



MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : ALIMENTATION EN EAU POTABLE

THEME :

**INFLUENCE DE LA METHODE DE CALCUL DE LA PERTE
DE CHARGE SUR LES DIMENSIONS D'UNE CONDUITE EN
CHARGE**

Présenté par :

BOUDRIA Maroua Manel

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
SALAH Boualem	Professeur	Président
KAHLERRAS Malika	M.C.B	Examineur
BENCHIHEB Nedjouda	M.C.B	Examineur
KADI Latifa	M.A.A	Promoteur

Session Octobre 2023

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous exprimons notre gratitude envers Allah, qui a éclairé notre parcours, nous a dotés de force, de sagesse et de la volonté nécessaire pour accomplir cette humble tâche.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Le chemin parcouru pour atteindre ce point n'aurait pas été possible sans leur soutien, leur encouragement et leur expertise.

Nous voudrions également remercier, ma directrice de mémoire, Madame KADI LATIFA, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion, votre expertise a été une source inestimable d'inspiration.

Nous remercions le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers la famille pour leur amour inconditionnel et leur soutien indéfectible. Votre encouragement nous a donné la force de persévérer dans les moments difficiles.

DÉDICACES

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du Dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect mon cher père **Kada**.

A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour incessible mon adorable mère **Khadidja**

A mes chères sœurs **Amina**, **Nawel** et ma jumelle **Wissam**, qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A mon très cher oncle **Mourad**, mon beau-frère **Abdelmadjid**.

A mon adorable neveu **Amir** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mes copines, **Hadjer**, **Fatima** et **Imen**, votre influence et votre inspiration ont été la lumière qui a guidé ma recherche.

Et bien sûr à Mon promoteur Madame **KADI LATIFA**.

ملخص

يركز بحثنا على تأثير فقدان الضغط على تصميم ماسورة تحت حمل. تعتمد هذه الدراسة على عدة علاقات لفقدان الضغط، بما في ذلك العلاقة درسي-ويسباخ، وعلاقة هازن وويليامز، وعلاقة ليشابت وكالمون، وعلاقة كولبيروك-وايت، وعدد من الجهة الأخرى. سنستخدم ε/D رينولدز. الانسياب الهائج مميز بوجود عدد رينولدز من جهة ونسبة الخشونة النسبية هاتين المتغيرتين لحساب معامل الاحتكاك باستخدام عدة علاقات مثل علاقة كولبيروك-وايت، والصيغ الواضحة لـ سوامي وجاين، وأشور، ومودي، وألتشول، وزيجرانج وسيلفستر، وناكاب، ونيكورادس. بعد ذلك، من خلال حساب الحالات الجاذبية والحالات ذات الضغط، يمكننا أن نستخلص استنتاجات مثيرة حول تأثير فقدان الضغط على قطر الماسورة. لاحظنا أن صيغ هازن-ويليامز وليشابت وكالمون تؤدي إلى أقطار أصغر من تلك التي تم حسابها باستخدام صيغة درسي-ويسباخ. الكلمات المفتاحية: فقدان الضغط، معامل الاحتكاك، خزان، رقم رينولدز.

Résumé

Notre travail de recherche se focalise sur l'influence de la perte de charge sur le dimensionnement d'une conduite en charge. Cette étude se base sur plusieurs relations de perte de charge, à savoir la relation Darcy-Weisbach, relation de Hazen williams, relation de Lechapt et Calmon. L'écoulement turbulent étant caractérisé par le nombre de Reynolds d'une part et par la rugosité relative ε / D de l'autre, nous nous baserons sur ces deux paramètres pour déterminer le coefficient de frottement en utilisant différentes relations comme celle de Colebrook-White, Nikuradsé, de Swamee et Jain et de Achour. Ensuite par le calcul des cas gravitaire et par refoulement, nous avons constaté que les formules de Hazen-Williams et de Lechapt et Calmon conduisent à des diamètres inférieurs aux ceux calculés par la formule de Darcy-Weisbach.

Mots clés : Perte de charge, coefficient de frottement, nombre de Reynolds.

Abstract

Our research focuses on the influence of pressure loss on the design of a loaded pipe. This study is based on several pressure drop relationships, namely the Darcy-Weisbach relation, Hazen williams relation, Lechapt and Calmon relation, Colebrook-White relation and Reynolds number. The turbulent flow is characterized by the Reynolds number on the one hand and the relative roughness ε / D on the other. We will use these two parameters to determine the coefficient of friction using different relationships such as that of Colebrook-White, and by the explicit formulas of Swamee and Jain, Achour, Moody, Altshul, Churchill, Zigrang and Sylvester, of Nackab and Nikuradsé. Then by the calculation of gravity and discharge cases we can draw interesting conclusions on the influence of pressure loss on the diameter of the pipe. We found that the Hazen-Williams and Lechapt and Calmon formulas lead to diameters lower than those calculated by the Darcy-Weisbach formula

Keywords: pressure loss, the coefficient of friction, Reynolds number.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	9
I- Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique	12
Introduction	13
I.1- Méthodes de calcul de la perte de charge	13
I.1.1- Formule de Hazen Williams (Wong, 2019).....	13
I.1.2- Formule de Lechart et Calmon :	14
I.1.3- Formule de Darcy-Weisbach	14
Conclusion.....	21
II- Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge.....	22
Introduction	23
II.1- Calcul de la conduite en charge	23
II.2- Principe de dimensionnement d'une adduction gravitaire en charge	23
II.3- Adduction par refoulement	25
II.3.1- Principe de fonctionnement.....	25
II.3.2- Détermination du diamètre économique	26
II.3.3- Les conditions économiques	27
Conclusion.....	29
III- Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement	30
Introduction	31
III.1- Etude d'une conduite gravitaire	31
III.1.1- Calcul des diamètres	31
III.2- Etude d'une conduite de refoulement	34
Conclusion.....	40

Conclusion générale	41
Références bibliographiques	43

Liste des tableaux

Tableau I-1:Matériaux et coefficients utilisés dans la formule de Lechapt et Calmon.....	14
Tableau III-1: Tableau des itérations à partir du diagramme de Moody.....	33
Tableau III-2:Tableau récapitulatif des calculs des coefficients de frottement et des pertes de charge pour la formule de Darcy-Weisbakh	33
Tableau III-3: Tableau récapitulatif des résultats des différentes formules pour le cas gravitaire.....	34
Tableau III-4:Tableau des paramètres de chaque diamètre.....	35
Tableau III-5:Tableau récapitulatif des calculs de la perte de charge et des couts totaux « Darcy »	36
Tableau III-6:Tableau récapitulatif des calculs de la perte de charge et des couts totaux « Hazen ».....	37
Tableau III-7:Tableau récapitulatif des calculs de la perte de charge et des couts totaux « Lechapt et Calmon »	38
Tableau III-8:Tableau récapitulatif des résultats des différentes formules pour le cas de refoulement.....	39

Liste des figures

Figure I-1: Schéma d l'écoulement laminaire (A.Achar A.El Himass2019).....	16
Figure I-2: Schéma des écoulement turbulents (A.Achar A.El Himass 2019).....	16
Figure I-3: Diagramme universel de Moody (Lewis F.Moody 1944).....	17
Figure II-1: Adduction gravitaire à partir d'une source.....	24
Figure II-2: Adduction gravitaire reliant deux réservoirs	24
Figure II-3: Adduction par refoulement	26
Figure III-1: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement pour la formule de Darcy	37
Figure III-2: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement pour la formule de Hazen	38
Figure III-3: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement pour la formule de Lechapt et Calmon	39

Introduction générale

Dans le domaine de l'ingénierie hydraulique, la conception de réseaux de conduites en charge est une tâche cruciale, souvent confrontée à des impératifs de performance et d'efficacité énergétique. L'une des principales considérations lors de la planification de ces systèmes est l'estimation précise des pertes de charge hydraulique. Les pertes de charge, résultant de la résistance au flux du fluide à l'intérieur des conduites, ont un impact direct sur les dimensions, les coûts et l'efficacité opérationnelle des réseaux hydrauliques. Le choix de la méthode de calcul pour estimer ces pertes de charge joue un rôle déterminant dans la conception globale du système.

Ce mémoire se penche fondamentalement sur la question : comment le choix de la méthode de calcul des pertes de charge affecte-t-il les dimensions d'une conduite en charge ?

En d'autres termes, comment les résultats obtenus en utilisant différentes méthodes de calcul peuvent-ils différer et influencer les caractéristiques de la conduite, spécialement le diamètre.

Au cours de cette étude, nous explorerons en détail les méthodes de calcul couramment utilisées pour estimer les pertes de charge hydraulique, notamment l'équation de Darcy-Weisbach, l'équation de Hazen-Williams et d'autres approches empiriques.

Au cours de ce mémoire, nous allons aborder des études de cas spécifiques ; un cas de conduite gravitaire et d'autre en refoulement, illustrant l'impact des pertes de charge sur des systèmes réels.

L'objectif principal de ce mémoire est d'analyser la différence que peut engendrer

l'application d'un moyen de calcul de la perte de charge lors de la conception de conduite en charge sur les dimensions de cette dernière.

Document téléchargé depuis: <http://dspace.ensh.dz>

I- Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

Chapitré I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

Introduction

Lorsque l'on plonge dans le domaine de l'hydraulique, il est impossible d'ignorer l'importance de la perte de charge. Elle se produit lorsque le fluide en mouvement rencontre une résistance, entraînant ainsi une diminution de la pression. Les effets de frottement engendrent des pertes d'énergie.

Dans ce chapitre, nous allons explorer en profondeur les différentes relations de calcul des pertes de charge hydrauliques.

- Pour calculer les conduites d'écoulement, on doit passer d'abord par le calcul des pertes de charge :
 - Linéaire : elles correspondent alors à l'écoulement le long des conduites.
 - Singulières : elles se manifestent sur les pièces spéciales qui modifient la direction ou la section de passage d'eau (raccord, Té, vannes, soupapes, etc.).

I.1- Méthodes de calcul de la perte de charge

I.1.1- Formule de Hazen Williams (Wong, 2019)

Elle est donnée comme suit :

$$\Delta H_{HW} = 10.67 * C^{-1.85} * D^{-4.87} * Q^{1.85} * L \quad (I-1)$$

C : est le coefficient de rugosité de Hazen-Williams du matériau constituant la conduite, pour PEHD il est estimé à 130.

Q : débit de la conduite (m³/s)

D : diamètre de la conduite (m)

L : longueur de la conduite (m).

Les coefficients utilisés dans la formule de Hazen-Williams sont les suivants :

Matériau	C
Acier non revêtu	110
Acier revêtu	120
Fonte non revêtue	100
Béton centrifugé	140
PVC PEHD	130

(Pioge, 1998)

Chapitré I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

I.1.2- Formule de Lechapt et Calmon :

Elle est donnée par :

$$\Delta H_{LC} = \frac{L}{1000} * l * Q^M * D^{-N} \quad (I-2)$$

ΔH_{LC} : la perte de charge de Lechapt et Calmon en (m) ;

L : la longueur du conduite (m) ;

Q : débit en m³/s ;

D : diamètre de la conduite en m ;

l, M et N des coefficients dépendants de la rugosité { ϵ } .(Documentation de Cassiopée v4.17.0)

Le tableau suivant présente les valeurs des coefficients utilisés dans la formule de Lechapt et Calmon pour les différents matériaux de conduite :

Tableau I-1:Matériaux et coefficients utilisés dans la formule de Lechapt et Calmon

Matériau	(mm)	L	M	N
Fonte ou acier non revêtus - Béton grossier (eau corrosive)	2	1.86	2	5.33
Fonte ou acier non revêtus - Béton grossier (eau peu corrosive)	1	1.60	1.97	5.25
Fonte ou acier revêtement ciment	0.5	1.40	1.96	5.19
Fonte ou acier revêtement bitume - béton centrifugé	0.25	1.16	1.93	5.11
Acier laminé - béton lisse	0.1	1.10	1.89	5.01
Fonte ou acier revêtement centrifugé	0.05	1.049	1.86	4.93
PVC - polyéthylène	0.025	1.01	1.84	4.88
Tuyau hydrauliquement lisse - $0.05 \leq D \leq$ 0.2	0.001	0.916	1.78	4.78
Tuyau hydrauliquement lisse - $0.25 \leq D \leq 1$	0.001	0.971	1.81	4.81

(Source : Documentation de Cassiopée v4.17.0)

I.1.3- Formule de Darcy-Weisbach

C'est Weisbach qui a initialement formulé la relation pour le gradient de perte de charge dans une conduite circulaire en 1845. De manière indépendante, les travaux de Darcy, réalisés en 1854, ont porté sur les écoulements dans les conduites. Ces travaux ont abouti à la formulation de la relation bien connue aujourd'hui sous le nom de formule de Darcy-Weisbach :

Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

$$\Delta H = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad (I-3)$$

Où :

ΔH : perte de charge [m]

f : coefficient de rugosité de la conduite [-]

L : longueur de la conduite [m]

Q : Débit dans la conduite [m³/s]

g : l'accélération due à la pesanteur [m/s²]

- Différentes approches ont été élaborés pour déterminé le coefficient de frottement « f »

L'écoulement est qualifié de turbulent si le nombre de Reynolds est égal ou dépasse 2300.(Achour 2007)

I.1.3.1- Formule de Colebrook

Colebrook (1937), en utilisant des données expérimentales qu'il avait personnellement recueillies, en collaboration avec son collègue White, a développé une courbe de correspondance et introduit la célèbre équation Colebrook-White. Il s'agit de la première équation capable de décrire l'écoulement dans la région de transition. Cette formule se compose ainsi de deux termes énoncés par Nikuradse et Prandtl :

$$f = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \quad (I-2)$$

Où :

f : coefficient de frottement [-]

Re : nombre de Reynolds [-]

ε : rugosité absolue de la conduite [m]

D : diamètre de la conduite [m] (Zeghadnia 2019)

Le nombre de Reynolds est défini par : (Colebrook White1937)

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (I-3)$$

Où :

ρ : masse volumique du fluide [kg/m³]

V : vitesse du fluide [m/s]

D : dimension caractéristique de l'écoulement [m]

μ : viscosité dynamique du fluide [Pa•s]

Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

Le nombre de Reynolds permet de déterminer le régime d'écoulement d'un fluide. En effet, pour un écoulement laminaire, le nombre de Reynolds est inférieur à 2300. Pour un écoulement turbulent, le nombre de Reynolds est supérieur à 4000.

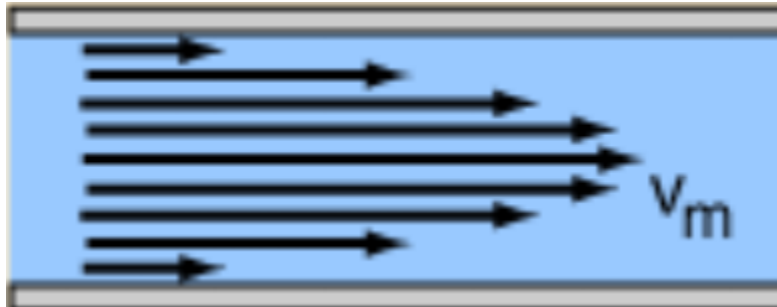


Figure I-1: Schéma d l'écoulement laminaire (A.Achar A.El Himass2019)

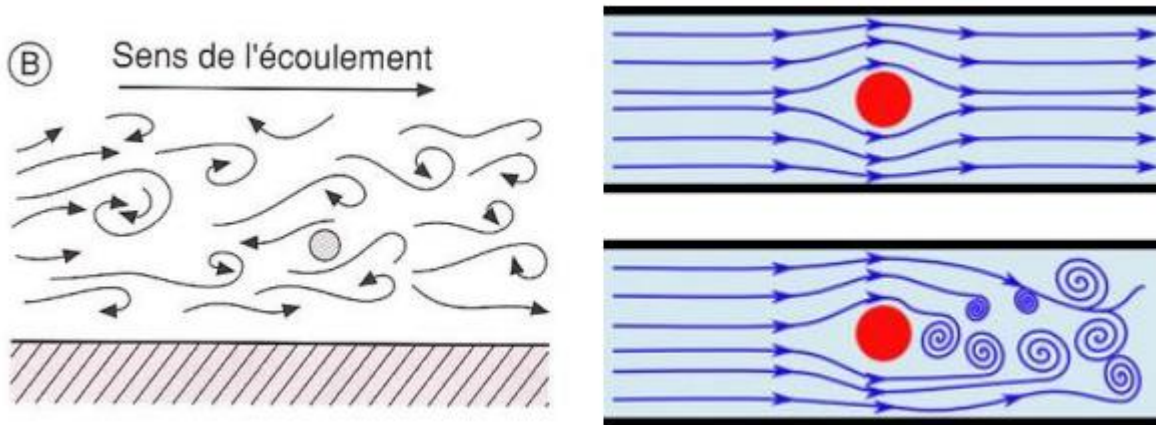


Figure I-2: Schéma des écoulement turbulents (A.Achar A.El Himass 2019)

I.1.3.2- Formule de Moody

Moody (1947) a présenté une nouvelle forme de l'équation de Colebrook-White. Moody est principalement reconnu pour son diagramme, mais moins pour cette proposition visant à remplacer l'équation implicite, qui est la plus ancienne proposition explicite(Zeghadnia 2019) :

$$f = 0.0055 \left[1 + \left(2 \times 10^5 \left(\frac{\epsilon}{D} \right) + \frac{10^6}{Re} \right) \right]^{1/3} \quad (I-4)$$

I.1.3.3- Diagramme universel de Moody

Le diagramme universel de Moody est un graphique qui représente le coefficient de frottement en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative de la conduite. Il permet de lire directement le coefficient de frottement sans avoir à résoudre une équation.

Chapitré I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

Le diagramme universel de Moody est basé sur la formule de Colebrook-White. Il est divisé en deux zones principales : la zone d'écoulement laminaire et la zone d'écoulement turbulent.

(Zeghadnia 2019)

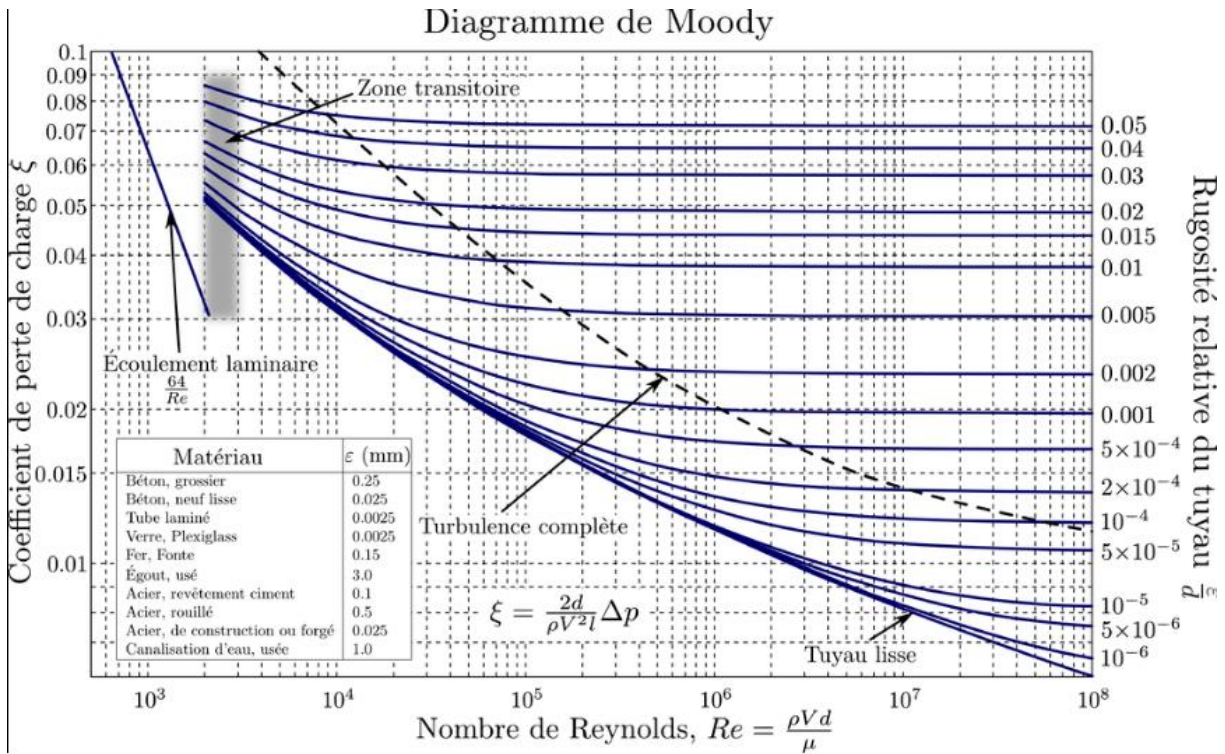


Figure I-3: Diagramme universel de Moody (Lewis F.Moody 1944)

I.1.3.4- Corrélation de Altshul

Altshul (1952), sur la base de l'expérience russe, a proposé une corrélation du facteur de frottement citée par Genić et al. ainsi que par Mustafa et al. et présentée comme dans l'équation :

$$f = 0.11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\epsilon}{D} \right)^{0.25} \quad (I-5)$$

Altshul a proposé une autre formule qui est une amélioration de l'équation de Konakovt, comme suit

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.8 \log \left(\frac{Re}{Re \frac{\epsilon}{D} + 7} \right) \quad (I-6)$$

Ces expressions sont valables pour : $4000 < Re < 10^7$ et $0 < \frac{\epsilon}{D} < 10^{-2}$ (Zeghadnia 2019)

I.1.3.5- Formule de Swamee et Jain

Swamee et Jain (1976) ont développé la formule qui permet de calculer explicitement le coefficient de frottement (noté f) pour l'écoulement turbulent dans des conduites circulaires sous pression. Cette formule a été conçue comme une approximation de la relation implicite de

Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

Colebrook-White. Il est important de noter que les auteurs n'ont pas présenté de méthode analytique pour dériver leur formule, mais l'ont plutôt déterminée après de nombreuses tentatives et un travail de calcul laborieux. Selon Swamee et Jain (1976), la relation de Colebrook-White peut être remplacée par la relation approximative suivante (Achour B, 2007).

$$f = [-2 \log(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^{-2} \quad (\text{I-7})$$

I.1.3.6- Formule de Churchill

Pour remplacer l'équation de Colebrook-White, Churchill a proposé d'utiliser l'expression suivante (Churchill 1977) :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left[\frac{\epsilon/D}{3.7} + \left(\frac{7}{Re}\right)^{0.9}\right] \quad (\text{I-8})$$

I.1.3.7- Approximation de Zigrang and Sylvester

L'approximation proposée par Zigrang et Sylvester (1982) ne nécessite pas de procédure itérative interne pour atteindre une bonne précision : (Zeghadnia 2019)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left[\frac{\epsilon/D}{3.7} - \frac{5.02}{Re} \log\left(\frac{\epsilon/D}{3.7} - \frac{5.02}{Re} \log\left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{13}{Re}\right)\right)\right] \quad (\text{I-9})$$

I.1.3.8- Formule de Nackab

Nackab (1988) propose une méthode de calcul direct de la perte de charge régulière dans une conduite, basée sur la formule de Colebrook. La méthode proposée par Nackab consiste à résoudre la formule de Colebrook en utilisant une transformation logarithmique. Cette transformation permet de résoudre l'équation de manière directe, sans avoir recours à des méthodes d'itération. L'auteur a comparé les résultats de sa méthode à ceux obtenus avec des méthodes d'itération. Il a montré que sa méthode est aussi précise que les méthodes d'itération, mais qu'elle est plus rapide et plus facile à utiliser.

$$\lambda = \left[2 \log_{10}\left(\frac{0.27}{D/\epsilon} + \frac{2.51}{Re \sqrt{0.4Re^{-0.3} + 0.0053}}\right)\right]^{-2} = f\left(\frac{D}{\epsilon}, Re\right) \quad (\text{I-10})$$

Nackab a conclu que sa méthode permet de calculer directement la perte de charge régulière dans une conduite, sans avoir recours à des méthodes d'itération, et qu'elle est également précise que les méthodes d'itération, mais elle est plus rapide et plus facile à utiliser. (Nackab 1988)

I.1.3.9- Formule de Achour

Dans l'objectif de simplifier le calcul du coefficient de frottement (f) pour couvrir l'ensemble du domaine de l'écoulement turbulent dans les conduites sous pression, Achour et ses

Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

collaborateurs (2002) suggèrent de substituer la formule de Colebrook-White par la relation approximative suivante :

$$f = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{4.5}{R} \log \frac{R}{6.97} \right) \right]^2 \quad (\text{I-11})$$

Cette méthode est valable pour : $Re > 10^4$, $0 < \varepsilon/D < 5 \cdot 10^{-2}$

- En insérant la relation de Swamee et Jain dans la relation de Weisbach Darcy, le gradient J de la perte de charge linéaire s'écrit alors : (Ahour B, 2007).

$$J = \frac{2}{g\pi^2} \frac{Q^2}{D^5} \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2 \quad (\text{I-12})$$

Les auteurs Favre et Asselin (2002) s'intéressent à l'influence des pertes de charge sur le dimensionnement d'une conduite. Ils montrent que les pertes de charge sont un facteur important à prendre en compte lors du dimensionnement d'une conduite, car elles peuvent avoir un impact significatif sur le débit et la pression du fluide. Les auteurs commencent par rappeler les notions de perte de charge régulière et de perte de charge singulière. Les pertes de charge régulières sont dues au frottement du fluide sur les parois de la conduite, tandis que les pertes de charge singulières sont dues aux changements de direction ou de section de la conduite.

Les auteurs concluent que les pertes de charge doivent être prises en compte lors du dimensionnement d'une conduite. Ils recommandent d'utiliser une méthode de calcul fiable pour estimer les pertes de charge, afin de garantir que le dimensionnement de la conduite soit correct (J.-P. Favre et F 2002). Ils présentent deux méthodes de calcul des pertes de charge régulières dans une conduite :

- **La loi de Darcy-Weisbach**

Cette loi permet de calculer les pertes de charge dues au frottement du fluide sur les parois de la conduite. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$\Delta HL = \frac{f L \rho V^2}{2g} \quad (\text{I-13})$$

où :

ΔHL : perte de charge régulière [m]

f : coefficient de rugosité de la conduite [-]

L : longueur de la conduite [m]

ρ : masse volumique du fluide [kg/m^3]

V : vitesse du fluide [m/s]

g : accélération due à la pesanteur [m/s^2]

Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

Les auteurs ont aussi analysé les pertes de charge dues aux changements de direction ou de section de la conduite. Elle est basée sur l'utilisation de coefficients de pertes de charge, qui sont fournis dans des tables ou des logiciels de calcul.

Les auteurs utilisent ces deux méthodes pour étudier l'influence des pertes de charge sur le dimensionnement d'une conduite. Ils montrent que les pertes de charge régulières sont généralement prédominantes, mais que les pertes de charge singulières peuvent être importantes dans certains cas.

- Calcul des pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières sont généralement calculées à partir de coefficients de pertes de charge, qui sont fournis dans des tables ou des logiciels de calcul. Les coefficients de pertes de charge dépendent du type de changement de direction ou de section de la conduite.

Voici quelques exemples de coefficients de pertes de charge : (J.-P. Favre et F 2002).

- Coude à 90° : 0,3 à 1,0
- Raccord en T : 0,2 à 0,5
- Diminution de section : 0,5 à 2,0
- Augmentation de section : 0,1 à 0,5

I.1.3.10- Approximation de Achour

Achour (2012) a utilisé la méthode du modèle rugueux - R.M.M ,le facteur de frottement peut être exprimé comme suit :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \left(\frac{10.04}{R} \right) \right] \quad (\text{I-14})$$

Où :

$$R = 2 \text{Re} \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \left(\frac{5.5}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right) \right] \quad (\text{I-15})$$

Pour : $2300 < \text{Re} < 10^8$ et $0 < \varepsilon/D < 0.05$

Chapitre I : Différentes méthodes de calcul des pertes de charge recherche bibliographique

Conclusion

Cette recherche bibliographique sur les pertes de charge nous a permis de rassembler des informations essentielles pour la suite de notre étude.

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré diverses équations, méthodes et approches qui ont évolué au fil des décennies pour quantifier et comprendre les pertes de charge dans les systèmes de transport de fluides.

II- Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

Introduction

Le dimensionnement d'une conduite en charge, consiste à déterminer les caractéristiques appropriées de la conduite, son diamètre et son matériau, afin de garantir un fonctionnement efficace et fiable du système hydraulique.

II.1- Calcul de la conduite en charge

Une conduite en charge est une conduite dans laquelle l'eau est transportée par gravité, sans pompe. La pression de l'eau dans la conduite est due à la hauteur du réservoir en amont.

(A.Dupont 1974)

Il y a quatre paramètres à prendre en compte lors du calcul d'une conduite :

- Le débit Q ;
- La perte de charge Δh ;
- La vitesse V ;
- Le diamètre D ;

Le débit Q est le seul paramètre connu, et la valeur que nous cherchons à déterminer est le diamètre D . (Dupont 1974)

L'écoulement d'eau à travers une conduite est l'une des applications classiques de l'hydrodynamique, tant sur le plan théorique qu'expérimental. La compréhension et la maîtrise de ces écoulements revêtent une importance cruciale dans le calcul et le fonctionnement des réseaux de distribution d'eau potable. Tout au long du parcours de l'écoulement, diverses forces s'opposent au mouvement du fluide, entraînant des pertes d'énergie. Ces pertes de charge se divisent en deux catégories distinctes :

La perte de charge linéaire, qui représente l'énergie perdue le long de la conduite entre deux points donnés.

La perte de charge singulière, qui se produit lorsque l'écoulement uniforme est perturbé (Finaud et Garambois 2019-2020).

II.2- Principe de dimensionnement d'une adduction gravitaire en charge

Une adduction gravitaire en charge est un type d'adduction d'eau dans lequel l'eau est transportée par gravité, sans pompe. Ce type d'adduction est possible lorsque la source d'eau se trouve en amont du lieu de distribution, à une altitude plus élevée.

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

Le calcul d'une adduction gravitaire en charge consiste à déterminer le diamètre qu'on appelle un diamètre avantageux de la conduite, la perte de charge et la pression disponible.

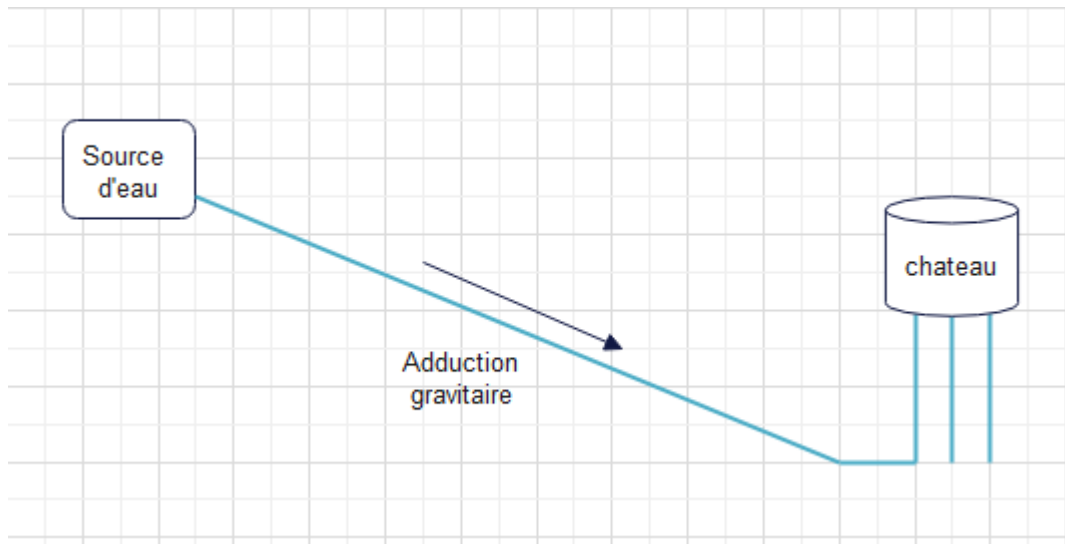


Figure II-1: Adduction gravitaire à partir d'une source

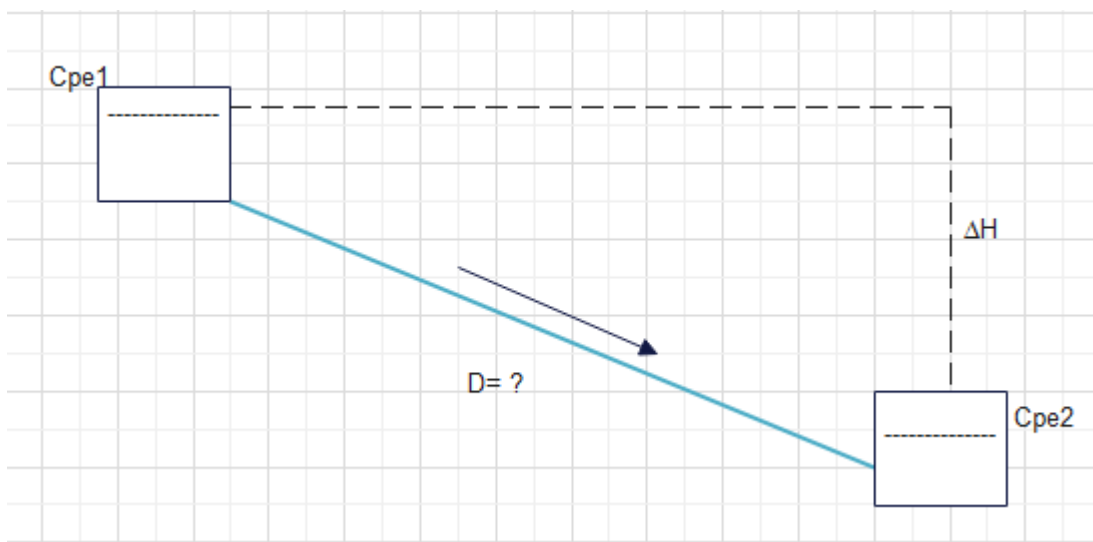


Figure II-2: Adduction gravitaire reliant deux réservoirs

La figure ci-dessus : illustre le cas d'un réservoir situé à une élévation plus élevée (Cp1) alimente gravitairement un réservoir à une élévation plus basse (Cp2). Dans ce contexte, la différence de hauteur ΔH représente une élévation disponible plutôt qu'une perte de charge, car nous devons déterminer le diamètre «D».(Salah, 2014) .

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

$$\Delta H = C_{pe1} - C_{pe2} = \text{Charge disponible} \quad (\text{II-1})$$

Pour calculer le diamètre D, nous supposons initialement que la hauteur disponible est égale à la perte de charge provoquée par la conduite de diamètre « D ». (Salah, 2014)

$$C_{pe1} - C_{pe2} = \frac{16\lambda L_{et} Q^2}{2g\pi D^5} = R_t Q^2 = \Delta H_t = \Delta H_L + \Delta H_s \quad (\text{II-2})$$

R_t : désigne la résistance totale de la conduite.

$L_{et} = L_g + L_{ev}$: représente la longueur totale équivalente.

L_g : longueur réelle (géométrique) de la conduite.

L_{ev} : longueur équivalente aux pertes de charge singulières. (Salah, 2014)

On peut écrire :

$$L_{ev} = \frac{D \sum E}{\lambda} \quad (\text{II-3})$$

E : Coefficient de perte de charge singulière.

En pratique, il est courant de supposer que la perte de charge singulière ΔH_s est estimée à 10% des pertes de charge linéaires dans le cas des adductions et à 15% pour les réseaux de distribution.

Il est important de noter que le débit peut varier en fonction du régime d'écoulement et de la nature du matériau de la conduite. Pour tenir compte de ces variations, on utilise des coefficients (β ; m) qui sont introduits à l'aide d'une formule approximative. (Salah, 2014)

$$D = \sqrt[m]{\frac{K' L_g Q^B}{\Delta H}} \quad (\text{II-4})$$

$$K' = \frac{8\lambda}{g \pi^2}$$

K' : étant la résistance par mètre linéaire.

II.3- Adduction par refoulement

II.3.1- Principe de fonctionnement

Une adduction par refoulement désigne un système d'approvisionnement en eau dans lequel l'eau est déplacée grâce à des pompes. Ces pompes sont employées pour augmenter la pression de l'eau dans la canalisation, facilitant ainsi le transport de l'eau sur des terrains peu inclinés ou sur de longues distances. (Dupont, 1974)

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

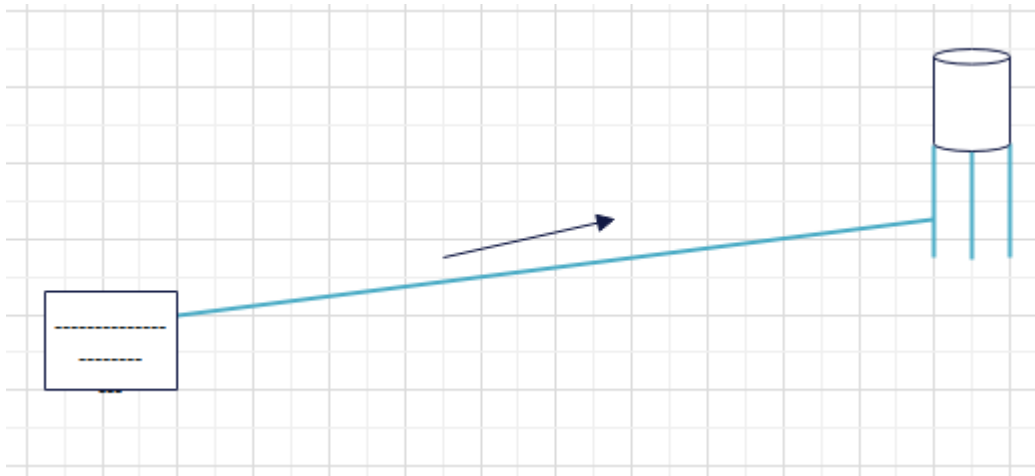


Figure II-3: Adduction par refoulement

II.3.2- Détermination du diamètre économique

Après avoir mené une étude technique pour choisir le tracé. La détermination du diamètre de la conduite de refoulement est effectuée en prenant en compte les considérations économiques. L'utilisation des formules suivantes permet d'estimer de manière approximative le diamètre économique calculé. Pour ce faire, plusieurs diamètres sont pris en considération, généralement en choisissant parmi une gamme de diamètres normalisés proches du diamètre économique calculé. Ensuite, on calcule d'une part les coûts d'amortissement de la conduite et d'autre part les frais d'exploitation. (Salah, 2014)

Formule de Bresse :

$$D = 1.5 \sqrt{Q}$$

Le débit Q est exprimé en m³/s

Formule de Bonnin :

$$D = \sqrt{Q}$$

Formule de vibert :

Les expressions suivantes s'appliquent pour des conduites en fonte

$$D = 1.547 \left(\frac{e}{f}\right)^{0.154} Q^{0.46} \quad (\text{pompage continu})$$

$$D = 1.35 \left(\frac{e}{f}\right)^{0.154} Q^{0.46} \quad (\text{pompage 10h/24})$$

Formule de Munier :

$$D = (1+0.02n) \sqrt{Q}$$

D : Diamètre de la conduite en (m)

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

n : nombre d'heures de pompage

Q : débit en m³/s

II.3.3- Les conditions économiques

Du point de vue économique, il existe une relation étroite entre la conduite de refoulement et la station de pompage. En effet, lorsque le diamètre de la conduite est réduit pour un débit donné à refouler, cela entraîne une augmentation de la perte de charge ΔH , ce qui nécessite un moteur d'entraînement plus puissant, conduisant ainsi à une consommation d'énergie plus élevée. Il est donc logique de rechercher un diamètre économique pour la conduite de refoulement qui résulte d'un compromis entre deux tendances opposées :

- Les frais d'amortissement de la conduite, qui augmentent avec le diamètre de la canalisation;
- Les frais d'exploitation de la station de pompage, qui diminuent à mesure que le diamètre augmente en raison de la réduction des pertes de charge.

Si l'on se limite à ces deux postes de dépenses, qui sont généralement les principaux éléments du problème, il est possible d'établir une formule pour calculer le diamètre économique D du refoulement en introduisant certains paramètres susceptibles de varier :

- D'une part, en fonction de la situation du moment : **le coût unitaire P** par kilomètre de conduite en fonte et le coût unitaire e par kilowattheure (kWh) d'énergie électrique, reflétant respectivement les coûts d'établissement et d'exploitation de la conduite.
- D'autre part, en fonction des choix du concepteur : le facteur d'utilisation n de la station de pompage et l'annuité constante À, qui amortit un capital investi à un taux t pour une période en principe égale à la durée de vie de matériel (Dupont, 1974).

- Les frais d'amortissement

Ces coûts croissent à mesure que le diamètre de la conduite augmente. Il est essentiel de prendre en considération l'annuité (A) d'amortissement, qui permet d'amortir un capital investi à un taux "i" sur une période normalement équivalente à la durée de vie prévue du matériel.

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (\text{II-5})$$

n : nombre d'année d'amortissement

$$\text{Cout d'investissement} = P * L * A \quad (\text{II-6})$$

Où :

P : prix de ml de conduite ;

L : longueur de la conduite (m)

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

A : annuité

En général, le coût par mètre linéaire, noté P, comprend à la fois le coût de la canalisation elle-même et le coût du terrassement par mètre linéaire. (Salah, 2014)

- Les frais d'exploitation

Il est nécessaire en premier lieu de calculer les pertes de charge (ΔH) générées dans les conduites ayant des diamètres normalisés tels que D_{n1} , D_{n2} , ..., D_{nn} . Une fois la hauteur géométrique (H_g) connue, il est possible de déterminer les hauteurs manométriques totales (HMT) correspondant à chaque diamètre normalisé, c'est-à-dire D_{n1} , D_{n2} , ..., D_{nn} . (SALAH, 2014)

La hauteur manométrique totale :

Elle est calculée de la manière suivante :

$$\text{HMT} = H_g + \Delta H_{\text{tot}} \quad (\text{II-7})$$

$$\Delta H_{\text{tot}} = j * L_e$$

HMT : la hauteur manométrique totale (m) ;

H_g : la hauteur géométrique (m) ;

ΔH_{tot} : la perte de charge totale (m) ;

j : gradient des pertes de charge ;

L_e : La longueur équivalente totale (m).

Estimée à : $L_e = 1.1 L_g$ dans le cas des adductions.

Consommation et prix d'énergie

- Energie consommée par le pompage :

L'énergie consommée par la station de pompage le long d'une année est le produit de la puissance de pompage et d'heures de pompage par année.

$$E = P * t * 365 \quad (\text{II-8})$$

E : énergie consommée pendant une année (KWh) ;

P : puissance de pompage (KW) ;

t : temps de pompage par jour (h).

$$P = \frac{\rho * g * H_{mt} * Q}{\eta} \quad (\text{II-9})$$

P : puissance absorbée par la pompe (Kw) ;

g : Accélération de la pesanteur (m/s^2) ;

H_{mt} : Hauteur manométrique totale (m) ;

Q : Débit à refouler (m^3/s) ;

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

η : rendement de la station de pompage (70 %).

- **Les dépenses annuelles de l'énergie** : sont le produit du prix unitaire du Kwh et de l'énergie consommée par année.

$$K = \delta * E \quad \text{(II-10)}$$

K : Dépenses annuelles d'énergie (DA) ;

E : Energie consommée par année (Kw) ;

δ : Prix du Kwh,

Dans le tableau des bilans, nous additionnons les valeurs des couts d'investissement et des couts d'exploitations pour chaque diamètre. Le diamètre le plus économique est donc celui qui correspond au total le plus faible. (SALAH, 2014)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les principes de calcul des conduites gravitaires ainsi qu'en refoulement.

Nous avons abordé les principaux concepts et formules nécessaires au calcul des adductions gravitaires qui impliquent de sélectionner un diamètre optimal qui assure un débit adéquat tout en minimisant la perte de charge. Contrairement à la conception de canalisations de refoulement, on cherche ici un diamètre économique qui minimise le cout total.

Chapitre II : Principe de dimensionnement d'une conduite en charge

III- Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

Introduction

Dans le chapitre présent, nous entreprendrons une analyse comparative des différentes méthodes de calcul des pertes de charge. Nous nous appuierons sur une étude de deux cas extraits du mémoire de fin d'études «Etude du transfert des eaux souterraines de la nappe CHOTT CHERGUI pour le renforcement de l'alimentation en eau potable de 7 centres de la commune de Tiaret ».

III.1- Etude d'une conduite gravitaire

Il s'agit d'une adduction gravitaire dans laquelle l'écoulement se fait depuis le réservoir Tampon jusqu'au réservoir de Frenda, avec un débit de 109 l/s sur une distance de 7200 mètres.

Nous supposons initialement que la hauteur disponible est égale à la perte de charge provoquée par la conduite, comme suit :

$$\Delta H = C_{pe1} - C_{pe2} = \Delta H_d$$

Avec :

ΔH_d : La charge disponible(m).

C_{prt} : Cote de radier de réservoir tampon (m).

C_{pr} : Cote de trop plein du réservoir de Frenda (m).

Ce qui donne :

$$\Delta H_d = 1228 - (1124 + 10) = 94\text{m}$$

III.1.1- Calcul des diamètres

III.1.1.1- Formule de Hazen Williams

Elle est donnée comme suit :

$$\Delta H_{HW} = 10.67 * C^{-1.85} * D^{-4.87} * Q^{1.85} * L \quad \text{(III-1)}$$

C : est le coefficient de rugosité de Hazen-Williams du matériau constituant la conduite, pour PEHD il est estimé à 130.

Q : débit de la conduite (m^3/s)

D : diamètre de la conduite (m)

L : longueur de la conduite (m).

On trouve : $D = 0.27404\text{m} \Rightarrow \mathbf{D = 274.04 \text{ mm}}$

III.1.1.2- Formule de Lechapt et Calmon :

Elle est donnée par :

Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

$$\Delta H_{LC} = \frac{L}{1000} * l * Q^M * D^{-N} \quad (\text{III-2})$$

ΔH_{LC} : la perte de charge de Lechapt et Calmon en (m) ;

L : la longueur du conduite (m) ;

Q : débit en m³/s ;

D : diamètre de la conduite en m ;

l, M et N des coefficients dépendants de la rugosité { ϵ }. Pour PEHD , l=1.01 , M=1.84 et N=4.88

On tire le diamètre : **D= 0.26168m => D=261.68mm**

III.1.1.3- Formule de Darcy-Weisbakh :

Nous utilisons plusieurs méthodes pour déterminer le coefficient de frottement f :

- Diagramme de Moody :

En utilisant la formule de Darcy-Weisbakh

$$\Delta h_p^{\text{lin}} = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} \quad (\text{III-3})$$

G : accélération de la pesanteur (m/s²) ;

Q : débit (m³/s)

L : longueur géométrique de la conduite (m) ;

f : coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement,

Considérant notre cas autant qu'écoulement turbulent rugueux, nous proposons un coefficient de frottement égal à 0.018

$$D = \sqrt[5]{\frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * \Delta H}}$$

A.N :

$$D = 0.27199\text{m}=271.99\text{mm}$$

Le tableau suivant présente les itérations pour l'obtention du coefficient de frottement à partir du diagramme de Moody :

Tableau III-1: Tableau des itérations à partir du diagramme de Moody

Itérations	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)	Re	ϵ/D	f
01	271.99	1.87	508621.3	$3.6 \cdot 10^{-6}$	0.002
02	175.28	4.52	792265.6	$5.7 \cdot 10^{-6}$	0.0035
03	196.03	3.61	707668.3	$5.1 \cdot 10^{-6}$	0.008
04	231.27	2.59	598989.3	$4.3 \cdot 10^{-6}$	0.008

On opte pour un $f = 0.008$, et un diamètre $D_{ext} = 400$ mm.

Pour un nombre de Reynolds = 422346, nous allons calculer les coefficients de frottement avec les formules mentionnée dans le premier chapitre, ces résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III-2:Tableau récapitulatif des calculs des coefficients de frottement et des pertes de charge pour la formule de Darcy-Weisbach

Formules	D (mm)	ϵ/D	f	ΔH Darcy-Weisbakh(m)
Nikuradsé	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0068	14.07
Colebrook-White	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0131	27.10
Moody	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0134	27.72
Altshul	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0124	25.65
Swamee et Jain	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0135	27.93
Churchill	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0135	27.93
Zigrang et Sylvester	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0127	26.28
Nackab	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.013	26.90
Achour	327.4	$3.05 \cdot 10^{-6}$	0.0084	17.38

Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

Tableau III-3: Tableau récapitulatif des résultats des différentes formules pour le cas gravitaire

Formules	Darcy-Weisbakh	Lechapt et Calmon	Hazen Williams
Diamètres calculé (mm)	271.99	261.68	274.04
Diamètre normalisé (mm)	327.4	327.4	327.4
ΔH (m)	27.93	39.53	31.50

Pour une même charge disponible, les formules de Darcy-Weisbakh et de Lechapt et Calmon conduisent à des diamètres inférieurs à ceux calculés par la formule de Hazen Williams. La différence n'est cependant pas très significative.

Pour les pertes de charge, nous remarquons que pour un même diamètre, la relation de Lechapt et Calmon donne des pertes de charge supérieures à celles données par les formules de Darcy et Hazen Williams.

Et pour la formule de Darcy, nous remarquons que les expressions de Nikuradsé et Achour donne des pertes de charge inférieures aux restes des formules permettant la détermination du coefficient de frottement.

III.2- Etude d'une conduite de refoulement

Il s'agit d'une adduction par refoulement dans laquelle l'écoulement se fait à partir d'une station de pompage nommée SP2 jusqu'au réservoir tampon, avec un débit refoulé 119 l/s sur une distance de 10600 mètres. Nous faisons une première approximation :

$$A.N : D_{ec} = \sqrt{119 * 10^{-3}} \rightarrow D_{ec} = 0.3449 \text{ m} \quad \text{donc } D_{ec} = 344.9 \text{ mm}$$

Les coûts d'exploitation sont déterminés en fonction de la consommation d'énergie électrique lors de l'opération de pompage, en prenant en compte la gamme de diamètres obtenue.

Le calcul technico-économique du diamètre sera effectué pour la gamme de diamètres allant de 250 à 500 mm.

Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

Le tableau suivant contient les données pour chaque diamètre :

Tableau III-4:Tableau des paramètres de chaque diamètre

Débit (m ³ /s)	Diamètre (mm)	Section (m ²)	Vitesse (m/s)	Longueur (m)	Re
0.119	250	0.033	3.62	10600	740652
0.119	315	0.051	2.28	10600	587784
0.119	400	0.084	1.41	10600	461634
0.119	500	0.106	0.90	10600	368280

- Notre écoulement est considéré turbulent rugueux.

Ensuite nous allons calculer les pertes de charge avec les formules mentionnées dans le premier chapitre :

a- Formule de Darcy-Weisbach

Le tableau ci-dessous présente les calculs des coefficients de frottement avec la formule de **Darcy-Weisbach ainsi que les couts totaux.**

Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

Tableau III-5:Tableau récapitulatif des calculs de la perte de charge et des couts totaux « Darcy »

Formules	Q (m ³ /s)	D (mm)	Re	f	ΔH _{Dw} (m)	Cout d'investissement	Cout d'exploitation	Cout total
Nikuradsé	0.119	250	740652	0.0073	278.06	3884251.2	17245355.3	21129607
		315	587784	0.007	83.95	5885380.3	6422192.83	12707573
		400	461634	0.007	25.41	9507153.6	3158126.43	12665280
		500	368280	0.0066	7.85	14821987	2179018.02	17001005
Colebrook-White		250	740652	0.0121	460.90	3884151.22	27440126.4	31324277.6
		315	587784	0.0128	153.51	5885380.34	10300711.1	16186091.4
		400	461634	0.0133	48.29	9507153.57	4433866.76	13941020.3
		500	368280	0.014	16.66	168431668	2670244.96	17492231.7
Moody		250	740652	0.0127	483.76	3884151.22	28714751.5	32598902.8
		315	587784	0.0129	154.71	5885380.34	10367620.5	16253000.9
		400	461634	0.0132	47.92	9507153.57	4413236.34	13920389.9
		500	368280	0.0136	16.19	168431668	2644038.75	17466025.5
Altshul		250	740652	0.011	419.00	3884151.22	25103871.1	28988022.3
		315	587784	0.0115	137.92	5885380.34	9431445.71	15316826
		400	461634	0.012	43.56	9507153.57	4170131.98	13677285.5
		500	368280	0.0128	15.23	168431668	2590511.19	17412498
Swamee et Jain	250	740652	0.0123	468.05	3884151.22	26745383.2	31722946.4	
	315	587784	0.0127	152.163	5885380.34	10225437.9	16110818.3	
	400	461634	0.0133	48.23	9507153.57	4430521.29	13937674.9	
	500	368280	0.0138	16.41	168431668	2656305.49	17478292.3	
Churchill	250	740652	0.0123	448.44	3884151.22	27838795.2	30629534.4	
	315	587784	0.0128	153.51	5885380.34	10300711.1	16186091.4	
	400	461634	0.0133	48.28	9507153.57	4433309.18	13940462.7	
	500	368280	0.0138	16.43	168431668	2657420.65	17479407.4	
Zigrang et Sylvester	250	740652	0.0124	472.33	3884151.22	28077439	31961590.2	
	315	587784	0.0128	153.51	5885380.34	10300711.1	16186091.4	
	400	461634	0.0134	48.65	9507153.57	4453939.6	13961093.2	
	500	368280	0.0139	16.55	168431668	2664111.59	17486098.4	
Nackab	250	740652	0.0124	472.33	3884151.22	28077439	31961590.2	
	315	587784	0.0129	154.71	5885380.34	10367620.5	16253000.9	
	400	461634	0.0134	48.65	9507153.57	4453939.6	13961093.2	
	500	368280	0.014	16.66	168431668	2670244.96	17492231.7	
Achour	250	740652	0.0081	308.53	3884151.22	18944297.9	3884151.22	
	315	587784	0.0081	95.47	5885380.34	7064523.62	12949904	
	400	461634	0.0083	30.13	9507153.57	3421303.63	12928457.2	
	500	368280	0.0085	10.12	168431668	2305588.41	17127575.2	

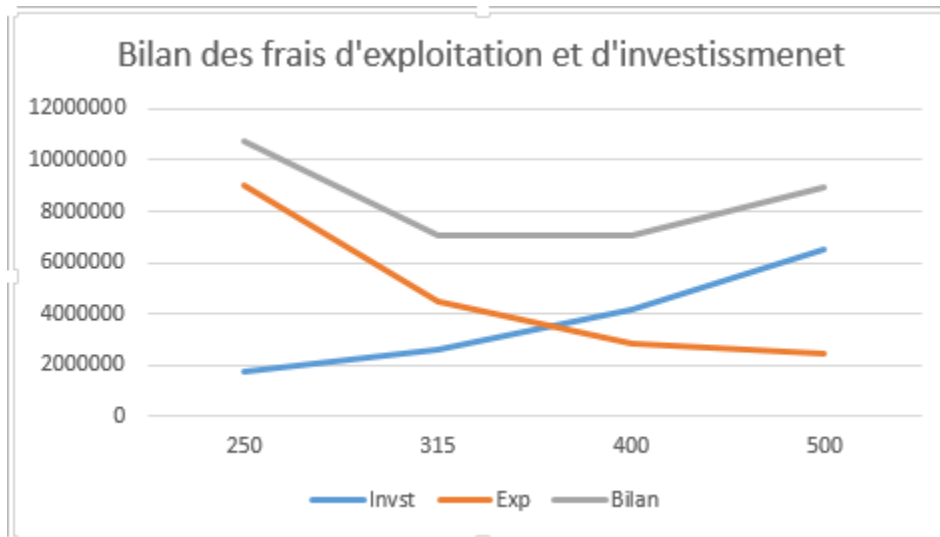


Figure III-1: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement pour la formule de Darcy

En combinant les coûts d'investissement et d'exploitation et en utilisant la formule de Darcy, on constate que le diamètre DN 400 est le plus rentable en termes de bénéfices..

b- Formule de Hazen-Williams

Le tableau suivant montre les résultats obtenus pour l'expression de Hazen Williams

Tableau III-6: Tableau récapitulatif des calculs de la perte de charge et des couts totaux « Hazen-Williams »

D (mm)	ΔH_{HW} (m)	Cout d'investissement	Cout d'exploitation	Cout total
250	623.07	3884251.2	36482382.1	40366533.3
315	218.39	5885380.3	13918282.5	19803662.8
400	68.86	9507153.6	5580806.39	15087960
500	23.16	14821987	3032671.19	17854658

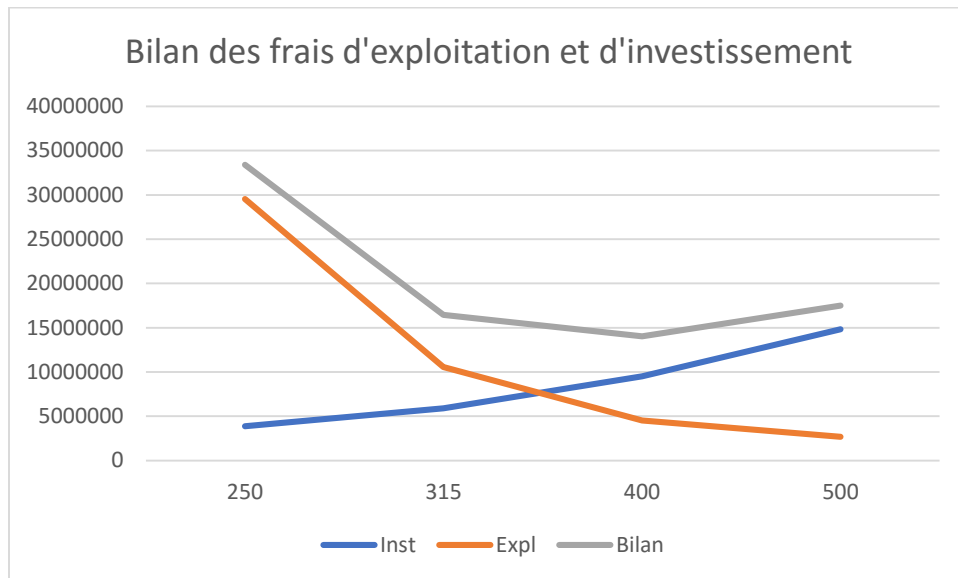


Figure III-2: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement pour la formule de Hazen

En combinant les coûts d'investissement et d'exploitation et en utilisant la formule de Hazen Williams, on constate que le diamètre DN 400 est le plus rentable en termes de bénéfices.

c- Formule de Lachapt et Calmon :

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau qui suit :

Tableau III-7: Tableau récapitulatif des calculs de la perte de charge et des couts totaux « Lechapt et Calmon »

D (mm)	ΔH_{LC} (m)	Cout d'investissement	Cout d'exploitation	Cout total
250	498.47	3884251.2	29534950	33419101.2
315	158.46	5885380.3	10576712.6	16462092.9
400	49.84	9507153.6	4520291.48	14027445
500	16.73	14821987	2674148.01	17496134.8

Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

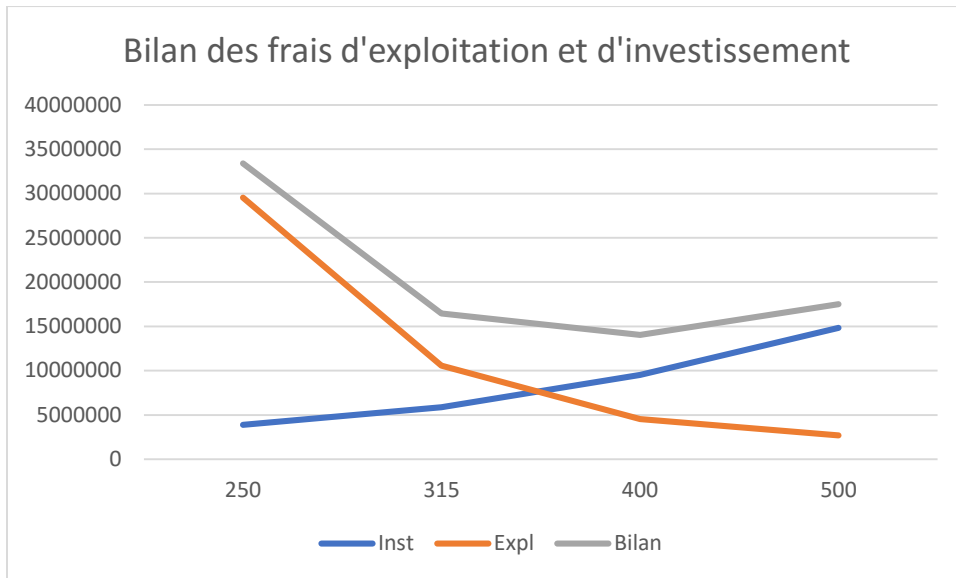


Figure III-3: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement pour la formule de Lechapt et Calmon

En combinant les coûts d'investissement et d'exploitation et en utilisant la formule de Lechapt et Calmon, on constate que le diamètre DN 400 est le plus rentable en termes de bénéfices.

Tableau III-8: Tableau récapitulatif des résultats des différentes formules pour le cas de refoulement

Formules	Darcy-Weisbakh	Hazen Williams	Lechapt et Calmon
Diamètre économique(mm)	400	400	400

Commentaire :

En utilisant des formules empiriques basées sur la formule de Colebrook, les résultats que nous obtenons sont quasiment identiques les uns aux autres, en pratique cette dernière est la plus utilisée pour calculer le coefficient de frottement dans une conduite en charge en régime turbulent.

La formule de Hazen-Williams est une formule empirique qui ne tient pas compte de la température, et donc de la viscosité du fluide. La formule de Darcy-Weisbach, quant à elle, est une formule plus générale qui tient compte du nombre de Reynolds, qui dépend de la viscosité et de la vitesse du fluide.

Les trois formules de calcul de la perte de charge, nous ont menés au même diamètre économique

Chapitre III : Etude comparative : conduite gravitaire et conduite en refoulement

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons calculé les coefficients de frottement ainsi que les pertes de charges avec plusieurs formules, pour un cas d'une conduite gravitaire et d'une autre par refoulement.

Avec une charge disponible équivalente pour le cas de conduite gravitaire, les équations de Darcy-Weisbach et de Lechapt et Calmon donnent des diamètres légèrement inférieurs à ceux obtenus par l'application de la formule de Hazen Williams. Cependant, cette disparité n'a que peu d'impact après normalisation du diamètre calculé.

Pour le cas de refoulement, nous avons appliqué des formules empiriques dérivées de la formule de Colebrook, les résultats que nous obtenons sont pratiquement indiscernables les uns des autres. En pratique, la formule de Colebrook est la plus couramment employée pour déterminer le coefficient de frottement dans une conduite en charge en régime turbulent. Les trois méthodes de calcul de la perte de charge nous ont tous conduits au même diamètre économiquement optimal.

Conclusion générale

Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire de master, nous avons entamé une étude qui englobe toutes les informations nécessaires sur les pertes de charge pour une conduite en charge.

Tout d'abord, notre étude s'est concentrée sur une recherche bibliographique sur les diverses équations, méthodes et approches du coefficient de frottement f qui ont évolué au fil des décennies pour quantifier et comprendre les pertes de charge dans les systèmes de transport de fluides, plus spécifiquement, nous avons examiné différentes approches, notamment celles qui se basent sur l'utilisation de la relation implicite de Colebrook-White, telles que les méthodes proposées par Swamee et Jain, Achour, Nackab, et Churchill.

En outre, cette étude a mis en évidence les concepts fondamentaux ainsi que les équations essentielles requises pour effectuer les calculs des conduites en charge, gravitaire et en refoulement aux adductions gravitaires qui consistent à déterminer le diamètre.

Nous avons également étudié deux cas de conduite en charge, une gravitaire et d'autre en refoulement avec l'application des différentes méthodes et formules, en constatant que la perte de charge est directement proportionnelle à la longueur de la conduite et à la vitesse du fluide et inversement proportionnelle au diamètre. Ainsi, un diamètre de conduite plus grand permet de réduire la perte de charge. Nous avons constaté que les formules de Hazen-Williams et de Lechapt et Calmon conduisent à des diamètres plus petits que celle de Darcy-Weisbach pour le cas d'une conduite gravitaire et au même diamètre pour une conduite de refoulement.

En utilisant des formules empiriques basées sur la formule de Colebrook, les résultats que nous obtenons sont quasiment identiques les uns aux autres, en pratique cette dernière est la plus utilisée pour calculer le coefficient de frottement dans une conduite en charge en régime turbulent.

Références bibliographiques

- Achar. A (2019).étude des pertes de charges et simulation des bancs d'essai hydrauliques (2019).
- Boillat, J.-L., & Pfister, M. (2022). Le dimensionnement hydraulique. Infoscience - EPFL.
- Churchill SW. Friction factor equation spans all fluid-flow ranges. Chem. Eng. 84: p. 91–92.
- Dupont, A. (1969). Hydraulique urbaine. Tome 2 : Ouvrages de transport, élévation et distribution des eaux. Eyrolles.
- El Abboudi, N. (2000). Modélisation des écoulements en charge. Institut Français de l'Énergie.
- Finaud-Guyot, P., & Garambois, P.-A. (2019). Mécanique des fluides. Montpellier, France : Université de Montpellier.
- Guillon, H. (2016). Hydraulique en charge. Institut Français de l'Énergie.
- J.-P. Favre (2002). Influence de la perte de charge sur le dimensionnement d'une conduite F. Asselin .
- Lencastre, A. (2002). Hydraulique générale. Eyrolles.
- Nackab, J. (1988). Calcul direct, sans itération, de la perte de charge en conduite par la formule de Colebrook. La Houille Blanche, 66(3), 133-142.
- Nikuradse J. Gesetzmässigkeiten der turbulenten stromung in glatten rohren. In: Forschungsheft 356, B. 1966. VDI Verlag Berlin. Translated in NASA TT. F-10; 1932, 359.
- O. Giustolisi; L. Berardi; T. M. Walski Some explicit formulations of Colebrook–White friction factor considering accuracy vs. computational speed Journal of Hydroinformatics (2011) 13 (3): 401–418.
- Pioge, P. (1954). La houille blanche. La Houille Blanche, 66(3), 123-132.
- SALAH.B. (2004). Alimentation en eau potable des agglomérations. Blida, Hydraulique urbaine, Algérie : ENSH.

- Zeghadnia, L., Rezgui, N., & Achour, B. (2009). Calcul explicite du gradient de la perte de charge. Premier Symposium Méditerranéen de Géoengineering «SMGE09», Alger, Algérie, 20 et 21 juin 2009. Revue d'hydraulique, 25(3), 123-132.
- Zeghadnia, L., Rezgui, N., & Achour, B. (2009, June). Calcul explicite du gradient de la perte de charge. Premier Symposium Méditerranéen de Géoengineering «SMGE09», Alger, Algérie. Revue d'hydraulique, 25(3), 123-132.
- Zeghadnia, L., Achour, B., & Djemili Lakhdar. (2011). Calcul de l'écoulement turbulent en charge dans les systèmes hydrauliques. Séminaire National d'Hydraulique, Chlef, Algérie, 25 septembre 2011. Revue d'hydraulique, 25(3), 123-132.
- Zeghadnia, L. (2019). Explicit solutions for turbulent flow friction factor: A review, assessment and approaches classification. Ain Shams Engineering Journal, 10(1), 17-38