1. Dimensionnement hydraulique :**

Comme précédemment :

$$J = J \cdot \frac{\lambda \cdot v^2 \cdot D}{2g}$$

$$J = \frac{\lambda \cdot v^2 \cdot D}{2g}$$

$\lambda$  est fonction de  $J$ ,  $k$ ,  $D$ .

En refoulement, il faut tenir compte des courbes caractéristiques du réseau et des pompes, et s'assurer qu'en fonction du DN choisi, le point de fonctionnement M corresponde au débit demandé  $Q_0$ .

2

### **I.9.3.2. Dimensionnement économique**

Le diamètre économique est calculé en tenant compte :

– des frais de pompage, la puissance étant donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{HMT \times Q}{r}$$

P: puissance à fournir à l'arbre de la pompe (kW).

Q : Débit (l/s).

HMT : Hauteur manométrique totale (m).

r: Rendement pompe-moteur, de l'amortissement des installations (station de

pompage et canalisation).

#### **I.9.4. Application du dimensionnement en projets:**

On utilise généralement deux méthodes, selon l'importance du projet :

##### **I.9.4.1. Petits projets**

On applique la formule de VIBERT, valable pour les petits et moyens DN, et les longueurs faibles :

$$D = \frac{n \cdot e^{0.154}}{f} \cdot Q^{0.46}$$

où

$D$  : Diamètre économique

$f$  : Prix de la conduite posée en F/kg

$Q$  : débit en m<sup>3</sup>/s

$$n = \frac{\text{durée de pompage}}{24}$$

$e$  : prix du kWh en F.

Le coefficient 1,456 tient compte d'un taux d'amortissement de 8% pendant 50 ans.

Le DN choisi doit être identique ou immédiatement supérieur au diamètre  $D$ .

##### **I.9.4.2. Grands projets :**

Pour les grandes longueurs et les diamètres importants, il faut effectuer une étude économique détaillée. Le diamètre retenu sera celui correspondant à un coût annuel minimal (amortissement de l'investissement, frais de pompage).

La vitesse varie de façon importante avec le diamètre.

En plus des pertes de charge, il convient par conséquent de vérifier sa compatibilité avec les phénomènes éventuels de :

- coups de bélier,
- cavitation,
- abrasion.

### I.9.4.2. Dimensionnement hydraulique du réseau (réservoir alimentant plusieurs Réservoirs) :

#### A-calcul de débits avec diamètre imposé :

La méthode utilisée par AFC pour calculer la charge au nœud de raccordement est la méthode des nœuds (nodal method) qui se base sur les deux concepts fondamentaux :

L'équation de continuité

Le théorème de Bernoulli.

La procédure de calcul se fait comme suit :

Estimer la charge initiale au point de raccordement.

Estimer une vitesse initiale .

Calculer les coefficients de résistance K .

Calculer les débits.

Calculer la norme de convergence  $\sum Q_i = 0$ .

Comparer la norme avec une précision acceptable, si elle est atteinte on arrête, sinon on refait les étapes 2-3-4-5 avec la charge

$$ZG = ZG + DZ \quad (26)$$

#### B-calcul de diamètres avec débit imposé :

La méthode utilisée pour calculer les diamètres de conduites est dimensionnée théoriquement par l'équation  $H_i - H_j = Kq^{1.85}$  .

$$\begin{aligned} H_1 - H_2 &= K_1 Q_1^{1.85} + K_2 Q_2^{1.85} \\ H_2 - H_3 &= -K_2 Q_2^{1.85} + K_3 Q_3^{1.85} \\ H_3 - H_4 &= -K_3 Q_3^{1.85} + K_4 Q_4^{1.85} \\ &\dots \\ H_1 - H_n &= K_1 Q_1^{1.85} + K_n Q_n^{1.85} \end{aligned}$$

tel que n est le nombre de réservoirs alimentés.

ce qui nous ramène à résoudre le système linéaire  $A_k = H$  (27)

A la matrice formée des éléments  $q^{1.85}$  .

En prenant le nombre de réservoirs alimentés égal à 3, d'où la matrice :

	$Q_1^{1,85}$	$Q_2^{1,85}$	0	0		k1		H1-H2	
	0	$Q_2^{1,85}$	$Q_3^{1,85}$	0		k2		H2-H3	
	0	0	$Q_3^{1,85}$	$Q_4^{1,85}$		k3		H3-H4	
	$Q_1^{1,85}$	0	0	$Q_4^{1,85}$		k4		H1-H4	

La résolution de cette matrice nous donne les différentes valeurs de  $K_i$ , par la suite on calcule les différents diamètres par la formule de Hazen-Williams.

# **Chapitre II**

**ORGANIGRAMMES**

**ET**

**ALGORITHMES**

## II.1.Introduction:

Dans ce chapitre nous illustrons les différentes fonctions et procédures pour le calcul des thèmes hydrauliques du calcul numérique fourni par le logiciel AFC.

Le but de ce calcul est la détermination de ce qui suit:

- Calcul des pertes de charges par la formule de Colebrook.
- Calcul et trace de la ligne piézométrique pour l'écoulement gravitaire et l'écoulement par refoulement.
- Calcul du point de fonctionnement d'une pompe.
- Calcul de la capacité d'un réservoir.
- Dimensionnement d'un réseau dont un réservoir alimente plusieurs réservoirs.

## II.2. Calcul des pertes de charges par la formule de Colebrook:

Dans ce calcul, pour plus de précision, nous avons fixé la valeur de l'erreur de précision à  $10^{-5}$  et la valeur du coefficient de frottement  $\lambda_0 = 0,01$ .

### II.2.1.Algorithme:

- 1-Entrer le débit  $Q$ , le diamètre  $D$ , la viscosité  $\nu$ , la rugosité  $K$  et la longueur  $l$ .
- 2-Poser  $\text{EPS} = 10^{-5}$ ,  $\lambda_0 = 0,01$ .
- 3-Calcul de la section  $S$ .
- 4-Calcul de la vitesse  $V$ .
- 5-Calcul de  $F_1$  et  $F_2$ .  $F_1 = K/(3,71 \times D)$ ,  $F_2 = 2,51/R_e \sqrt{\lambda}$ .
- 6-Calcul de  $\lambda_1 = 1/\log_{10}^2 (F_1 + F_2)$ .
- 7-Rester  $(\lambda_1 - \lambda_0)$  à EPS.8-Répéter 5-6-7.
- 9-Ecrire  $\lambda_f = \lambda_1$ .
- 10-Sortir.

Organigramme:

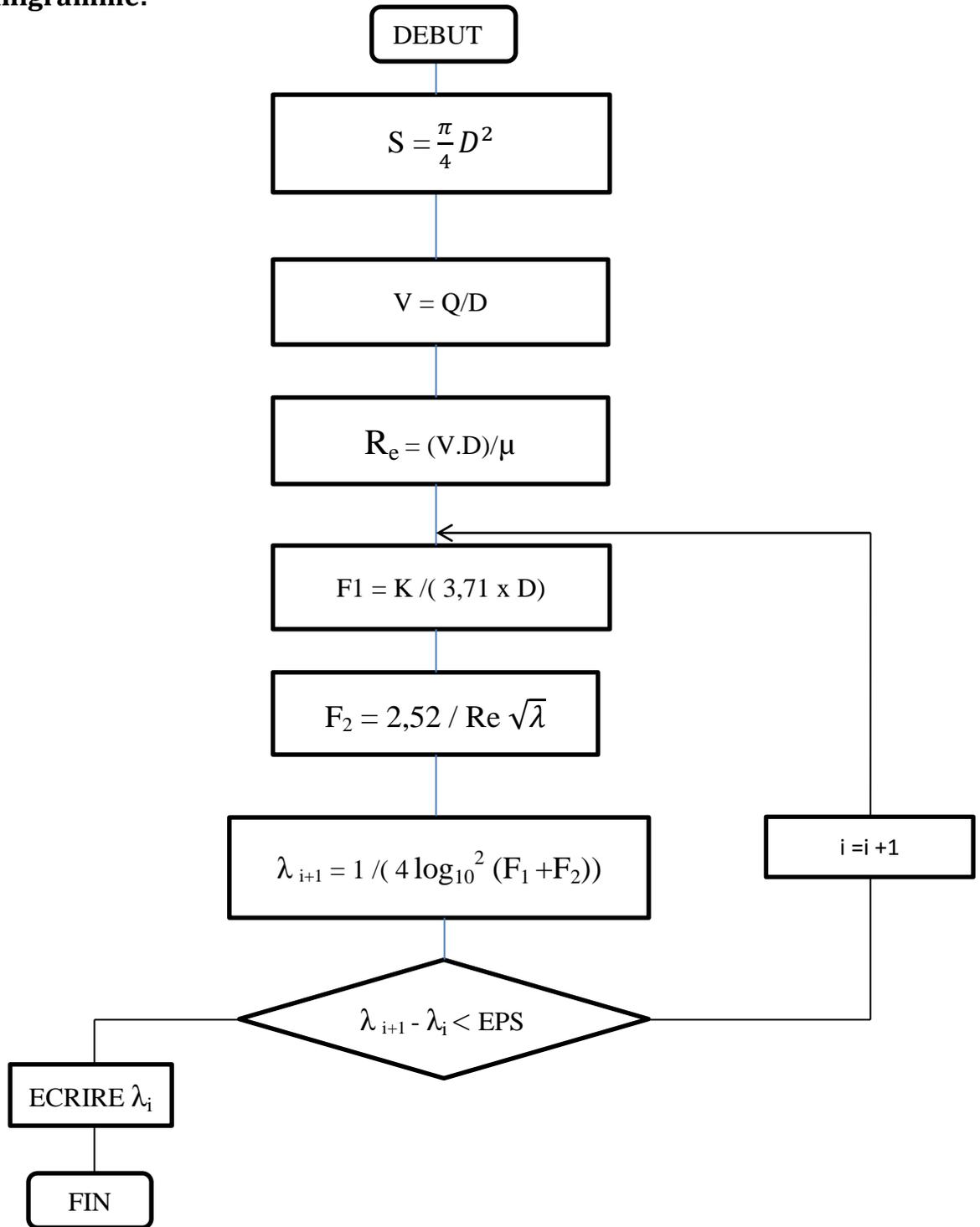


Figure 14 : organigramme perte de charge.

### I.3. Calcul et trace de la ligne piézométrique écoulement gravitaire :

Écoulement gravitaire: Dans le calcul de cette fonction ,il suffit d'introduire les données entre deux points l'un en amont et l'autre en aval,pour calculer les deux niveaux piézométriques.

#### II.3.1 Algorithme:

1-Entrer la cote amont  $Z_0$  .

La pression amont  $P_0$ .

La cote aval  $z_1$  , la longueur du tronçon, la perte de la charge unitaire  $h_u$

2-calculer le niveau piézométrique amont.

3- calculer le niveau piézométrique aval.

4-calculer la pression aval.

#### II.3.2.Organigramme :

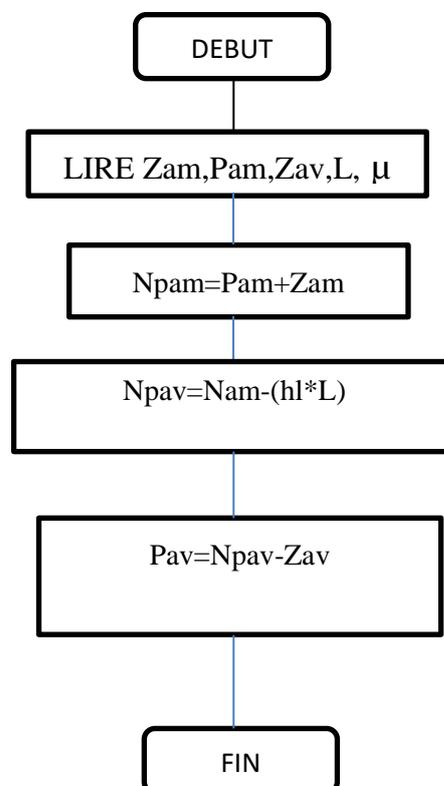


Figure 15 : organigramme calcul de la ligne piézométrique, écoulement gravitaire.

## II.4. Calcul et trace de la ligne piézométrique écoulement par refoulement :

Dans le calcul de cette fonction, il y a deux types de pompage, par surpression et par pompage.

### II.4.1. Surpression:

Dans ce type de pompage, il existe une pression à l'entrée de la pompe.

#### II.4.1.1. Algorithme:

1- Entrer la cote amont  $Z_{am}$ .

Entrer la pression amont  $P_{am}$ .

Entrer la cote aval  $Z_{av}$ , la longueur du tronçon  $L$ , la perte de la charge unitaire  $h_u$

2- calculer le niveau piézométrique amont.

3- calculer le niveau piézométrique aval.

4- calculer la pression aval.

#### II.4.1.2. Organigramme:

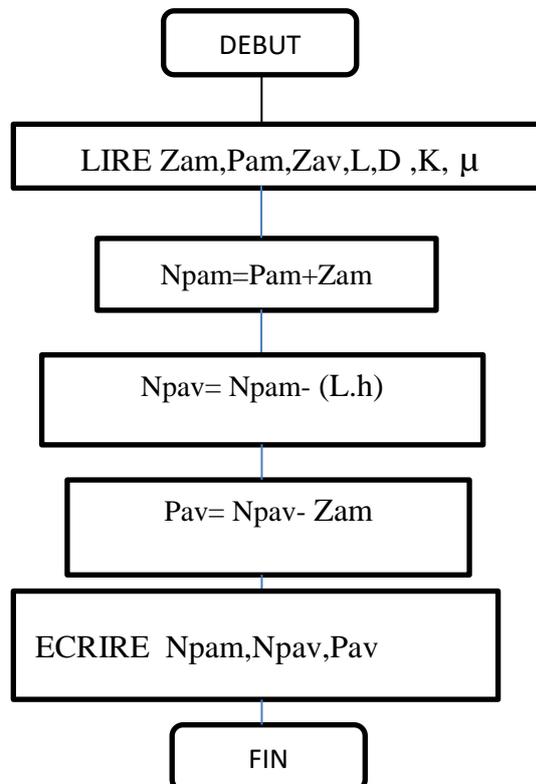


Figure 16 : Organigramme calcul ligne piézométrique, refoulement par surpression.

### II.4.2.: Pompage :

le niveau de la pompe est meme que le reservoir d'aspiration,  
Dans ce type de pompage ,la pression à l'entrée de la pompe est nulle.

#### II.4.2.1.Algorithme:

1-Entrer la cote amont  $Z_{am}$ .

La pression amont  $P_{am}$ .

La cote aval  $Z_{av}$ , la longueur du tronçon  $L$ ,

la perte de la charge unitaire  $h_u$  .

2-calculer le niveau piézométrique amont.

3- Calculer le niveau piézométrique aval.

4-calculer la pression aval.

#### II.4.2.2.Organigramme:

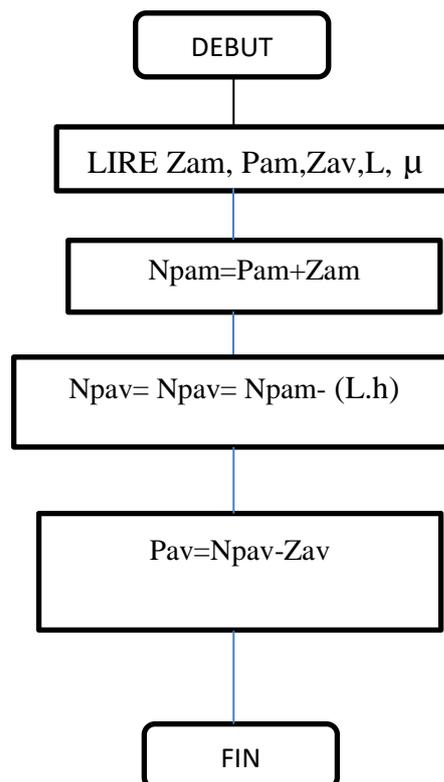


Figure 17: Organigramme calcul ligne piézométrique ,refoulement par pompage.

### II.5. Calcul du point de fonction d'une pompe:

Pour determiner le point de fonctionnement de la pompe, on trace la courbe du

réseau et la caractéristique de la pompe, le point d'intersection définit ce point.

### II.5.1. Algorithme:

1-Entrer la cote réservoir d'aspiration  $Z_{am}$ .

Longueur conduite aspiration  $L_1$  La pression amont  $P_{am}$ .

Diamètre conduite aspiration  $D_1$ .

La cote aval  $Z_{av}$ , la longueur du tronçon .

Le débit d'écoulement  $Q$ .

2-Entrer la cote réservoir de refoulement  $Z_{av}$ .

Longueur conduite de refoulement  $L_2$ .

Diamètre conduite de refoulement  $D_2$ .

3-Entrer la caractéristique de la pompe  $Q=f(H)$ .

4-tracer la courbe de réseau.

5-Le point de fonctionnement se définit à l'intersection des deux courbes.

### II.5.2. Organigramme:

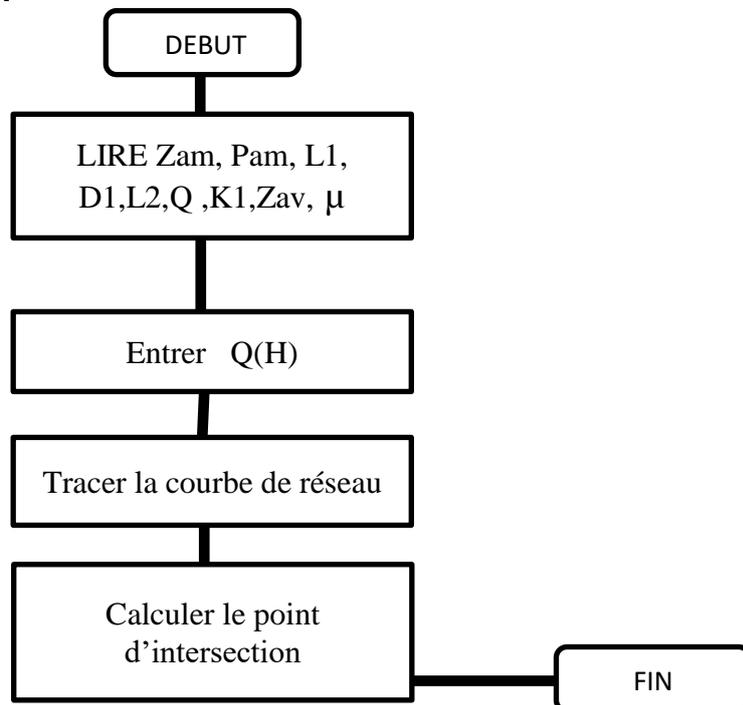


Figure 18: Organigramme calcul point de fonctionnement

## II-6- Dimensionnement d'un reseau d'adduction (reservoir alimentant plusieurs reservoirs):

### II.6.1.Calcul des debits de conduites et la charge au point de raccordement :

#### II.6.1.1.Algorithme:

- 1- Entrer la charge initiale au point de raccordement.
- 2-Entrer une vitesse initiale.
- 3-Calculer les coefficient de resistance K .
- 4-Calculer les debits.
- 5-Calculer la norme de convergence  $\sum Q_i = 0$ .
- 6-Comparer la norme avec une précision acceptable,si elle est atteinte on arrete,sinon on refait les étapes 2-3-4-5 avec la nouvelle charge ZG.

#### II.7.1.2.Organigramme:

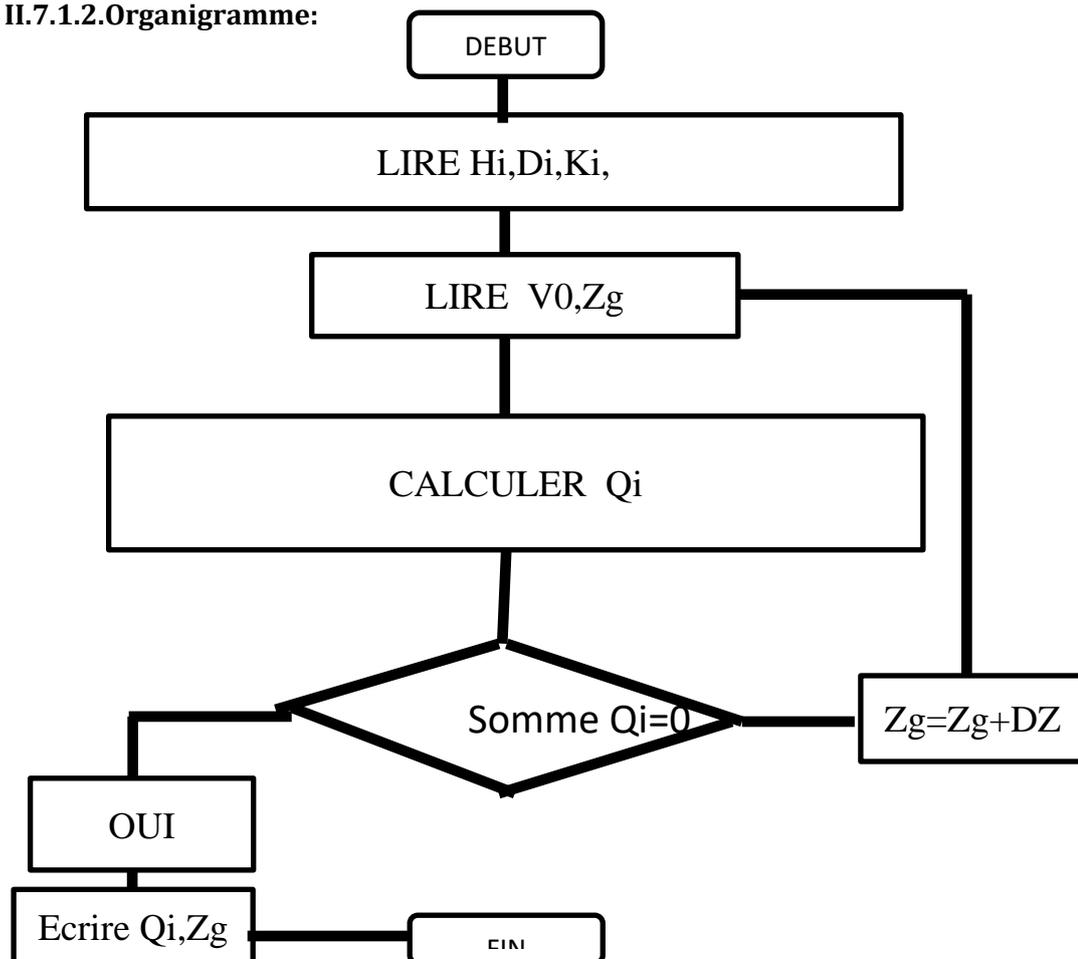


Figure 19:Organigramme dimensionnement (réservoir alimentant plusieursréservoirs).

**II.6.2. Calcul des diamètres de conduites avec débit imposé :****II.7.2.1. Algorithme:**

- 1- Entrer les charges des réservoirs.
- 2- Entrer les débits de conduites .
- 3- Entrer les valeurs de rugosité des conduites.
- 4- former la matrice  $A.K=H$  .
- 5- calculer les racines de la matrices .

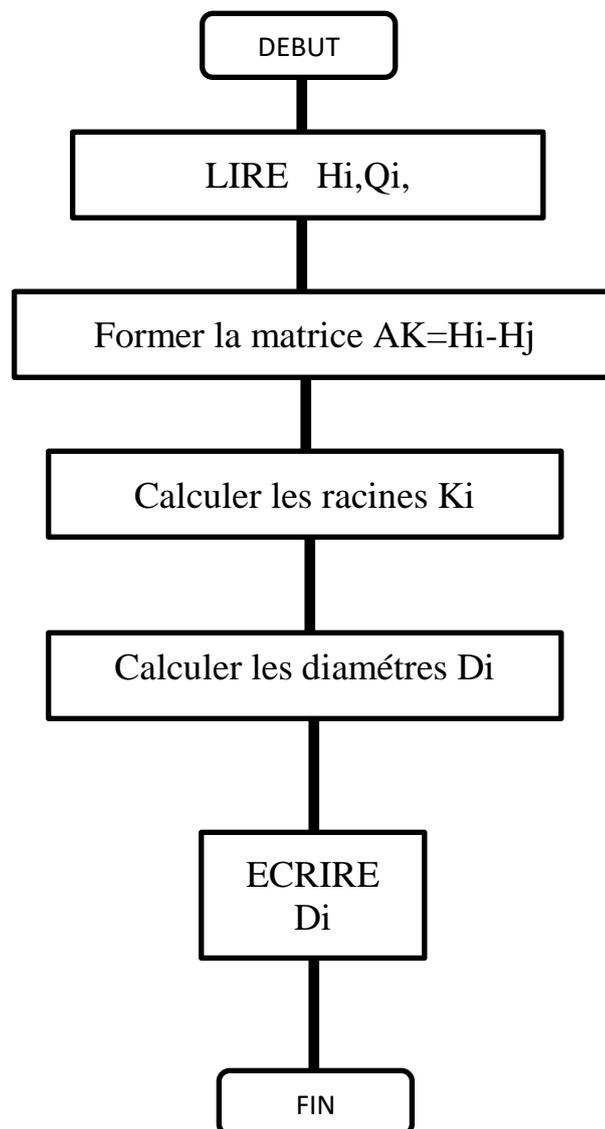
**II.6.2.2. Organigramme:**

Figure 20: Organigramme dimensionnement (calcul diamètres de conduites).

# **Chapitre III**

## **Developpement du Logiciel AFC**

### **III.1. Introduction :**

L'étude des écoulements en charge exige un calcul complexe des différents paramètres hydrauliques calculés.

L'outil informatique présente un avantage certain pour l'étude numérique de ce type d'écoulement d'une manière rapide et avec une bonne précision des résultats.

Le régime d'écoulement étudié est permanent.

### **III.2. Langage Et Environnement :**

le langage de programmation s'appelle Visual Basic for Applications (le Langage de programmation des applications de Microsoft Office, en abrégé VBA).

VBA permet d'automatiser les tâches, de créer des applications complètes, de sécuriser vos saisies et vos documents, de créer de nouveaux menus et de nouvelles fonctions pour améliorer efficacement votre logiciel.

VBA, langage puissant, souple et facile à utiliser permet de réaliser très rapidement des applications qui vous feront économiser du temps et de l'argent. Les applications VBA pour Excel sont abritées dans un document Excel ou classeur (appelé "workbook") mais peuvent manipuler des informations situées dans d'autres documents de Microsoft Office. Plus généralement, VBA doit fonctionner dans un environnement approprié. Par exemple un projet VBA pour Excel nécessite l'ouverture dans Excel d'un classeur Excel contenant les modules du programme. Une application VBA créée sous Excel ne pourra pas se lancer sur un poste si Excel n'est pas installé.

Le Visual Basic et le Visual Basic for Applications sont dérivés du langage Basic qui existe depuis 1965 (Basic est l'acronyme de Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code). Il a été conçu par Tom Kurtz et John Kemeny du Dartmouth College. Basic (sous les noms Basica ou GWBasic) était le langage de programmation au premier temps des PC. Il a évolué en passant par le Qbasic (inclus Sous MS-DOS depuis la version 5.0). Les macro-programmes d'Excel 4.0 n'étaient pas basés sur Basic mais fonctionnent toujours dans les versions ultérieures d'Excel. Le langage Basic de VBA est Compatible avec le Liberty Basic (illustré dans "Débuter en Programmation", de Greg

Perry, Editions CampusPress, Paris, 2002) et avec le S-Basic de la suite libre OpenOffice.org et de StarOffice de Sun. Toutefois, les objets (fenêtres, boutons et autres contrôles) ainsi que leurs Méthodes et leurs propriétés ne sont pas compatibles.

### **III.2.1 : Choix du langage de programmation VBA sous excel :**

Le choix du langage a été basé sur les points suivants :

a) **LES DONNEES** : ne doivent pas être obligatoirement déclarées. Dans un programme complexe, il est préférable de le faire. Nous le ferons toujours ici sauf dans les extraits de programmes. Le nom des variables peut aller jusqu'à 255 caractères. Il ne doit pas commencer par un chiffre et ne doit pas comporter les caractères suivants: espace, "@", "\$", "#", ".", "!". Commencer le nom par une lettre (de préférence majuscule).

Lors d'une procédure, les variables servent à stocker toutes sortes de données (des valeurs numériques, du texte, des valeurs logiques, des dates ...). Elles peuvent également faire référence à un objet. Suivant les données que la variable recevra, on lui affectera un type différent.

b) **INSTRUCTIONS DE LECTURE/ECRITURE** : La lecture et l'écriture est assez différente en programmes VBA excel que celles des autres langages.

les instructions de programmation classiques (FORTRAN, BASIC, PASCAL, C, C++ ...), sont généralement les mêmes que l'on travaille avec le clavier ou un fichier (en entrée) ou avec un fichier, l'écran ou l'imprimante (en sortie). Avec Excel, les choses sont différentes. En effet, un programme VBA excel peut communiquer des informations avec les autres feuilles. Ainsi, on peut tout aussi bien entrer des données dans une cellule que dans une boîte de dialogue.

### **III-3- Présentation du Logiciel AFC :**

Ce logiciel est une gestion de fichiers formés par des modules créés par lalangage VBA sous excel 2010.

Le nombre de fenetres est de 12 fenetres, s'enchainant les unrs aux autres par des boutants.

Les fonctions s'enchainent à partir d'un menu principal, chaque bouton active un sous menu qui apparait dans une autre fenetre.

La fonction de chaque bouton est représenté par un texte écrit sur chaque bouton.

De toute situation on peut sortir ou retourner de chaque fenetre par les boutons représentatifs.

### **III-3-1 Menu Principale:**

Il aparait à l'exécution du logiciel AFC, il résume toutes les fonctions et taches disponibles,il comprends les fonctions suivantes:

- Calcul des pertes de charges.
- Ligne piezometrique.
- Point de fonctionnement d'une pompe.
- Capacité d'un reservoir.
- Dimensionement reservoir alimentant plusieurs reservoirs.

Caque fonction est exécuté par un bouton de commande représentatif.

The screenshot shows the main window of the AFC software. The title bar reads 'LOGICIEL AFC HYDRAULIC SOFTWARE CREATED BY MANSOURISAMIR'. The menu bar includes 'SAVE' and 'HELP'. The main menu has several options: 'PERTE DE CHARGE LINEAIRES', 'CALCUL DE LA LIGNE PIEZOMETRIQUE', 'POINT DE FONCTIONNEMENT DE POMPE', 'COURBE CARACTERISTIQUE DE POMPE', and 'DIMENSIONNEMENT RESEAU ADDUCTION'. Below this, there are tabs for 'ECOULEMENT GRAVITAIRE' and 'ECOULEMENT EN REFOULEMENT'. The main content area is titled 'POMPAGE' and 'SURPRESSION'. It contains two columns of input fields for various parameters:

- COTE DE LA POMPE (m)
- PRESSION ENTREE POMPE (BARS)
- COTE AVALL (m)
- LONGEUR DU TRONCON (m)
- DEBIT (m<sup>3</sup>/s)
- DIAMETRE (m)
- RUGOSITE (m)
- VISCOSITE (m<sup>2</sup>/s)
- X AMONT (m)
- PRESSION AMONT (bars)
- HAUTEUR MANOMETRIQUE (m)
- NIVEAU PIEZOMETRIQUE AMANT (m)
- X AVAL (m)
- NIVEAU PIEZOMETRIQUE AVAL (m)
- PRESSION AVAL (bars)
- PERTE DE CHARGE TOTALE (m)

At the bottom of the input area are three buttons: 'CALCULER', 'ANNULER', and 'GRAPHE'. To the right of the input fields is a diagram of a pump with a pipe connected to it.

Figure 21 : fenetre principale du logiciel AFC.

### III-3-2-Choix de la commande perte de charge :

Cette commande fait apparaitre les deux fenetres (Figure 22, Figure 23) .

La fenetre (Figure 23) est destiné pour le calcul par la formule de colebrook.

La fenetre (Figure 23) est destiné pour le calcul par la formule de William Hazen.

#### III-3-2-1-Choix de la commande formule de colebrook :

Cette commande fait apparaitre la fenetre (Figure 22).

Le calcul de la perte de charge par la formule de colebrook est établi dans cette fenetre en incluant les données suivantes :

- Débit
- Diamètre de la conduite.
- Viscosité.
- Rugosité.
- Longueur de conduite.

Les résultats obtenues sont les suivantes :

- Coéfficient de perte de charge.

-Perte de charge linéaire

-Perte de charge totale.

Figure 22 : fenetre calcul perte de charge (formule de colebrook)

### III-3-2-2-Choix de la commande formule Wiliam Hazen:

Cette commande fait apparaitre la fenetre (Figure 23).

Le calcul de la perte de charge par la formule de William Hazen est établi dans cette fenetre en incluant les données suivantes :

- Débit
- Diamètre de la conduite.
- Coefficient de William Hazen CWH.
- . Longueur de conduite.

Les résultats obtenus sont les suivantes :

- Perte de charge linéaire.

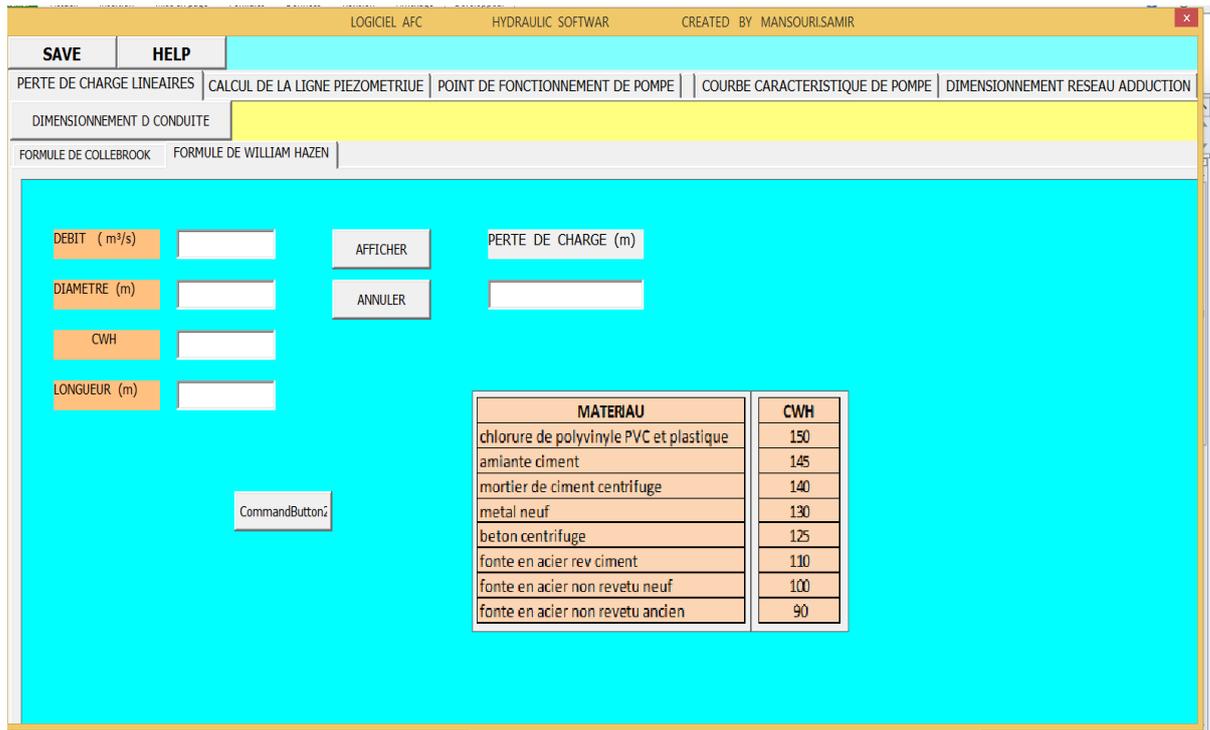


Figure 23 : fenetre calcul perte de charge (formule de William Hazen)

### III-3- 3- Choix de la commande ligne piezometrique:

Cette commande fait apparaitre la fenetre (Figure 25 ) pour choisir le type d'écoulement, on tape l'une des deux commandes écoulement gravitaire et ecoulement par refoulement.

Figure 24 : fenetre calcul de la ligne piezométrique.

### III-3-4-Choix de la commande écoulement gravitaire:

Cette commande fait apparaître la fenetre (Figure 25) .

Le calcul de la ligne piezométrique est établi dans cette fenetre en incluant les données suivantes :

- Débit.
- Cote amont .
- Cote aval.
- Diamètre de la conduite.
- Débit.
- Rugosité.
- Viscosité.
- Longueur de conduite.

Les résultats obtenus sont les suivantes :

- X amont (coordonnée lonzitudinal du point de départ de calcul sur la conduite).

- Préssion amont.
- Niveau piézométriue amont.
- X aval (coordonnée lonzitudinal du point final de calcul sur la conduite).
- Préssion aval.
- Niveau piézométrique aval.
- Perte de charge.

L'affichage de la ligne piezométrique se fait par la commande GRAPHE.

Pour modifier les données on exécute la commande (ANNULER).

Figure 25 : fenetre calcul de la ligne piezométrique,écoulement gravitaire.

### III-3-5-Choix de la commande écoulement par refoulement :

Cette commande fait apparaitre Les deux fenetres (Figure 25) et (Figure 26).

Le calcul de la ligne piezométrique est établi dans cette fenetre en incluant les données suivantes :

- Cote de la pompe.
- Préssion d'entrée de la pompe.
- Cote aval.
- longueur de la conduite.
- Débit.
- Diamètre.
- Rugosité.
- Viscosité.

Les résultats obtenues sont les suivantes :

- X amont (coordonnée longitudinale du point de départ de calcul sur la conduite).
- Pression amont.
- Hauteur manométrique .
- Niveau piézométrique amont.
- X aval (coordonnée longitudinale du point final de calcul sur la conduite).
- Pression aval.
- Niveau piézométrique aval.
- Perte de charge totale.

L'affichage de la ligne piézométrique se fait par la commande GRAPHE.

Pour modifier les données on exécute la commande (ANNULER).

The screenshot shows a software window titled "LOGICIEL AFC HYDRAULIC SOFTWARE CREATED BY MANSOURI.SAMIR". The interface includes a menu bar with "SAVE" and "HELP" buttons. Below the menu bar, there are several tabs: "PERTE DE CHARGE LINEAIRES", "CALCUL DE LA LIGNE PIEZOMETRIQUE", "POINT DE FONCTIONNEMENT DE POMPE", "COURBE CARACTERISTIQUE DE POMPE", and "DIMENSIONNEMENT RESEAU ADDUCTION". The main area is divided into two sections: "ECOULEMENT GRAVITAIRE" and "ECOULEMENT EN REFOULEMENT". The "ECOULEMENT EN REFOULEMENT" section is further divided into "POMPAGE" and "SURPRESSION". The "POMPAGE" section contains a grid of input fields for various parameters:

COTE DE LA POMPE (m)	<input type="text"/>	X AMONT (m)	<input type="text"/>
PRESSION ENTREE POMPE (BARS)	<input type="text"/>	PRESSION AMONT (bars)	<input type="text"/>
COTE AVALL (m)	<input type="text"/>	HAUTEUR MANOMETRIQUE (m)	<input type="text"/>
LONGEUR DU TRONCON (m)	<input type="text"/>	NIVEU PIEZOMETRIQUE AMANT (m)	<input type="text"/>
DEBIT (m³/s)	<input type="text"/>	X AVAL (m)	<input type="text"/>
DIAMETRE (m)	<input type="text"/>	NIVEAU PIEZOMETRIQUE AVAL (m)	<input type="text"/>
RUGOSITE (m)	<input type="text"/>	PRESSION AVAL (bars)	<input type="text"/>
VISCOSITE (m²/s)	<input type="text"/>	PERTE DE CHARGE TOTALE (m)	<input type="text"/>

At the bottom of the form, there are three buttons: "CALCULER", "ANNULER", and "GRAPHE". To the right of the input fields, there is a diagram of a pump with a blue pipe connected to it.

Figure 26 : fenetre calcul de la ligne piézométrique,écoulement par refoulement.

En cliquant cette commande ,on passera à la fenetre de calcul de la ligne piézométrique pour l'écoulement en refoulement.

Dans cette fenetre ,on choisit le type de refoulement demandé.

La commande (pompage) appellera la fenetre (Figure 27).

La commande (surpression) appellera la fenetre (Figure 26).

### III-3-5-1 Choix de la commande pompage:

Cette commande fait apparaître la fenêtre (*Figure 27*).

Le calcul de la ligne piézométrique se fait en introduisant les données suivantes :

- Cote de la pompe.
- Pression d'entrée de la pompe.
- Cote aval.
- longueur de la conduite.
- Débit.
- Diamètre.
- Rugosité.
- Viscosité.

Les résultats obtenus sont les suivantes :

- X amont (coordonnée longitudinale du point de départ de calcul sur la conduite).
- Pression amont.
- Hauteur manométrique.
- Niveau piézométrique amont.
- X aval (coordonnée longitudinale du point final de calcul sur la conduite).
- Pression aval.
- Niveau piézométrique aval.
- Perte de charge totale.

L'affichage de la ligne piézométrique se fait par la commande GRAPHE.

Pour modifier les données on exécute la commande (ANNULER).

Cette commande ouvrera la fenêtre de calcul de la ligne piézométrique type pompage ,pression d'entrée de la pompe est nulle.

Dans cette fenêtre il demandé d'introduire les données mentionnées pour effectuer le calcul.

On peut modifier ces données par le biais de la commande "MODIFIER LES DONNEES".

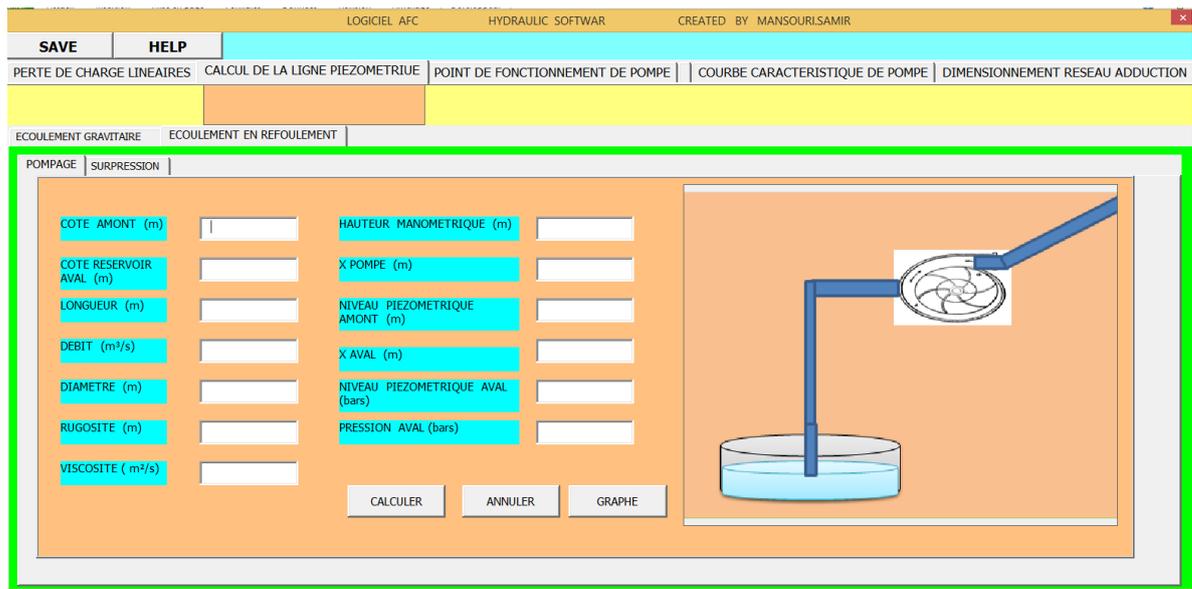


Figure 27 : fenetre calcul de la ligne piezométrique,écoulement par pompage.

### III-3-5.2-Choix de la commande surpression :

Cette commande fait apparaitre la fenetre (Figure 26).

Le calcul de la ligne piezométrique se fait en introduisant les données suivantes :

- Cote de la pompe.
- Pression d'entrée de la pompe.
- Cote aval.
- longueur de la conduite.
- Débit.
- Diamètre.
- Rugosité.
- Viscosité.

Les résultats obtenus sont les suivantes :

- X amont (coordonnée lonzitudinal du point de départ de calcul sur la conduite).
- Pression amont.
- Hauteur manométrique.
- Niveau piézométrique amont.
- X aval (coordonnée lonzitudinal du point final de calcul sur la conduite).
- Pression aval.
- Niveau piézométrique aval.

-Perte de charge totale.

L'affichage de la ligne piezométrique se fait par la commande GRAPHE.

Pour modifier les données on exécute la commande (ANNULER).

### III-3-6- choix de la commande point de fonctionnement de pompe :

Cette commande fait apparaître la fenetre (Figure 28).

Dans cette fenetre, on choisit les trois types de calcul :

- Un point.
- Deux points.
- Plusieurs points.

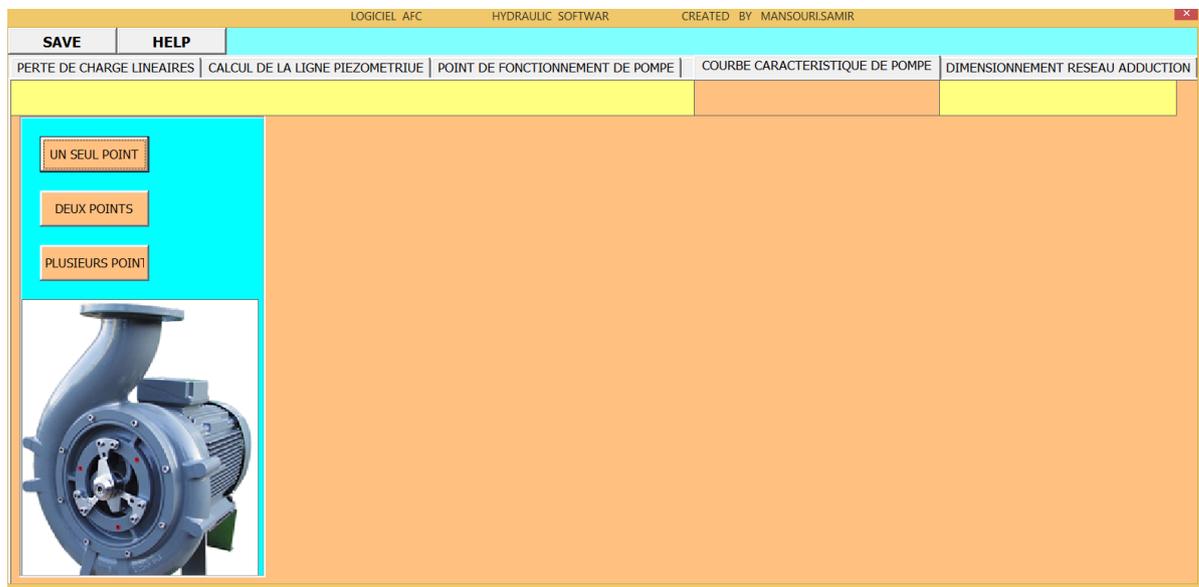


Figure 28 : fenetre calcul du point de fonctionnement de la pompe.

La commande (UN POINT) fait apparaître la fenetre (Figure 29).

Les données à introduire sont :

- Le débit.
- La hauteur (charge).

L'affichage du graphe se fait par la commande (AFFICHER).

Pour modifier les données ,on lance la commande (ANNULER).

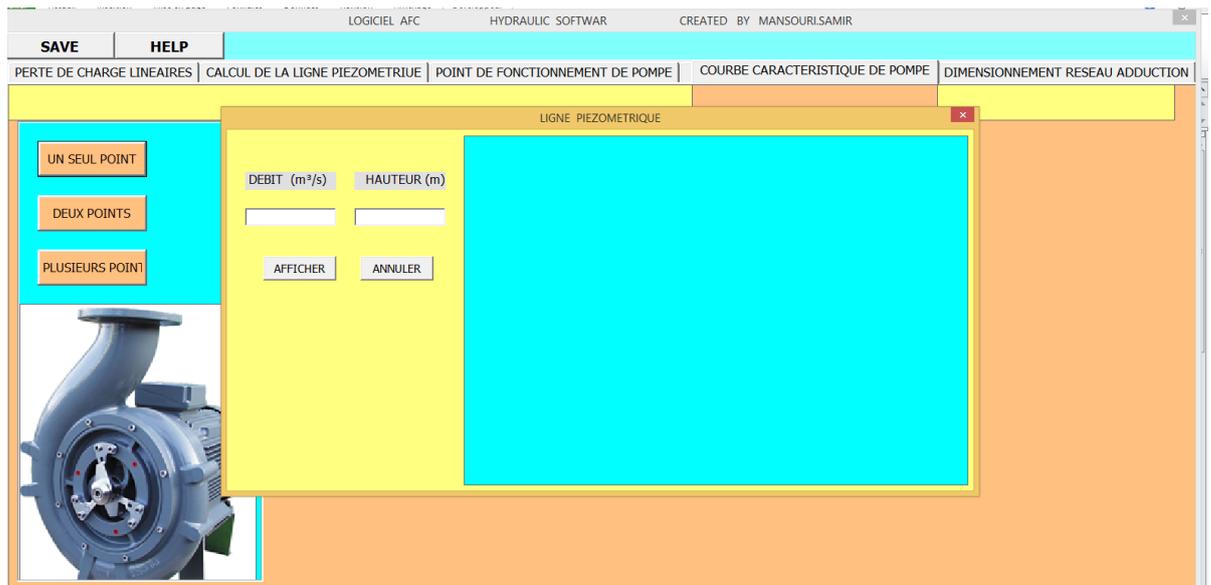


Figure 29 : fenetre calcul du point de fonctionnement de la pompe (un point).

La commande (UN POINT) fait apparaitre la fenetre (Figure 30).

Les données à introduire sont pour les deux points :

-Le débit.

-La hauteur (charge).

L'affichage du graphe se fait par la commande (AFFICHER).

Pour modifier les donnees, on lance la commande (ANNULER).

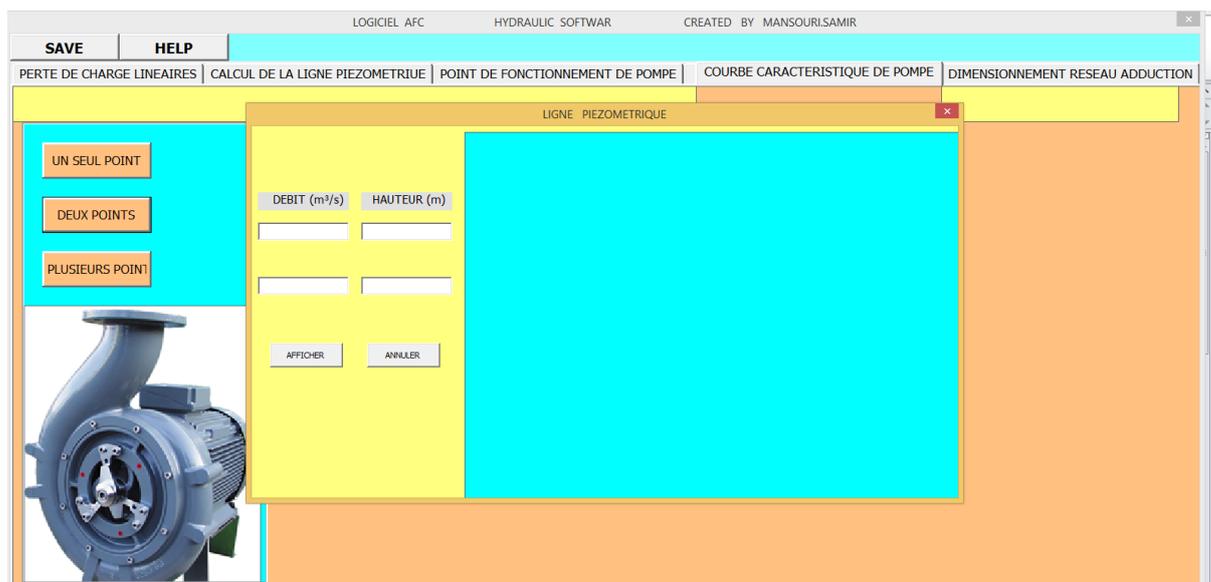


Figure 30 : fenetre calcul du point de fonctionnement de la pompe (deux point).

La commande (PLUSIEURS POINTS) fait apparaître la fenetre (Figure 31).

Les données à introduire pour les points sont :

-Le débit.

-La hauteur (charge).

L'affichage du graphe se fait par la commande (AFFICHER).

Pour modifier les donnees, on lance la commande (ANNULER).

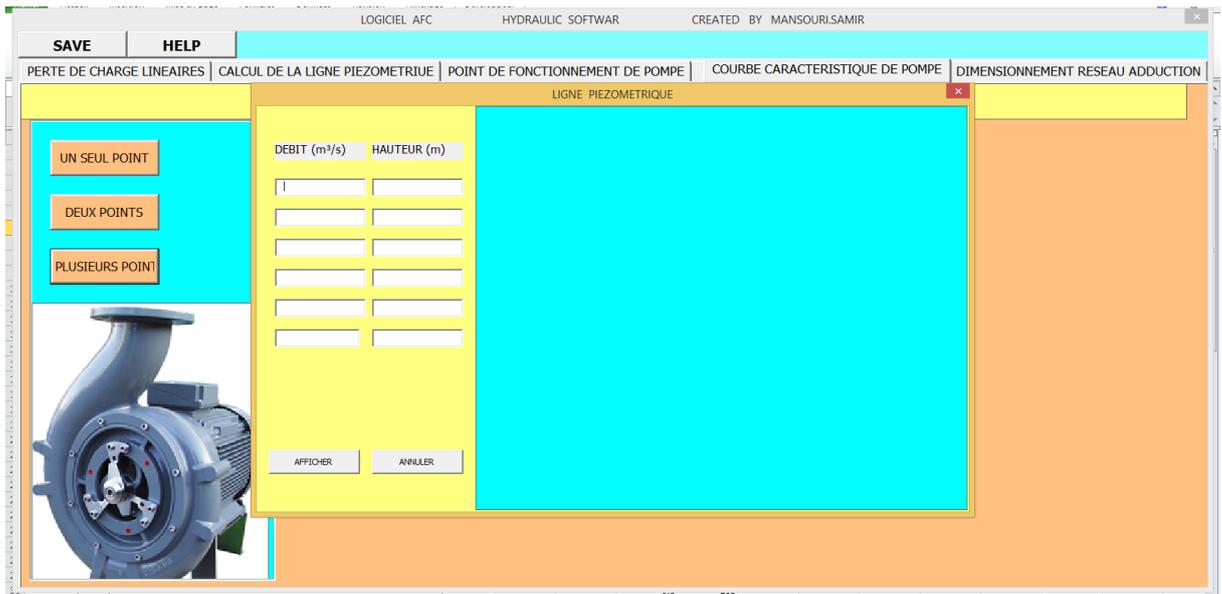


Figure 31 : fenetre calcul du point de fonctionnement de la pompe (plusieurs points).

### III-3-7-choix de la commande dimensionnement reseau adduction :

Cette commande fait apparaître deux fenetres (Figure 32 et, (Figure 34).

Dans cette fenetre on fait le choix de dimensionnement, ce choix se fera en tapant la commande correspondante.

Le type de dimensionnement établi dans cette fenetre est le suivant :

-Un réservoir alimentant plusieurs réservoirs,avec débits connues.

-Un réservoir alimentant plusieurs réservoirs,avec diamètres connues.

Dans le premier type, on calcule les diamètres inconnues, pour le deuxième type on calcule les débits inconnus ainsi que la charge au point de raccordement.

### III-3-7-1 choix de la commande (reservoir alimentant plusieurs reservoirs,avec debits connues) :

Cette commande fait apparaitre la fenetre (Figure 32).

Dans cette fenetre on fait introduire le nombre de réservoirs à alimenter.

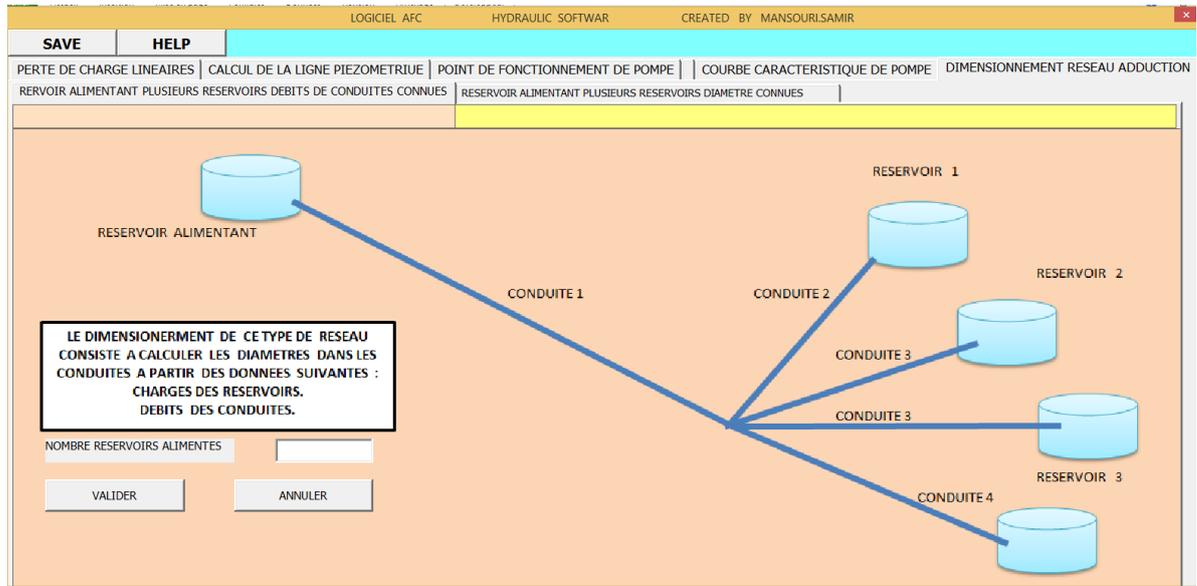


Figure 32 : fenetre Un réservoir alimentant plusieurs réservoirs,avec débits connues

Dans cette fenetre, après l'introduction du nombre de réservoirs à alimenter, la commande (VALIDER) fait apparaitre une fenetre ( Figure 33), dans laquelle on introduit les données suivantes :

- Charge des réservoirs.
- Rugosité des conduites.
- Longueurs des conduites.
- Débits dans les conduites.

Les résultats sont obtenues par la commande (CALCUL DIAMETRE), d'où on obtient :

- Les diamètres des conduites.

Figure 33 : fenetre Un réservoir alimentant plusieurs réservoirs, avec débits connues  
Introduction des données.

### III-3-7-2 choix de la commande (reservoir alimentant plusieurs réservoirs, avec diamètres connues) :

Cette commande fait apparaître la fenetre (*Figure 34*).

Dans cette fenetre on fait introduire le nombre de réservoirs à alimenter.

Après l'introduction du nombre de réservoirs à alimenter, la commande (VALIDER) fait apparaître une fenetre (*Figure 35*), dans laquelle on introduit les données suivantes :

- Charge des réservoirs.
- Rugosité des conduites.
- Longueurs des conduites.
- Diamètres des conduites.

Les résultats sont obtenus par la commande (DEBIT), d'où on obtient :

- Les débits des conduites.
- La charge au point de raccordement.

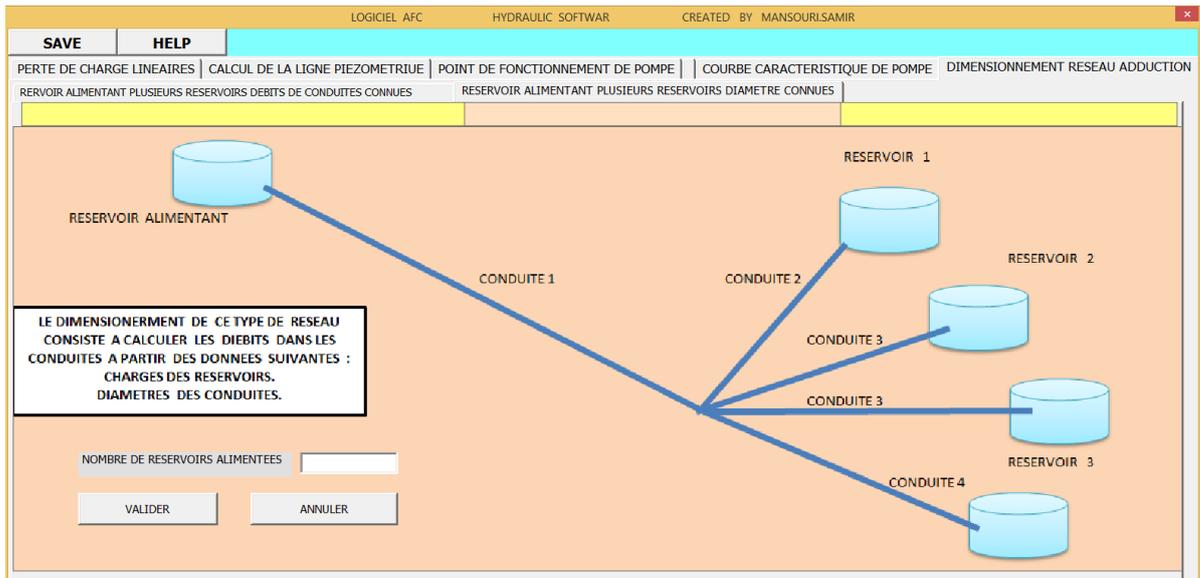


Figure 34 : fenetre Un réservoir alimentant plusieurs réservoirs,avec diamètres connues.

The screenshot shows a data entry form titled 'UserForm13'. It contains several input fields for pipe characteristics and flow rates. The fields are organized as follows:

- CHARGE (m)**: Input fields for 'RESERVOIR 1', 'RESERVOIR 2', 'RESERVOIR 3', and 'RESERVOIR 4'.
- DEBIT (m³/s)**: Input fields for 'CONDUITE 1', 'CONDUITE 2', 'CONDUITE 3', and 'CONDUITE 4'.
- DIAMETRE (m)**, **RUGOSITE (mm)**, and **LONGUEUR (m)**: Input fields for 'CONDUITE 1', 'CONDUITE 2', 'CONDUITE 3', and 'CONDUITE 4'.
- CHARGE AU POINT DE RACCORDEMENT (m)**: A single input field.
- CHARGE (m)**: A single input field.
- VISCOSITE**: A single input field.

Figure 35 : fenetre Un réservoir alimentant plusieurs réservoirs, avec diamètres connues, introduction des données.

### III-3-8- la commande dimensionnement de conduite :

Cette commande fait apparaître la fenetre (Figure 36).

Le calcul du diamètre de la conduite se fait en introduisant les données suivantes :

- Débit de la conduite.
- Perte de charge dans la conduite.
- Coefficient de William Hazen CWH.

-longueur de la conduite.

Le résultat obtenu est :

-Le diamètre de la conduite.

L'exécution de ce calcul se fait par la commande (CALCULER).

La modification des données se fait par la commande (ANNULER).

LOGICIEL AFC HYDRAULIC SOFTWARE CREATED BY MANSOURI.SAMIR

SAVE HELP

PERTE DE CHARGE LINEAIRES | CALCUL DE LA LIGNE PIEZOMETRIQUE | POINT DE FONCTIONNEMENT DE POMPE | COURBE CARACTERISTIQUE DE POMPE | DIMENSIONNEMENT RESEAU ADDUCTION

RESERVOIR ALIMENTANT PLUSIEURS RESERVOIRS DEBITS DE CONDUITES CONNUES | RESERVOIR ALIMENTANT PLUSIEURS RESERVOIRS DIAMETRE CONNUES | DIMENSIONNEMENT DE CONDUITE

DEBIT (m<sup>3</sup>/s)

PERTE DE CHARGE (m)

CWH

LONGUEUR (m)

DIAMETRE (m)

CALCULER ANNULER

Figure 36 : fenetre dimensionnement de conduite.

# **CHAPITRE IV**

## **APPLICATIONS SUR AFC**

### IV-1 Introduction:

Pour valider l'efficacité et la convergence du logiciel AFC, il fallait mettre des des applications reels à l'exécution ,et comparer les résultats avec d'autres logiciels.

Nous avons choisi deux exemples à calculer pour chaque type de calcul.

### IV-2 -1- Calcul des pertes de charges :

Exemple1: formule de colebrook

DEBIT(m <sup>3</sup> /s) =	0,163	
Diametre(m) =	0,5	
VISCOSITE(m <sup>2</sup> /s) =	0,000001	
Rugosite (m) =	0,0005	
longeur(m) =	46000	
<b>Resultats</b>		
LAMDA =		<b>0,020344678</b>
PDC TOTALE (m) =		<b>65,81055006</b>

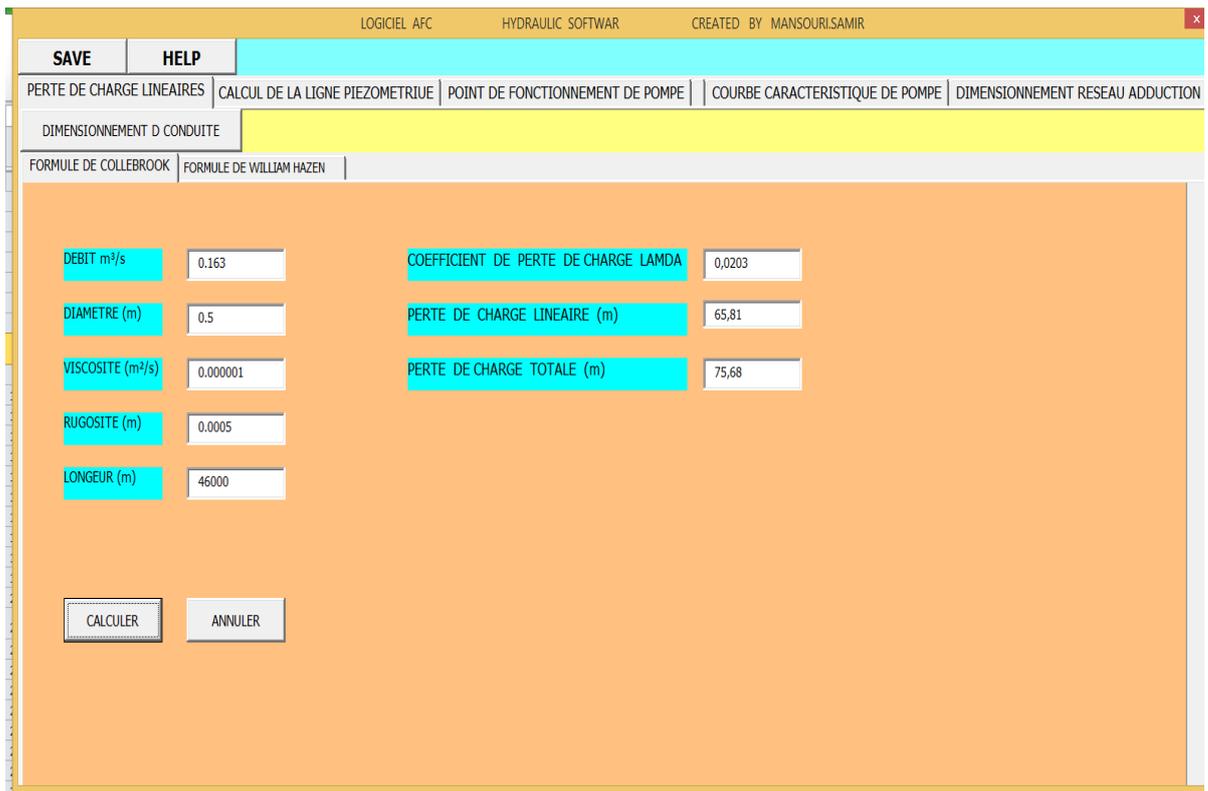


Figure 37 : fenetre exemple de calcul de perte de charge formule de colebrook.

**Exemple2: formule de william hazen**

DEBIT(m <sup>3</sup> /s) =	0,08
Diametre(m) =	0,3
VISCOSITE(m <sup>2</sup> /s) =	0,000001
CWH=	100
longeur(m) =	10000
<b>PDC TOTALE (m) =</b>	<b>31.05</b>

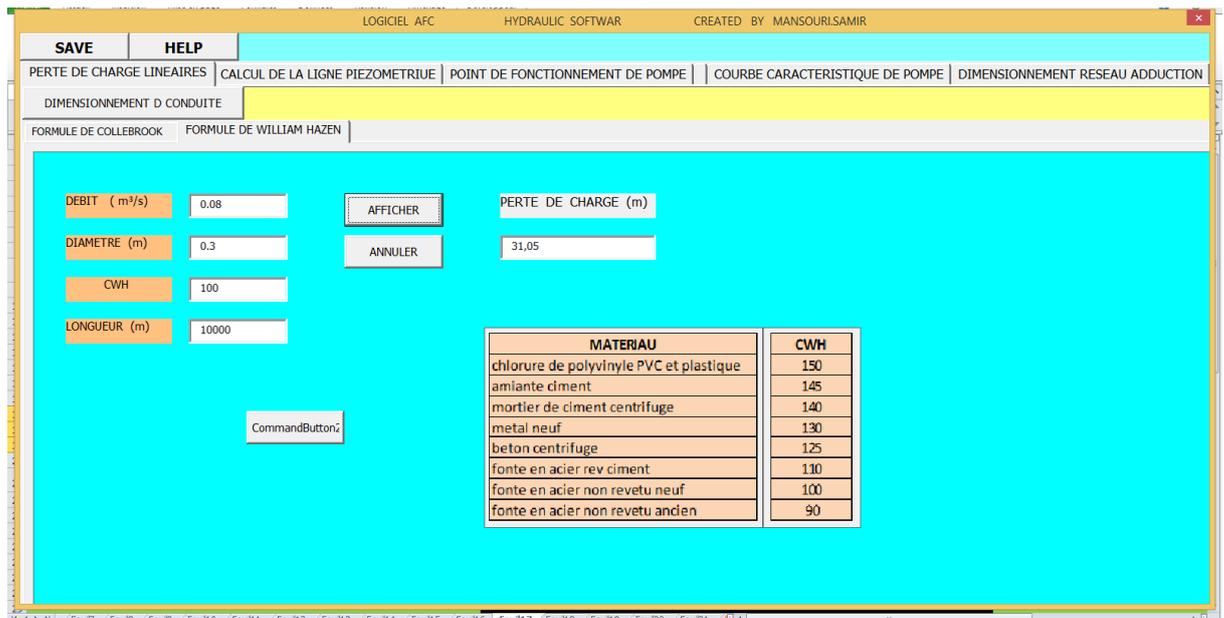


Figure 38 : fenetre exemple de calcul de perte de charge formule de William Hazen.

## IV-2 -2- Calcul la ligne piezométrique :

### Exemple1 ,écoulement gravitaire :

#### Données :

Cote amont : 1500 m.

Cote aval : 1200 m.

Débit :  $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Diamètre :  $0.35 \text{ m}$ .

Viscosité :  $0.000001 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Rugosité :  $0.0003 \text{ m}$ .

Longueur :  $30000 \text{ m}$ .

#### Résultats :

X amont :  $0.0 \text{ m}$ .

Préssion amont :  $0.0 \text{ m}$ .

Niveau piézométrique amont :  $1500 \text{ m}$

X aval :  $30000 \text{ m}$

Niveau piézométrique aval :  $1340.54 \text{ m}$

Préssion aval :  $14.05 \text{ bars}$

Perte de charge : 72.37 m

Après la sortie de ces résultats (Figure 40) (on fait afficher le graphe de la ligne piézométrique par la commande (GRAPHE) dans la fenetre (Figure 40)

LOGICIEL AFC	HYDRAULIC SOFTWARE	CREATED BY MANSOURI.SAMIR	
SAVE	HELP		
PERTE DE CHARGE LINEAIRES	CALCUL DE LA LIGNE PIEZOMETRIQUE	POINT DE FONCTIONNEMENT DE POMPE	
		COURBE CARACTERISTIQUE DE POMPE	
		DIMENSIONNEMENT RESEAU ADDUCTION	
ECOULEMENT GRAVITAIRE	ECOULEMENT EN REFOULEMENT		
COTE AMONT (m)	1500	X AMONT (m)	0,00
COTE AVAL (m)	1200	PRESSION AMONT (bars)	0,00
DIAMETRE (m)	0.35	NIVEAU PIEZOMETRIQUE AMONT (m)	1 500,00
DEBIT (m3/s)	0.125	X AVAL (m)	30 000,00
VISCOSITE (m2/s)	0.000001	NIVEAU PIEZOMETRIQUE AVAL (m)	1 340,54
RUGOSITE	0.0003	PRESSION AVAL (bars)	14,05
LONGUEUR (m)	30000	PERTE DE CHARGE (m)	72,37
		RESERVOIR	
AFFICHER		ANNULER	
		GRAPHE	

Figure 39 : fenetre exemple de calcul de la ligne piézométrique,écoulement gravitaire

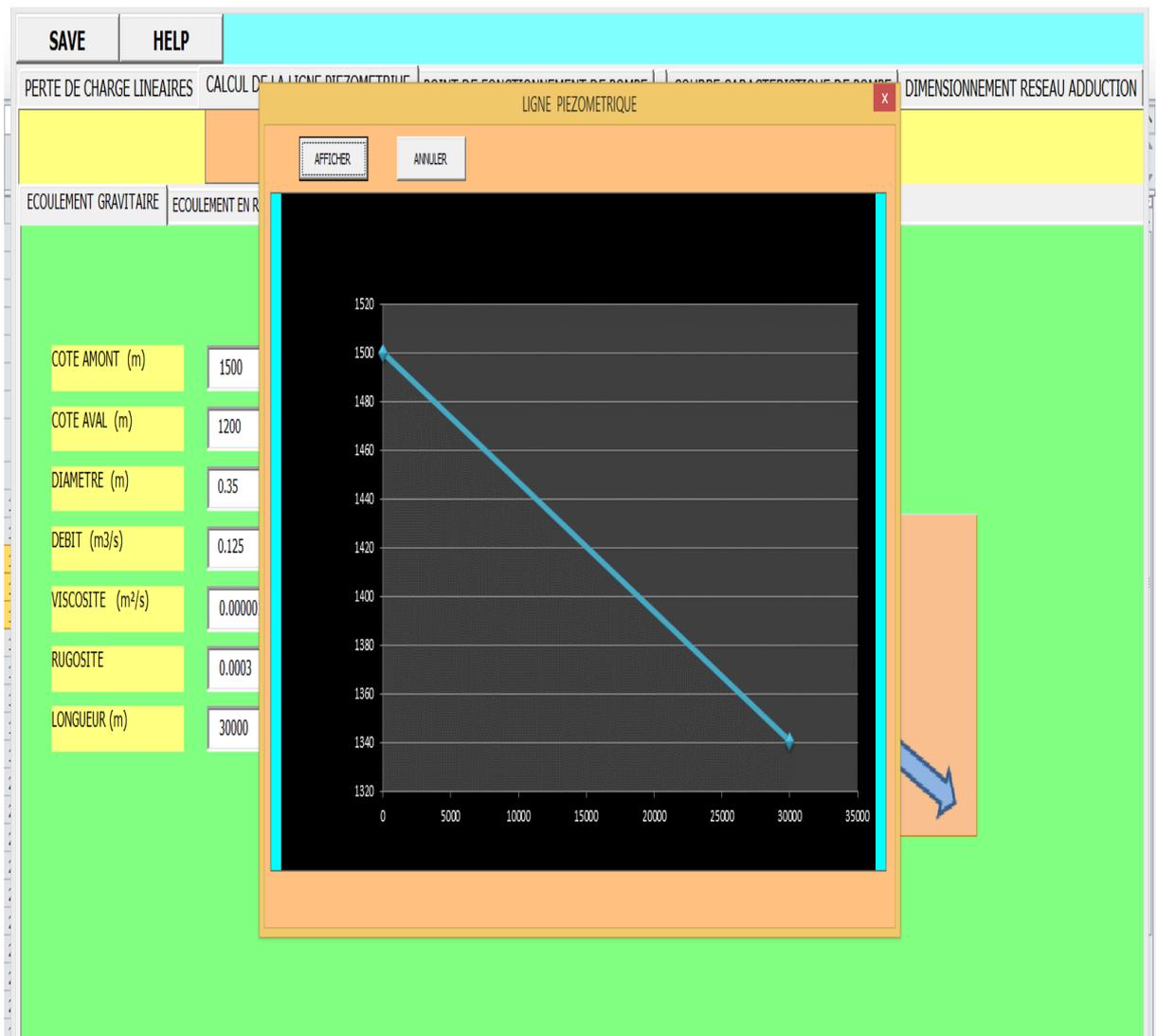


Figure 40 : fenetre graphe de la ligne piezométrique,écoulement gravitaire.

### Exemple2 ,écoulement par refoulement :

#### Données :

Cote amont : 1000 m.

Cote aval : 1500 m.

Débit : 0.08 m<sup>3</sup>/s.

Diamètre : 0.3 m.

Viscosité : 0.000001 m<sup>2</sup>/s.

Rugosité : 0.0005 m.

Longueur :10000 m.

**Résultats :**

Hauteur manométrique : 557.92 m.

X amont : 0.0 m.

Préssion amont : 0.0 m.

Niveau piézométrique amont : 155.79 m.

X aval : 10000 m.

Niveau piézométrique aval : 150.30 m

Préssion aval : 0.3 bars.

Après la sortie de ces résultats (Figure 42) (on fait afficher le graphe de la ligne piézométrique par la commande (GRAPHE) dans la fenetre ( Figure 42) .

Paramètre	Valeur	Paramètre	Valeur
COTE AMONT (m)	1000	HAUTEUR MANOMETRIQUE (m)	557,92
COTE RESERVOIR AVAL (m)	1500	X POMPE (m)	0,00
LONGUEUR (m)	10000	NIVEAU PIEZOMETRIQUE AMONT (m)	155,79
DEBIT (m <sup>3</sup> /s)	0,08	X AVAL (m)	10 000,00
DIAMETRE (m)	0,3	NIVEAU PIEZOMETRIQUE AVAL (bars)	150,30
RUGOSITE (m)	0,0005	PRESSION AVAL (bars)	0,30
VISCOSITE (m <sup>2</sup> /s)	0,000001		

Buttons: CALCULER, ANNULER, GRAPHE

Figure 41 : fenetre calcul de la ligne piézométrique,écoulement par refoulement,pompage.

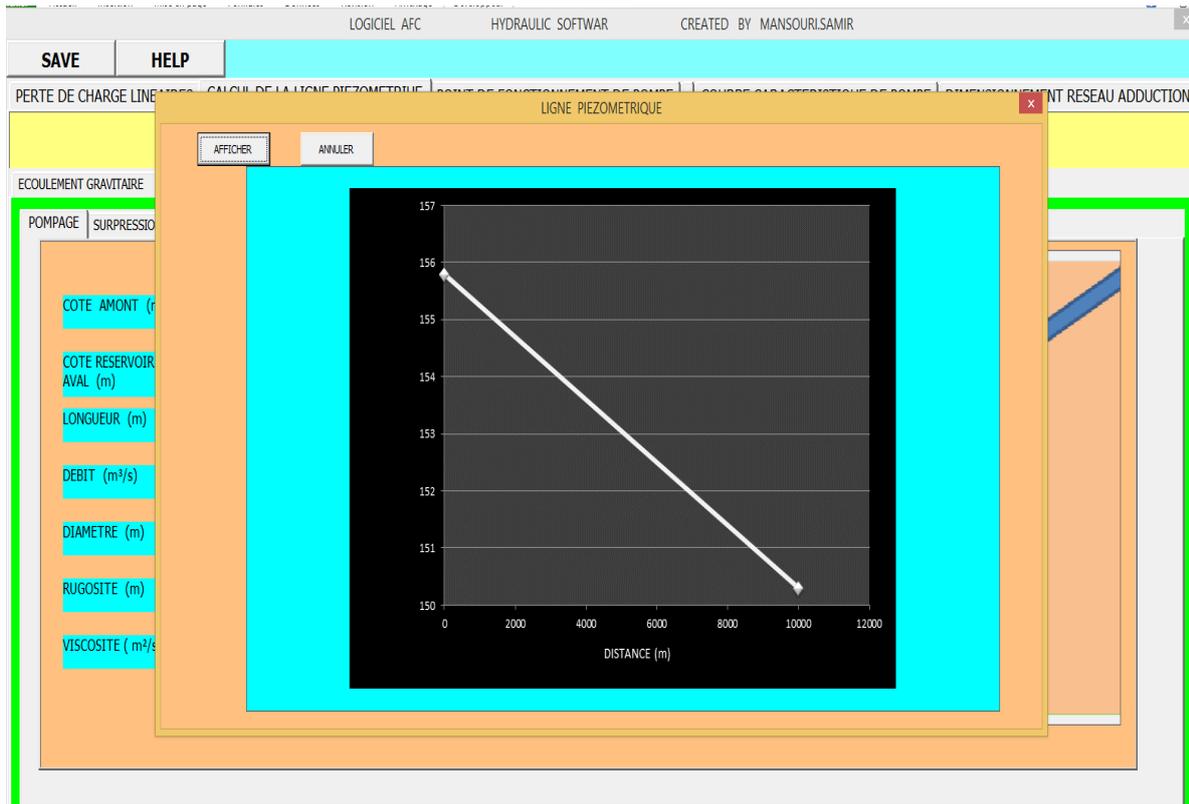


Figure 42 : fenetre graphe de la ligne piezométrique,écoulement par refoulement,pompage.

### IV-2 -3- Calcul des diamètres de conduites,debits connues :

Exemple 1 :

#### DONNEES :

Viscosite :0.000001

Charge conduite1 : 1600 m.

Charge conduite1 :1400 m.

Charge conduite1 :1350 m.

Charge conduite1 :1300 m.

Charge conduite1 :1240 m.

Charge conduite1 :1200 m.

Charge conduite1 :1100 m.

Charge conduite1 :1000 m.

Debit conduite1 :0.98 m<sup>3</sup>/s.

Debit conduite1 :0.2 m<sup>3</sup>/s.

Debit conduite1 :0.1 m<sup>3</sup>/s.

Debit conduite1 :0.15 m<sup>3</sup>/s.

Debit conduite1 :0.25 m<sup>3</sup>/s.

Debit conduite1 :0.15 m<sup>3</sup>/s.

Debit conduite1 :0.05 m<sup>3</sup>/s.

Debit conduite1 :0.08 m<sup>3</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.0005 m<sup>3</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.003 m<sup>2</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.0015 m<sup>2</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.0004 m<sup>2</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.0005 m<sup>2</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.0015 m<sup>2</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.00025 m<sup>2</sup>/s.

Rugosie conduite 1 : 0.0003 m<sup>2</sup>/s.

Longueur conduite 1 : 600 m.

Longueur conduite 1 : 800 m.

Longueur conduite 1 : 700 m.

Longueur conduite 1 : 1200 m.

Longueur conduite 1 : 1600 m.

Longueur conduite 1 : 700 m.

Longueur conduite 1 : 500 m.

Longueur conduite 1 : 2000 m.

### **RESULTATS :**

Diametre conduite 1 : 0.25 m.

Diametre conduite 2 : 0.15 m.

Diametre conduite 3 : 0.12 m.

Diametre conduite 4 : 0.16 m.

Diametre conduite 5 : 0.22 m.

Diametre conduite 6 : 0.17 m.

Diametre conduite 7 :0.00 m.

Diametre conduite 8 : 0.16 m.

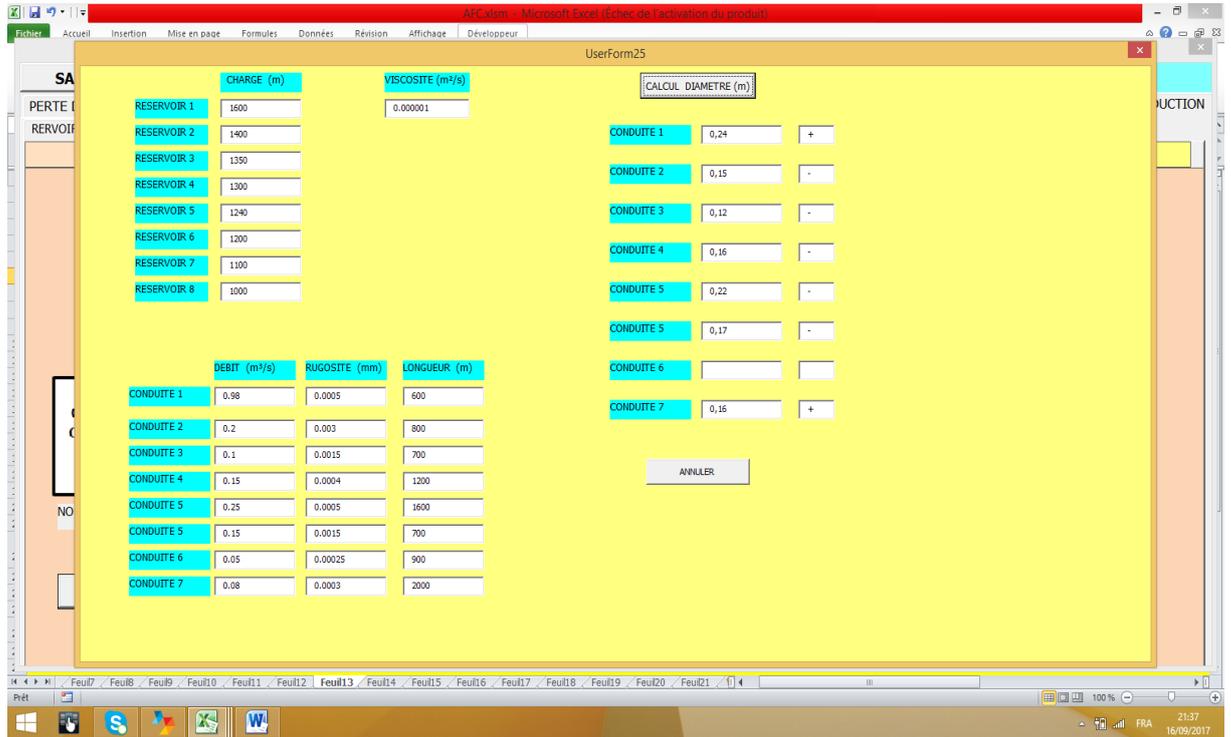


Figure 43 : exemple dimensionnement (calcul des diamètres).

**IV-2 -4- Calcul de la charge au point de raccordement et les débits dans les conduites :**

**Exemple 1 :**

**DONNEES :**

	CHARGE (m)			DIAMETRE (m)	RUGOSITE (m)	LONGUEUR (m)	VISCOSITE	0,00
RESERVOIR ALIM	300		CONDUITE 1	0,35	0,0005	100		
RESERVOIR 1	250		CONDUITE 2	0,3	0,0005	350		
RESERVOIR 2	200		CONDUITE 3	0,25	0,0005	450		
RESERVOIR 3	150		CONDUITE 4	0,2	0,0005	500		
RESERVOIR 4	250		CONDUITE 5	0,25	0,004	350		

**RESULTATS :**

DEBIT CONDUITE (m3/s)
0.86
-0.29
-0.28
-0.19
-0.13

**LA CHARGE AU PT DE RACCORDEMENT**  
272,56

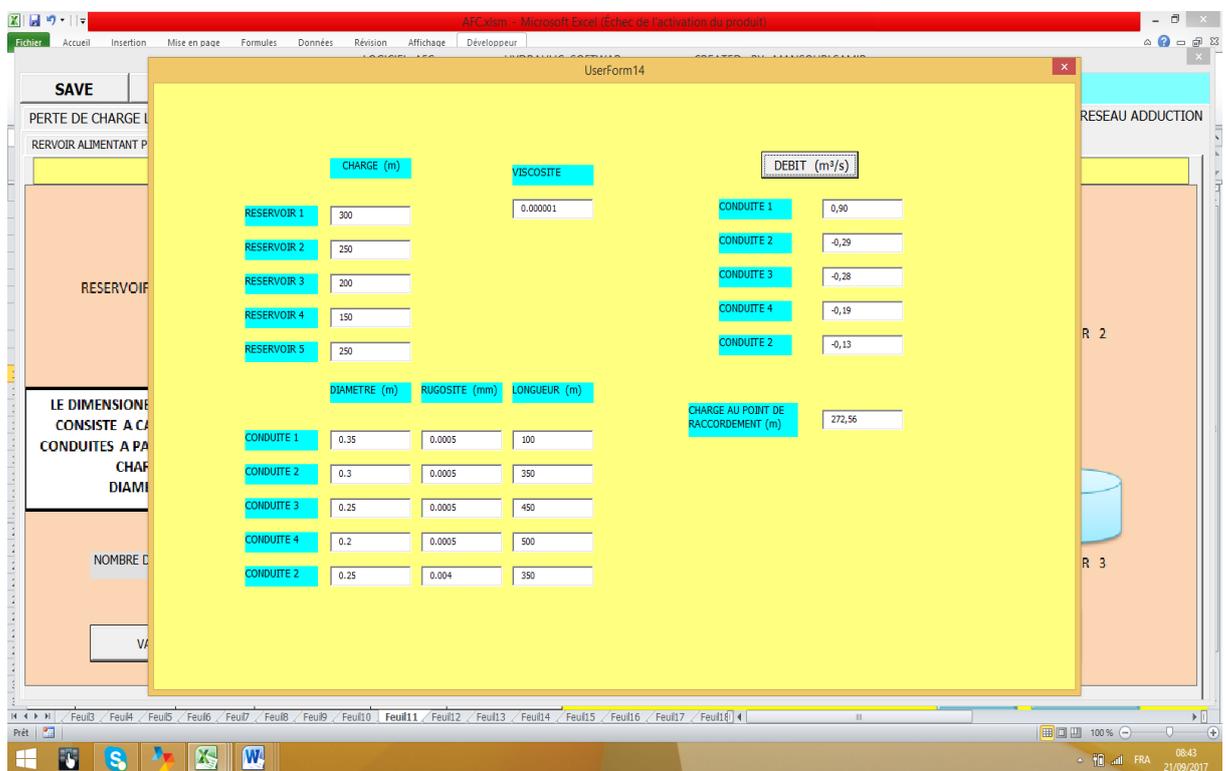


Figure 44 : exemple dimensionnement (calcul des débits et la charge au point de raccordement).

**IV-2 -5- Calcul de la caractéristique d'une pompe :**

**Exemple 1 : un seul point**

**DONNEES :**

Q=0.5 m³/s, H=10 m .

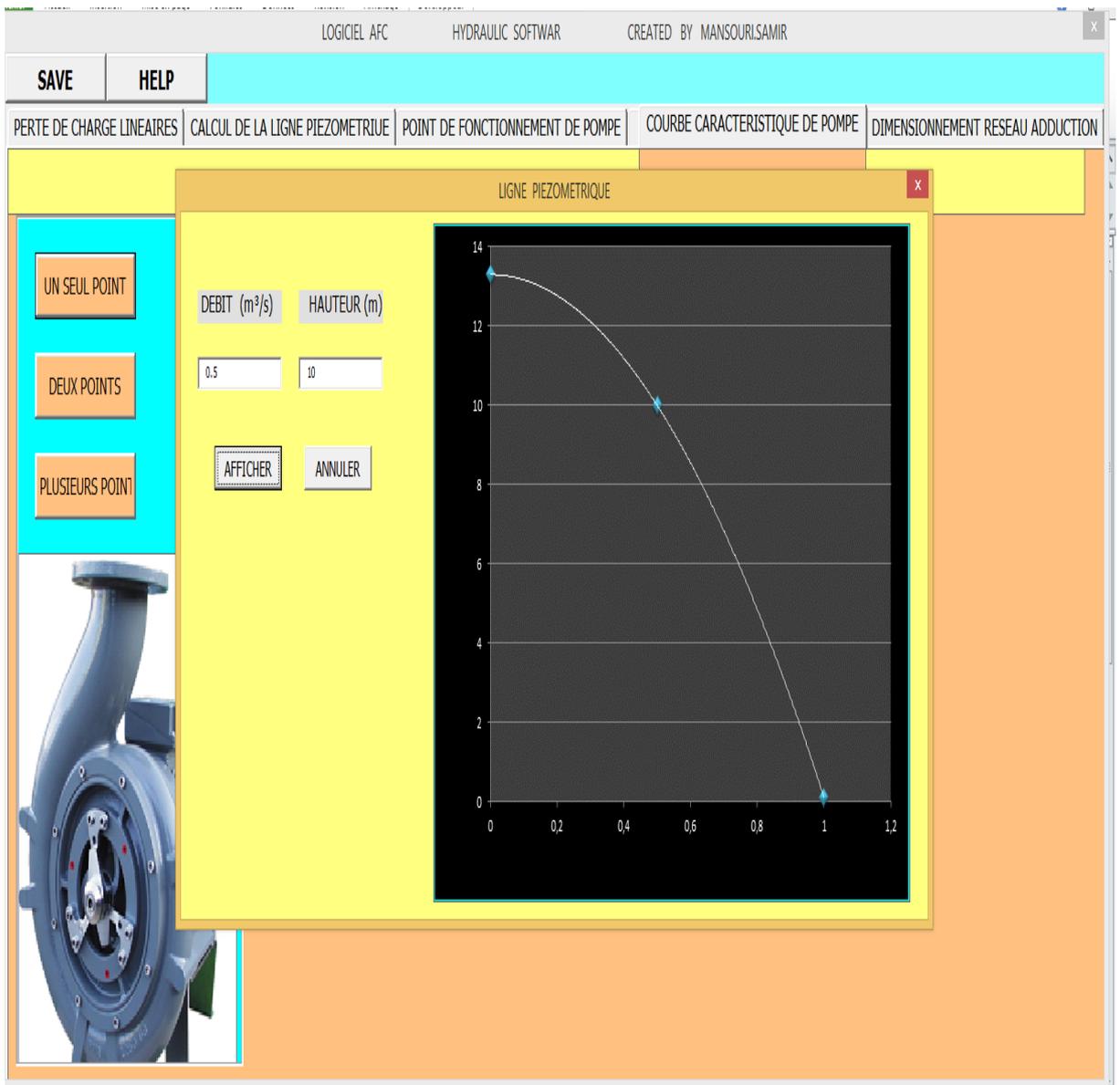
**RESULTATS:**

Figure 45 : exemple calcul de la courbe caractéristique (un seul point).

**Exemple 2 : deux points****DONNEES:**

$Q=0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H=160\text{m}$  .

$Q=0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H=40\text{m}$  .

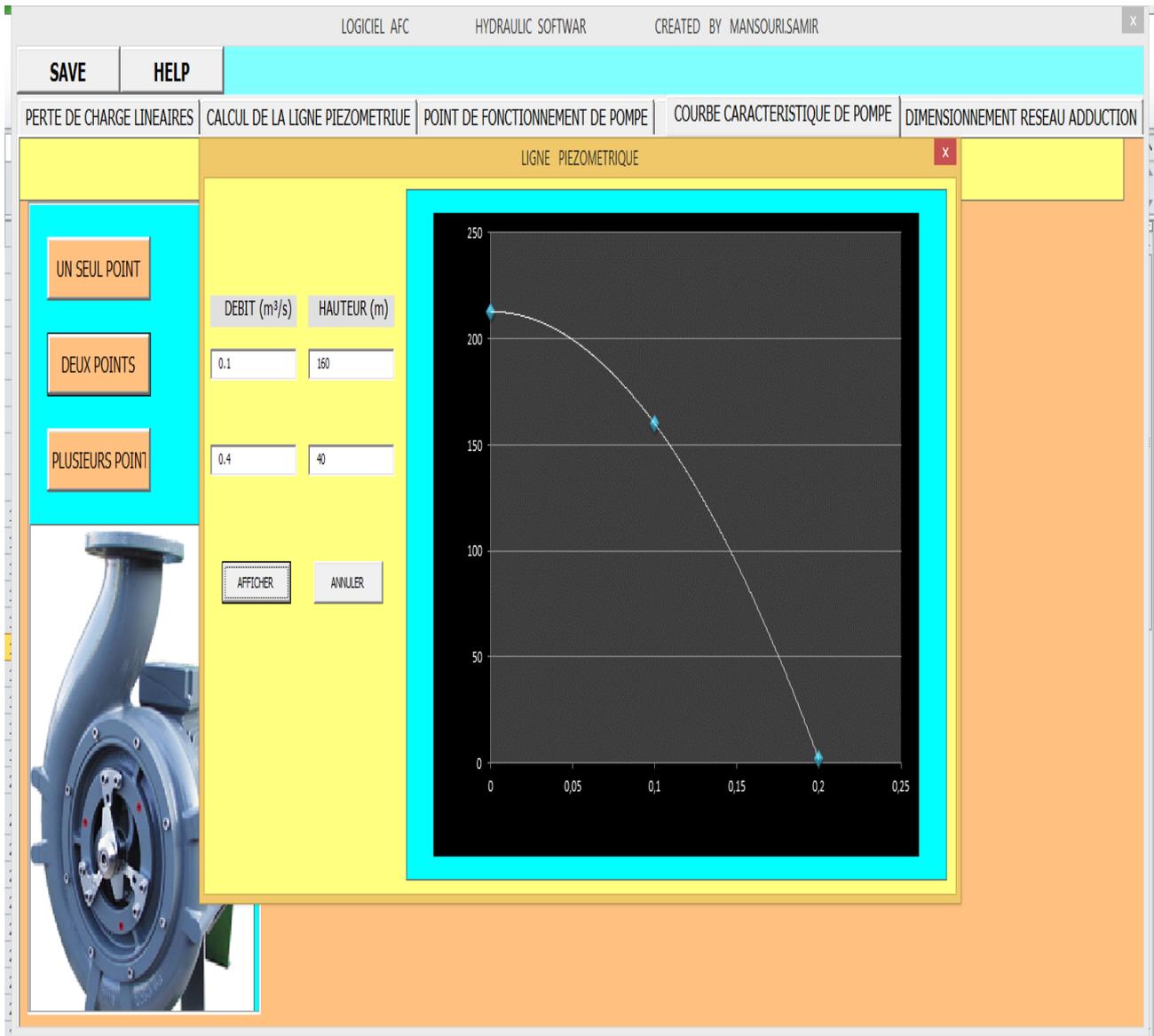
**RESULTATS:**

Figure 46 : exemple calcul de la courbe caractéristique (deux points).

**Exemple 3 : plusieurs points.****DONNEES:**

$Q=0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H=120\text{m}$  .

$Q=0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H=110\text{m}$  .

$Q=0.6\text{m}^3/\text{s}$ ,  $H=80\text{m}$  .

$Q=0.8\text{m}^3/\text{s}$ ,  $H=40\text{m}$  .

$Q=0.89\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H=5\text{ m}$  .

$Q=0.9\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H=1\text{m}$ .

**RESULTATS:**

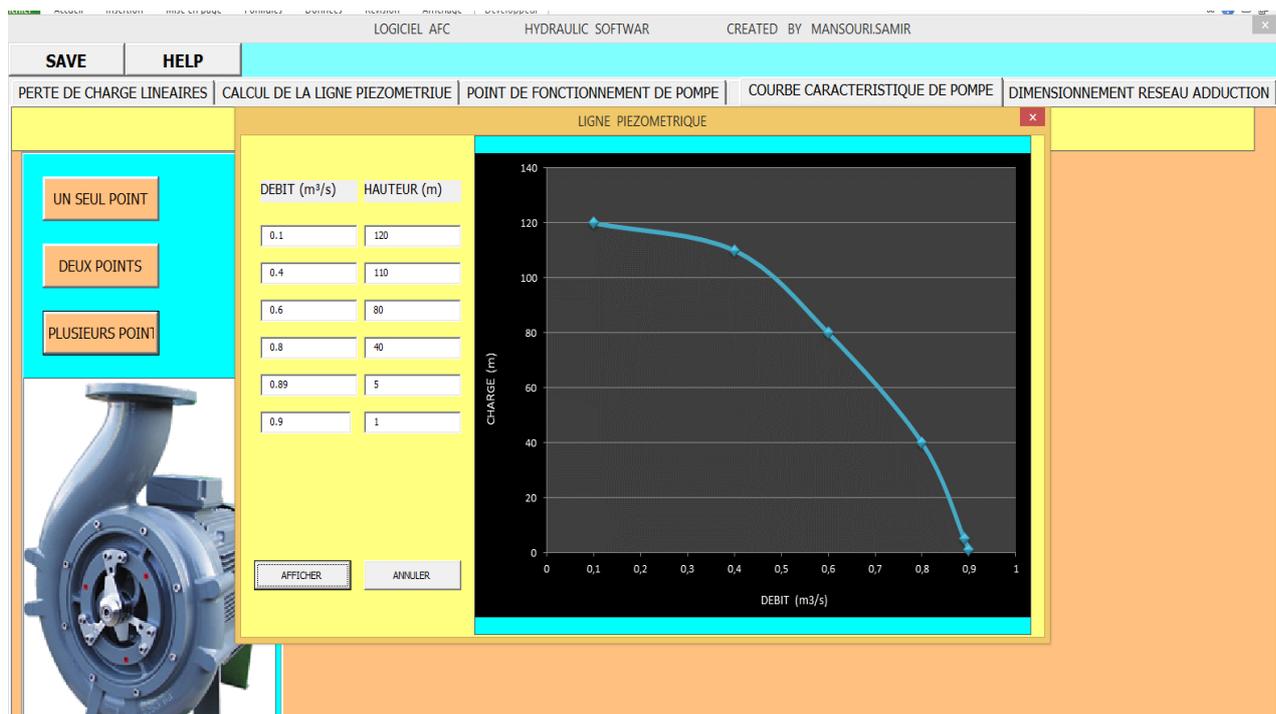


Figure 47: exemple calcul de la courbe caractéristique (plusieurs points).

### IV-2-9 Calcul du point de fonctionnement de pompe:

Courbe de reseau :

Donnees :

DONNEES	
COTE RESRVOIR D'ASPIRATION (m)	1162
DIAMETRE RESRVOIR D'ASPIRATION (m)	0,5
RUGOSITE CONDUITE D'ASPIRATION (m)	0,0005
LONGUEUR CONDUITE D'ASPIRATION (m)	10
COTE RESRVOIR DE REFOULEMENT (m)	1280
DIAMETRE CONDUITE DE REFOULEMENT (m)	0,5
RUGOSITE CONDUITE DE REFOULEMENT (m)	0,0005
LONGUEUR CONDUITE DE REFOULEMEN (m)T	5000
DEBIT (m <sup>3</sup> /s)	0,163
VISCOSITE (kg/m/s)	0,001

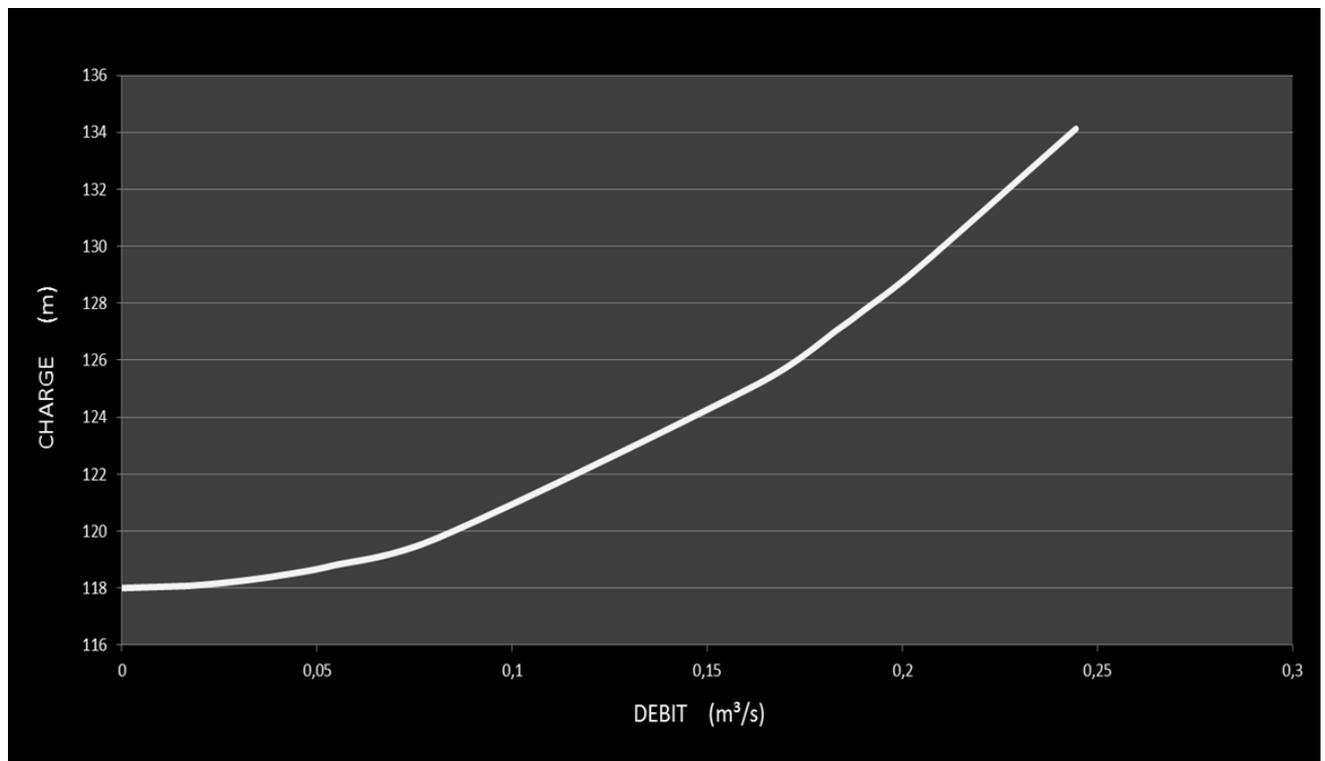


Figure 48: exemple calcul de la courbe dr réseau.

Point de fonctionnement :

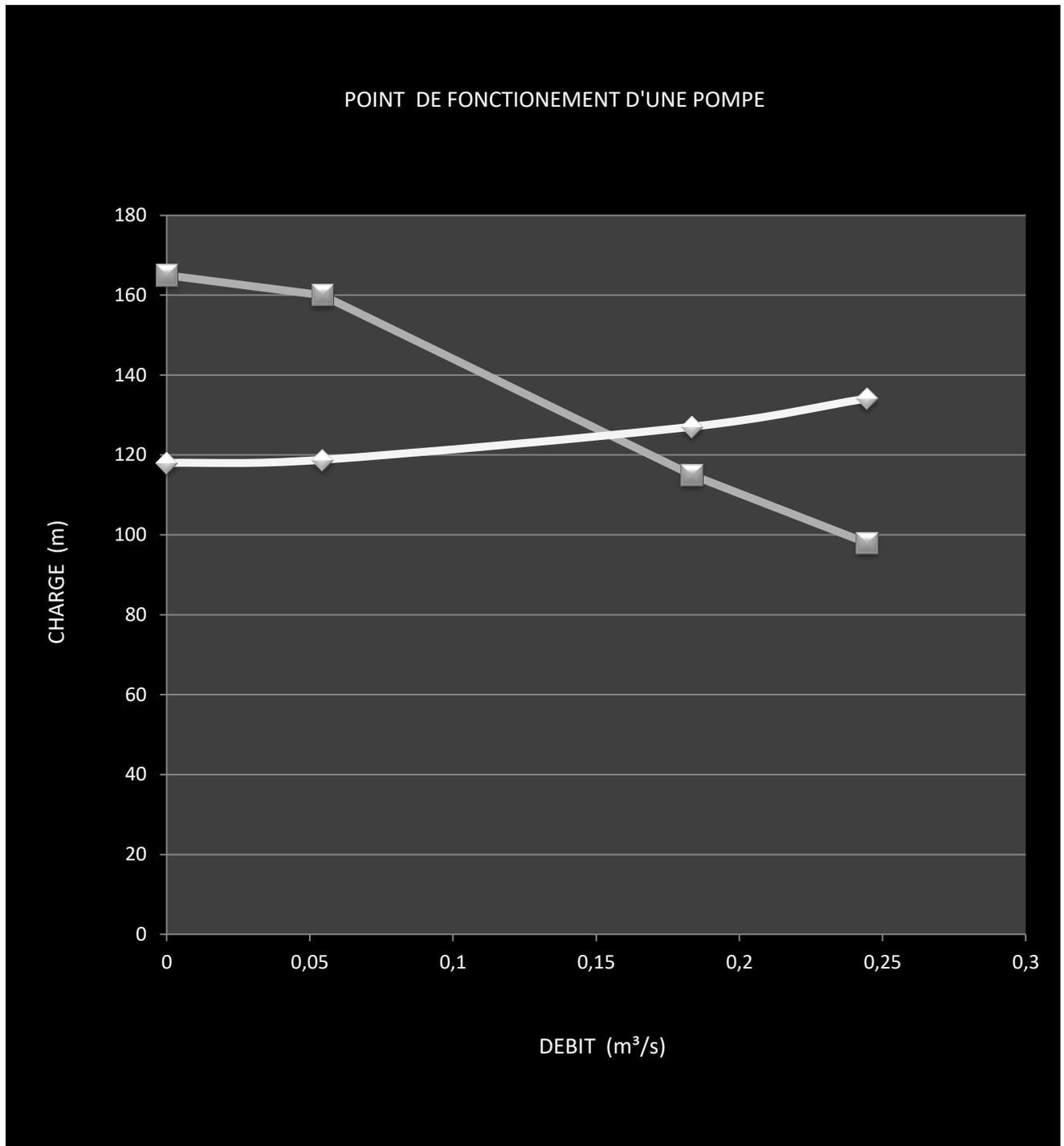


Figure 49: exemple calcul du point de fonctionnement d'une pompe

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

La modélisation hydraulique n'est pas seulement un outil de calcul et de dimensionnement rapide et efficace, mais un moyen indispensable pour la conception, analyse, planification et gestion rationnelle des réseaux.

La base d'un modèle hydraulique d'un système sous pression est la formulation mathématique des lois et équations des écoulements en charge, ce modèle cherche à résoudre les équations de continuité et de conservation d'énergie, pour cela, nous avons vu que tous les modèles utilisent des méthodes pour résoudre ces équations.

Le logiciel AFC développé au cours de ce travail permet un calcul rapide et précis de calcul des paramètres hydrauliques de base en écoulements en charge.

Ce travail sera j'espère d'une grande aide aux futurs étudiants ainsi qu'aux ingénieurs qui exercent déjà leurs fonctions dans ce domaine.

La particularité de ce modeste logiciel par rapport à d'autres d'envergure tel que EPANET, AFT IMPULSE se définit comme suit :

- AFC traite la simulation numérique du réseau (un réservoir alimentant plusieurs réservoirs), sans faire entrer l'altitude du point de raccordement des différentes conduites, alors que EPANET, AFT IMPULSE exigent l'insertion de l'altitude de ce point.

- La théorie du dimensionnement des conduites du réseau cité ci-dessus utilisée par AFC, est pour la première fois dans la théorie scientifique établie, car le calcul des diamètres des conduites n'a jamais été étudié auparavant.

- Le calcul de la charge au point de raccordement ainsi que les débits dans les conduites au cas de diamètre imposé, est pour la première fois établie numériquement.

IL est souhaitable que ce travail soit poursuivi dans le future en vue d'élaborer un logiciel de simulation des écoulements en charge plus puissant et couvrant le régime transitoire.

# **Références bibliographiques**

• **BAHLOUS EL OUAFI S. (2002)**

HYDRAULIQUE, centre de publication universitaire, Tunis

• **BENTLEY institute press (2007)**

Advanced Water Distribution Modeling and management

• **CARLIER M. (1986) ,**

Hydraulique générale et appliquée, Edition Eyrolles

• **CH2M HILL (1999)**

"Water Distribution Hydraulic Model Selection" TECHNICAL MEMORANDUM

No.7.1 March 26

• **DÉGRÉMONT (1989)**

Mémento technique de l'eau, tome I ,

• **DUBOIS J. (1998)**

comportement hydraulique et modélisation des écoulements de surface , Thèse de doctorat ès sciences techniques , EPFL ,

• **DUPONT A. (1971)**

Hydraulique urbaine, TOME II , ouvrages de transport –élévation et distribution des eaux , Edition Eyrolles

• **EL ABBOUDI N. (2000)**

Modélisation des écoulements en charge, Mémoire de maîtrise ès sciences , Université de Québec , INRS –eau

• **Guy Mélard, Atika Cohen et Marc Colet "Guide d'apprentissage des**

fonctions et des macros d'Excel" 1ère édition, 10 mars 2004 .