

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Synthèse des formules du calcul des pertes de charges et analyse de l'incertitude sur le choix de la rugosité.**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0002-15

APA Citation ( APA توثيق ):

**Tafat Bouzid, Anis (2015). Synthèse des formules du calcul des pertes de charges et analyse de l'incertitude sur le choix de la rugosité[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مباحثات، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

## MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option: ALIMENTATION EN EAU POTABLE**

**THEME :**

**SYNTHESE DES FORMULES DU CALCUL DES PERTES  
DE CHARGES ET ANALYSE DE L'INCERTITUDE SUR  
LE CHOIX DE LA RUGOSITE**

**PRESENTE PAR :**  
**Mr TAFAT BOUZID ANIS**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
M <sup>me</sup> MEDDI Hind	M.C.B	Président
M <sup>r</sup> AMMARI Abdelhadi	M.C.B	Examineur
Mr BOUFEKANE Abdelmadjid	M.A.A	Examineur
M <sup>me</sup> HOULI Samia	M.A.A	Examineur
M <sup>r</sup> BOUKHELIFA Mustapha	M.A.A	Promoteur

**Mars 2015**

# REMERCEMENTS

*Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements et à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur*

*Mr.M.BOUKHLIFA*

*Pour avoir accepté de m'encadrer, pour sa*

*Disponibilité et le temps qu'il m'a consacré, pour l'intérêt particulier et les conseils déterminants qu'il a apporté à mon projet ;*

*Je profite de l'occasion pour remercier tous le corps enseignants de*

*l'ENSH ;*

*Aussi je remercie les membres du jury d'avoir accepté de jugé mon travail ;*

*Enfin, Je tiens aussi à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce mémoire.*

*A.TAFAT BOUZID*

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail et ma sincère gratitude :*

*Surtout a mes grands-parents que dieux nous les gardent ;*

*Aux deux êtres qui me sont très chères dans la vie, mon adorable et joyeuse mère,*

*Houria et mon père bien aimé, Abdelkirm, pour leur patience, Leurs*

*encouragements et leur soutien inconditionnel;*

*A mon frère et ma sœur adorés au quel sans eux ma vie n'aurai pas eu de sens,*

*Lamine et la fameuse Nihad; que dieu le tout-puissant les protège et les garde;*

*A toute la famille TAFAT BOUZID et BENBRAHIM;*

*A tous mes meilleurs amis : Redouane, Wahab, Rahimou, Taki, Mustapha,*

*Massi, Youcef, Rabiii3, Elkahlouch, Ahmed....etc*

*inchalah*

*A tous ceux et celles qui ont cru et croient en moi.*

*A.TAFAT BOUZID*

ملخص :

إن انتقال السائل عبر القنوات يتطلب وجود طاقة محرّكة و التي هي أصل الحركة. هذه الطاقة هي نتيجة للضغط في بداية الشبكة و التي تدعى بارتفاع الضغط أو ببساطة الضغط المماثل لارتفاع عمود السائل المساوي لفرق فقدان الطاقة. تتم دراسة فقدان الضغط بواسطة مختلف الأشكال القديمة والحديثة بالنسبة لخشونة الأنابيب المستعملة للحساب. المقارنة بين المعدلات والارتباطات لتعرف على الخصائص سوف يعطي النتيجة النهائية و تم اختيار معادلة دارسي فايزباخ باعتبارها أفضل أو أنسب لحساب. تأثير درجة الحرارة على فقدان الطاقة يتطلب منا أن نأخذها بعين الاعتبار في التصميم. فإن الزيادة من خشونة في تصميم يضمن حسن سير النظام لفترة طويلة.

RESUME :

Le déplacement d'un fluide dans une canalisation implique l'existence d'une énergie motrice qui est à l'origine du mouvement.

Cette énergie est le résultat d'une pression en amont du réseau qui est couramment appelé hauteur de charge ou plus simplement la charge par analogie à la hauteur d'une colonne de fluide égale à la dénivellation.

L'étude de pertes de charge se fait avec différentes formules anciennes et modernes et par rapport à la rugosité des tuyaux utilisés pour le calcul. La comparaison entre les formule et les corrélations à permis d'identifier une formule biens précise celle de Darcy-Weisbach comme la meilleure ou la plus adapté pour le calcul.

L'influence de la température sur les pertes des charges nous oblige à les prendre en compte dans la conception. La majoration de la rugosité dans la conception va garantir le bon fonctionnement du système pour des temps assez long.

ABSTRACT:

The displacement of a fluid in a pipe implies the existence of a motive power which is at the origin of the movement.

This energy is the result of pressure upstream of the network which is commonly called head by analogy to the height of a column of fluid equal to the difference of level.

The pressure loss study is done with various ancient and modern forms and with respect to the roughness of the pipe used to calculate. The comparison between the formula and the correlations identified a specific formula properties that of Darcy-Weisbach as the best or most suitable for the calculation.

The influence of temperature on the charges of losses requires us to take them into account in the design. The increase of roughness in the design will ensure the proper functioning of the system for quite a long time.

## Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b><u>CHAPITRE I: Revue bibliographique sur les formules de calcul des pertes de charges.</u></b>	
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>I.1.DEFINITION .....</b>	<b>2</b>
<b>I. 2.LES PERTES DE CHARGES LINEAIRES OU REGULIERES.....</b>	<b>3</b>
I. 2.1.L'EQUATION DE DARCY WEISBACH.....	3
I. 2.2.COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE.....	6
I. 2.3.DETERMINATION DU COEFFICIENT DE PERTES LINEAIRES .....	6
I. 2.4.L'EQUATION HAZEN WILLIAMS .....	9
<b>I. 3.LES PERTES DE CHARGE SINGULIERES.....</b>	<b>13</b>
I. 3.1.PERTES DANS LES GRILLES .....	14
I. 3.2.PERTE DE CHARGE LORS D'UNE CONTRACTION OU D'UN ELARGISSEMENT BRUSQUES.....	15
I. 3.3.PERTE DE CHARGE DANS LES COUDES .....	16
I. 3.4.PERTE DE CHARGE DANS LES VANNES .....	17
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>18</b>
<b><u>CHAPITRE II:ETUDE COMPARATIVE SUR LES FORMULES DE CALCUL DES PERTES DE CHARGES.</u></b>	
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>19</b>
<b>II-1.DONNEES DU TRONÇON POUR CHAQUE DIAMETRE :.....</b>	<b>19</b>
<b>II-2. CALCUL DES PERTES DE CHARGES LINEAIRES.....</b>	<b>19</b>
II-2.1. LA FORMULE DE DARCY-WEISBACH .....	19
II-2.2. LA FORMULE DE HAZEN WILLIAMS .....	25
<b>II-3. INTERPRETATION ET COMPARAISON DES RESULTATS .....</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>26</b>
<b><u>CHAPITRE III:ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA VALEUR COMMERCIALE DE LA RUGOSITE SUR LA PERTE DE CHARGE</u></b>	
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>27</b>
<b>III.1.RUGOSITE ABSOLUE VS. COEFFICIENT DE HAZEN WILLIAMS .....</b>	<b>27</b>
<b>III.2. VARIATIONS DES PERTES DE CHARGE EN FONCTION DES VALEURS COMMERCIALES DE LA RUGOSITE.....</b>	<b>28</b>
III.2.1.FONTE AVEC UN DIAMETRE 500 MM .....	28
III.2.2.PEHD AVEC UN DIAMETRE 500 MM.....	28
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>29</b>

## **CHAPITRE IV: EFFET DU VIEILLISSEMENT DES CONDUITES SUR LA RUGOSITE**

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>30</b>
<b>IV.1.CAS DES MATEREAUX EN THERMOPLASTIQUE : .....</b>	<b>30</b>
IV.1.1.DILATATION .....	30
IV.1.2. TENUE AUX ULTRA VIOLET .....	30
IV.1.3.TENU AU GEL.....	31
IV.1.4.TEMPERATURE DE FUSION POUR LE PEHD .....	31
<b>IV.2. CAS DES MATERIAUX EN FONTE .....</b>	<b>32</b>
IV.2.1.INFLUENCE DE LA CHALEUR SUR LA STRUCTURE DES FONTES .....	32
IV.2.2. CARACTERISTIQUES MECANIKES AUX TEMPERATURES ELEVEES .....	34
IV.2.3.CARACTERISTIQUES AUX BASSES TEMPERATURES .....	36
<b>IV.3.EVOLUTION DE LA RUGOSITE AVEC L'AGE .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.RELATION DE LA TEMPERATURE AVEC LES PERTES DE CHARGES .....</b>	<b>38</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>39</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>40</b>

## **LISTE DES FIGURES**

<b>FIGURE I.1: SCHEMA DE PERTE DE CHARGE.....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURE I.2: DIAGRAMME DE MOODY.....</b>	<b>5</b>
<b>FIGURE I.3: COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE DES GRILLES.....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURE I.4: VALEURS DE <math>K_C</math> ET DE <math>K_{E_x}</math> EN FONCTION DE <math>D/D_0</math>.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURE I.5: COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE DANS LES COURBES.....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURE I.6 : COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE TYPQUES POUR UN ECOULEMENT A TRAVERS DES VANNES.....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURE II.1: PERTE DE CHARGE POUR LES DIFFERENTES CORRELATIONS</b>	<b>23</b>
<b>FIGURE II.2: PERTE DE CHARGE AVEC LA FORMULE DE DARCY-WEISBACH ET DE HAZEN WILLIAMS .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURE IV.1.EXEMPLE D'UN TUBE EN PEHD AVEC UNE TEMPERATURE DE GEL .....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURE IV.2.COURBE DILATO-METRIQUE D'UNE FONTE GRISE SOUMISE A DES CYCLES SUCCESSIFS DE CHAUFFAGE DANS LA REGION DE TEMPERATURE DE TRANSFORMATION AC ET AR(RAJAKOVICS, 1964). .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURE IV.3.DOMAINE DE VARIATION DE LA RESISTANCE A LA TRACTION DES FONTES GRISES EN FONCTION DE LA TEMPERATURE (PALMER ,1970).</b>	<b>34</b>
<b>FIGURE IV.4.ESSAIS DE TRACTION A CHAUD (D'APRES F. ROLL).....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURE IV.5.VARIATION, AVEC LA TEMPERATURE, DU MODULE D'ELASTICITE DES FONTES GRISES POUR LINGOTIERES (PLENARD ET RICHY. 1968). .....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURE IV.6.PERTE DE CHARGE EN FONCTION DE LA RUGOSITE DU PEHD</b>	<b>37</b>
<b>FIGURE IV.6.PERTE DE CHARGE EN FONCTION DE LA RUGOSITE DE LA FONTE .....</b>	<b>38</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>TABLEAU I.1: RUGOSITE POUR QUELQUES TYPES DE MATERIAUX .....</b>	<b>7</b>
<b>TABLEAU I.2: AUGMENTATION DE LA RUGOSITE PARA PORT A L'AGE DES CONDUITES .....</b>	<b>10</b>
<b>TABLEAU I.3: COEFFICIENT DE RUGOSITE POUR HAZEN WILLIAMS .....</b>	<b>13</b>
<b>TABLEAU.I.4:PERTES SUPPLEMENTAIRES DANS LES GRILLES POUR DES APPROCHES NON PERPENDICULAIRES .....</b>	<b>14</b>
<b>TABLEAU II.1. : DONNEES DU TRONÇON POUR CHAQUE DIAMETRE.....</b>	<b>19</b>
<b>TABLEAU II.2.1 : RESULTATS DES CALCULS POUR LA CORRELATION DE HAALAND.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLEAU II.2.2 : RESULTATS DES CALCULS POUR LA CORRELATION DE SWAMEE–JAIN .....</b>	<b>20</b>
<b>TABLEAU II.2.3 : RESULTATS DES CALCULS POUR LA CORRELATION DE SERGHIDES.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLEAU II.2.4: RESULTATS DES CALCULS POUR LA CORRELATION DE STUART W. CHURCHILL .....</b>	<b>21</b>
<b>TABLEAU II.2.5 : RESULTATS DES CALCULS POUR LA CORRELATION DE NIKURADSE.....</b>	<b>22</b>
<b>TABLEAU II.2.6 : RESULTATS DES CALCULS DES PERTES DE CHARGE POUR LES CORRELATIONS .....</b>	<b>22</b>
<b>TABLEAU II.2.7 : ERREUR RELATIVE DES CORRELATIONS PAR RAPPORT NIKURADSE.....</b>	<b>24</b>
<b>TABLEAU II.2.8 : RESULTATS DES CALCULS POUR LA FORMULE DE HAZEN WILLIAMS.....</b>	<b>25</b>
<b>TABLEAU III.1.VALEURS DES COEFFICIENTS C EN FONCTION DE LA RUGOSITE DE 1905 : .....</b>	<b>27</b>
<b>TABLEAU III.2: COEFFICIENT DE RUGOSITE POUR HAZEN WILLIAMS UTILISE MAINTENANT .....</b>	<b>27</b>
<b>TABLEAU III.3 : RESULTATS DES CALCULS POUR LA FONTE .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLEAU III.4 : RESULTATS DES CALCULS POUR LE PEHD .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLEAU. IV.1: RESULTATS DES CALCULS POUR LES DIFFERENTES VALEURS DE RUGOSITE SUIVANT L'AGE DU PEHD.....</b>	<b>36</b>
<b>TABLEAU. IV.2: RESULTATS DES CALCULS POUR LES DIFFERENTES VALEURS DE RUGOSITE SUIVANT L'AGE DE LA FONTE.....</b>	<b>37</b>
<b>TABLEAU. IV.3: RESULTATS DES CALCULS DE PERTE DE CHARGE POUR DIFFERENTES TEMPERATURES.....</b>	<b>39</b>

# Nomenclature

## NOMENCLATURE :

PEHD : Poly Ethylène Haute Densité ;

$\lambda$  : Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement ;

$R_e$  : Nombre de Reynolds ;

$V$  : vitesse d'écoulement dans la conduite (m/s) ;

$\nu$  : viscosité cinématique de l'eau (m<sup>2</sup>/s).

$\varepsilon$  : Rugosité absolue de la conduite (mm);

$\Delta H_s$  : Les pertes de charge singulières ;

$\Delta H_t$  : La perte de charge totale ;

$S$  = la pente hydraulique ;

$hf$  = est à la tête de la perte en mètres (l'eau) sur la longueur de conduite ;

$L$  = longueur de conduite en mètres ;

$Q$  = débit volumétrique, m<sup>3</sup>/s (mètres cubes par seconde) ;

$C$  = coefficient de rugosité de conduite  $d$  = à l'intérieur de diamètre de conduite en mètre ;

$k$  est un facteur de conversion pour le système d'unité ( $k = 1.318$  pour des unités usuelles américaines,  $k = 0.849$  pour des unités de SI).

## INTRODUCTION GENERALE

Le calcul des pertes de charge dans les conduites sous pression reste jusqu'à présent une préoccupation essentielle aussi bien pour l'ingénieur concepteur que pour le chercheur. Dans le domaine d'hydraulique, les pertes de charge sont de types linéaires et singuliers. En réalité, les pertes de charges ne peuvent être linéaires du simple fait qu'elles évoluent le long d'un circuit (ouvert ou fermé).

Du fait que les pertes de charge se répartissent en fonction de la force motrice initiale, la température du fluide et son évolution, du diamètre et nature des conduits parcourus, ainsi que des accidents de parcours et de l'utilisation du fluide transporté et prélevé le long du circuit leur estimation précise devient assez délicate. En effet, la complexité de résolution a d'ailleurs renforcé le développement d'une multitude de formules dites empiriques ou semi-rationnelles qui posent un embarras de choix. Malheureusement, ce choix est bien souvent compliqué à faire.

L'objectif de cette étude est de répondre à la question «que choisir » sur la base d'une étude comparative des formules de Hazen-Williams et de Darcy Weisbach avec ses différentes corrélations (Blench, Nikuradse, Haaland, etc.) pour l'estimation du coefficient de frottement. Cette étude comparative a été faite aussi par rapport à la valeur de rugosité donnée par les fabricants et les matériaux utilisés. Ce qui passe aussi par une étude bibliographique succincte sur l'estimation des pertes de charges. Les différentes applications sont menées sur l'étude de transfert d'eau à partir de Chott EL Gherbi vers les trois wilayas de Naama, Tlemcen et Sidi Bel Abbas.

## Introduction

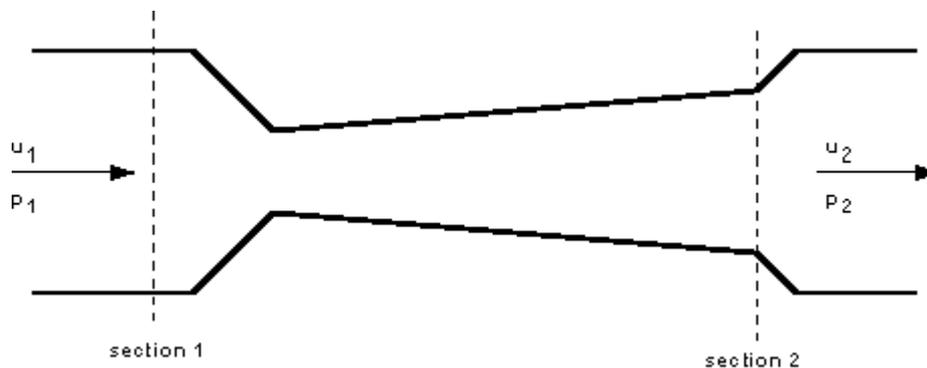
En mécanique des fluides, la perte de charge correspond à la dissipation, par frottements, de l'énergie mécanique d'un fluide en mouvement sous forme de chaleur. On fait la distinction entre :

- les pertes de charges linéaires ;
- les pertes de charges singulières.

Cette énergie doit être compensée afin de permettre au liquide de se déplacer. On l'exprime couramment sous la forme d'une pression, bien qu'elle soit en fait représentative d'une dissipation d'énergie et qu'elle apparaisse dans l'équation de Bernoulli comme une hauteur de colonne de fluide.

### I.1.Définition

Lorsqu'on est en présence de frottements, le théorème de Bernoulli ne s'applique plus et la charge n'est plus constante. On parle alors de perte de charge.



**Figure I.1: schéma de perte de charge**

On utilise dans ce cas le théorème de Bernoulli généralisé, qui s'écrit :

$$\frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \Delta h \quad (\text{I-1})$$

Où le terme  $\Delta h$  représente la dissipation d'énergie (exprimée en mètres) entre le point 1 (en amont) et 2 (en aval de l'écoulement).

Dans le cas d'un fluide incompressible, si la section du tuyau est constante, alors la vitesse est également constante. L'altitude  $z$  étant imposée par l'installation de la canalisation, on voit que la perte de charge se traduit par une diminution de pression. (Lencastre, 1995)

Une relation plus générale s'écrira :

## CHAPITRE I

$$\frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\Delta P}{\rho g} \quad (\text{I-2})$$

Où

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (\text{I-3})$$

### I. 2. Les pertes de charges linéaires ou régulières

#### I. 2.1. L'équation de Darcy Weisbach

L'équation de Prony est une importante équation très utilisée en hydraulique. Elle permet de calculer la perte de charge due à la friction dans une conduite. C'est une équation empirique développée par Gaspard de Prony au XIX<sup>e</sup> siècle (Carlier, 1998) :

$$h_f = \frac{L}{D} (aV/bV^2) \quad (\text{I-4})$$

Où  $h_f$  représente la perte de charge due à la friction, calculée à partir du rapport de la longueur de la conduite sur son diamètre  $L/D$ , la vitesse du flux  $V$ , et deux facteurs empiriques  $a$  et  $b$  tenant compte de la friction.

Cette équation est aujourd'hui supplantée par l'équation de Darcy-Weisbach.

Ce que nous appelons l'équation Darcy-Weisbach a eu une longue histoire de développement. Il porte le nom de deux des grands (supers) ingénieurs hydrauliques du moyen 19<sup>e</sup>ème siècle, mais d'autres ont aussi joué un rôle majeur. Julius Weisbach (1806-1871) un originaire de la Saxe, a proposé en 1845 l'équation que nous utilisons maintenant (Mays, 1999).

$$\Delta P = f_D \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \rho \frac{V^2}{2} \quad (\text{I-5})$$

La perte de charge, obtenue en divisant l'expression précédente par  $\rho \cdot g$  s'exprime en [m] par :

$$\Delta H = f_D \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{I-6})$$

avec

## CHAPITRE I

- $\Delta P$  - perte de pression [Pa]
- $\Delta H$  - perte de charge [m]
- $f_D$  - coefficient de perte de charge de Darcy [-]
- $L$  - longueur de la conduite [m]
- $\rho$  - masse volumique du fluide [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]
- $D_h$  - diamètre hydraulique [m]
- $V$  - vitesse moyenne du fluide [ $\text{m.s}^{-1}$ ]
- $g$  - accélération de la pesanteur

Cependant, il n'a pas fourni de données adéquates pour la variation de  $f$  avec la vitesse. Ainsi, son équation exécutée elle est comparé à l'équation Prony empirique (Gaspard Clair François Marie Riche de Prony, 1755-1839);

$$\Delta H = L/D * (aV + bV^2)$$

Où  $a$  et  $b$  sont des facteurs de friction empiriques pour la vitesse et la vitesse au carré.

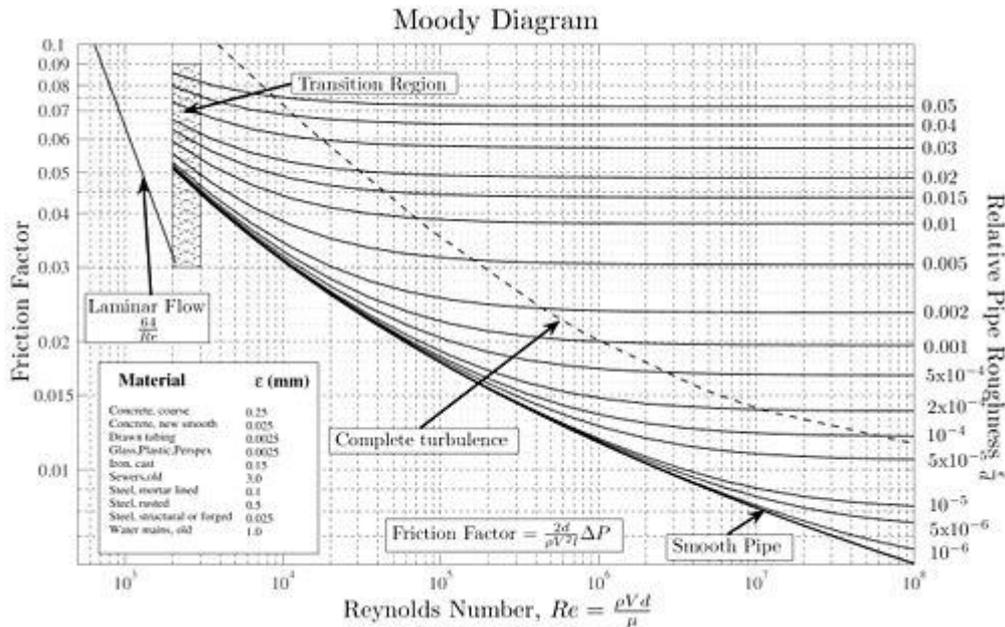
Tandis que Weisbach était en avance de la plupart des autres ingénieurs, le sien n'était pas le premier travail dans la zone (le domaine). Dans environ 1770 Antoine Chézy (1718-1798), un premier diplômé de l'Ecole des Ponts et Chaussées, a publié une équation pour le flux dans les canaux ouvertes qui peuvent être réduites à la même forme Malheureusement, Chézy son travail a été perdu jusqu'à 1800 où son ancien étudiant, Prony a publié un compte rendu le décrivant. Étonnamment, Prony a développé sa propre équation, mais on estime que Weisbach a été au courant de travail de Chézy et de la publication de Prony. Darcy, (l'étudiant de Prony) en 1857 a publié de nouvelles relations pour les coefficients Prony basés sur un grand nombre d'expériences. Sa nouvelle équation était,

$$\Delta H = L/D * [(c + d/D^2)V + (d + e/D)V^2]$$

Où  $c$ ,  $d$  et  $e$  est des coefficients empiriques pour un type donné de conduite. Darcy a ainsi présenté le concept de la rugosité de conduite mesurée par le diamètre; ce que nous exposons maintenant comme la rugosité relative en appliquant le diagramme de Moody. Donc, il est traditionnel d'appeler  $f$ , "facteur de Darcy", bien que Darcy ne l'ait jamais proposé en cette forme. Fanning était apparemment le premier qui a effectivement réuni les deux concepts dans (1877). Il a publié une grande compilation de valeurs de  $f$  comme une fonction de matière de la conduite, le diamètre et la vitesse. Ses données sont venues des publications anglaises et allemandes, avec Darcy étant la plus grande source simple. Cependant, il devrait être noté que Fanning a utilisé le rayon hydraulique, au lieu de  $D$  dans l'équation de friction

Parallèle au développement dans l'hydraulique, la viscosité et le flux laminaire ont été définis par Jean Poisseuille (1799-1869) et Gotthilf Hagen (1797-1884), tandis qu'Osborne Reynolds (1842-1912) a décrit la transition du laminaire au flux turbulent en 1883. Pendant le premier 20ème siècle, Ludwig Prandtl (1875-1953) et ses étudiants Th von Kármán (1881-1963) Paul Blasius (1883-?) et Johann Nikuradse (1894-1979) a essayé de fournir une prévision analytique du facteur de friction utilisant tant considérations théoriques que des données du sable lisse et uniforme des conduites alignées. Leur travail était complimenté par Colebrook et

l'analyse de White de conduites avec la rugosité non uniforme en 1939. L'équation Darcy-Weisbach n'a pas été faite universellement jusqu'au développement du diagramme de Moody (diagramme de Moody, 1944) Qui est construit sur le travail de Hunter Rouse. Rouse (1946) donne un bon sens pour le développement du facteur f, mais il ne fait pas référence au diagramme de Moody. Rouse a estimé que Moody a donné trop de crédit à ce que Rouse et d'autres ont fait (Rouse, 1976).



**Figure I.2: Diagramme de Moody**

Le nom de l'équation pendant le temps est aussi curieux et peut être suivi à la trace dans des manuels de mécanique des fluides et hydraulique. Les textes très anciens ne nomment pas généralement l'équation. Au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle quelques auteurs incluant au moins un allemand l'a nommé "l'Équation de Darcy", un point de confusion évident avec "la Loi de Darcy". Rouse en 1946 semble être le premier à l'appeler "Darcy-Weisbach", mais la désignation n'est pas devenue universelle jusqu'à la fin des années 1980. C'est un assez bon nom, mais comme indiqué précédemment, il part de beaucoup de contributions importantes. Donc pour considérer l'ensemble des contributeurs à cette équation il faudra l'appeler "l'équation de Chézy-Weisbach-Darcy-Poiseuille-Hagen-Reynolds-Fanning-Prandtl-Blasius-Kármaán-Nikuradse-Colebrook-White-Rouse-Moody".

D'un point de vue pratique, l'équation Darcy-Weisbach est seulement devenue populaire depuis l'apparition de la calculatrice électronique. Elle exige la connaissance d'un grand nombre de paramètre comparativement aux relations empiriques, comme l'équation Hazen-Williams, qui est valable sur des gammes étroites. Cependant, à cause de son exactitude générale et la gamme complète de d'application, on devrait considérer l'Équation Darcy-Weisbach le standard et les autres devraient être une partie de l'histoire. Une discussion intéressante récente sur le sujet est présentée par Liou (1998), Christensen (2000), Locher (2000) et Swamee (2000).

## CHAPITRE I

Le coefficient de perte de charge, noté le plus souvent  $f_D$  (parfois  $\lambda$ ), dépend du régime d'écoulement (laminaire ou turbulent) et des propriétés du fluide. En conditions isothermes, le nombre de Reynolds, qui est le rapport entre la puissance des forces d'inertie et la dissipation visqueuse, suffit à caractériser le régime d'écoulement.

### I. 2.2. Coefficients de perte de charge

Il existe deux coefficients de perte de charge.

- L'un est le coefficient de perte de charge de Darcy, en référence à Henry Darcy, généralement utilisé par les Français.
- l'autre est le coefficient de perte de charge de Fanning en référence à John Thomas Fanning, appelé aussi coefficient de frottement car il définit la contrainte de cisaillement à la paroi (= le frottement [Pa]):

$$\tau = f_F \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \quad (\text{I-7})$$

Ce coefficient est généralement utilisé par les Anglo-saxons.

Ces deux coefficients expriment la même réalité physique et sont reliés par la relation suivante :

$$f_D = 4 \cdot f_F \quad (\text{I-8})$$

### I. 2.3. Détermination du coefficient de pertes linéaires

Plusieurs méthodes existent pour définir le coefficient de perte de charge. Une des plus connues est le **diagramme de Moody** qui est un abaque permettant de déterminer le coefficient de perte de charge à partir du nombre de Reynolds et de la rugosité de la conduite. Il est également possible de calculer directement ce paramètre à partir de corrélations qui sont à la base du diagramme du Moody:

- Pour un écoulement laminaire dans un tube circulaire,  $Re < 2000$ , on obtient l'expression de  $f_D$  par identification avec la loi de Hagen-Poiseuille :

$$f_D = \frac{64}{Re}$$

$$\text{(Soit pour le coefficient de Fanning) : } f_F = \frac{16}{Re}$$

Pour un écoulement turbulent dans un tube circulaire,  $Re > 3000$  il existe un grand nombre de corrélations, certaines simples mais imprécises, d'autres plus lourdes mais plus proches de la réalité.

**Tableau I.1: Rugosité pour quelques types de matériaux**

Matériau	Rugosité [mm]
fer forgé	0.12 - 0.3
conduite rivée	0.75 - 1-05
galvanisé	0.15 - 0.3
béton (petit tuyau)	0.15 - 0.25
béton rugueux	0.9 - 1.5
béton très rugueux	1.5 - 2.15
galerie rocheuse	90 - 300

Corrélation de Blasius, est la plus simple, mais sa validité se réduit aux conduites parfaitement lisses (verre, PVC,...) (Lallemand, 2001) .

$$f_D = 0,3164 \cdot Re^{-\frac{1}{4}} \quad (\text{I-9})$$

Corrélation de Blench, à n'utiliser qu'en régime pleinement turbulent lisse (au-dessus de la ligne pointillée du diagramme de Moody) (Riley ,1976).

$$f_D = 0,790 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{D}} \quad (\text{I-10})$$

Corrélation de Colebrook, également connu sous le nom d'équation de Colebrook-White (Lallemand, 2001).

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log_{10} \left( \frac{2,51}{Re\sqrt{f_D}} + \frac{\varepsilon}{3,7D} \right) \quad (\text{I-11})$$

Corrélation de Haaland sa validité se réduit aux écoulements turbulents rugueux (Haaland, 1983).

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -1,8 \log_{10} \left( \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{\varepsilon}{3,7D} \right)^{1,11} \right) \quad (\text{I-12})$$

Corrélation de Johann Nikuradse validité se réduit aux écoulements turbulents rugueux (André Lallemand, 2001).

$$f_D = \frac{1}{(1,74 + 2 \log(\frac{r}{R}))^2} \quad (\text{I-13})$$

## CHAPITRE I

Corrélation de Swamee–Jain validité se réduit aux écoulements turbulents rugueux (Swamee, P. K., 2000).

$$f_D = \frac{0,25}{(\log_{10}[\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,71}{Re^{0,9}}])^2} \quad (\text{I-14})$$

Corrélation de Serghides. La comparaison a été effectuée avec 70 points sur un large intervalle de valeurs tant pour le nombre de Reynolds que pour la rugosité avec une erreur absolue maximale de 0.0031%. (Serghides, 1984).

$$A = -2\log_{10}(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{12}{Re}) \quad (\text{I-15})$$

$$B = -2\log_{10}(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51A}{Re}) \quad (\text{I-16})$$

$$C = -2\log_{10}(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51B}{Re}) \quad (\text{I-17})$$

$$f_D = (A - \frac{(B-A)^2}{C-2B+A})^{8-2} \quad (\text{I-18})$$

Corrélation de Goudar-Sonnad actuellement l'approximation la plus précise, est donnée avec une erreur absolue maximale inférieure à 0.000364% pour plus de 10000 points compris entre  $4000 < Re < 10^8$  et  $10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2}$ . (Marc ,2010) .

$$a = \frac{2}{\ln(10)} ; \quad b = \frac{\varepsilon/D}{3,7} ; \quad d = \frac{\ln(10)Re}{5,02} \quad (\text{I-19})$$

$$s = bd + \ln(d) ; \quad q = s^{\frac{s}{s+1}} \quad (\text{I-20})$$

$$g = bd + \ln\frac{d}{q} ; \quad z = \ln\frac{q}{g} \quad (\text{I-21})$$

Deux différentes possibilités sont disponibles pour calculer  $\delta$

$$1) \delta_{LA} = z \frac{g}{g+1} \quad (\text{I-22})$$

$$2) \delta_{CFA} = \delta_{LA} \left( 1 + \frac{z/2}{(g+1)^2 + \left(\frac{z}{3}\right)(2g-1)} \right) \quad (\text{I-23})$$

donc

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = a \left[ \ln \left( \frac{d}{q} \right) + \delta \right] \quad (\text{I-24})$$

- Stuart W. Churchill a développé une formule pour les deux régimes, laminaire et turbulent rugueux ( Kaye & Rothwell ,2002) .

$$A = (2.457 \ln \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{\varepsilon}{D} \right)^{-1})^{16} \quad (\text{I-25})$$

$$B = \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16} \quad (\text{I-26})$$

$$f_D = 8 \left( \left( \frac{8}{12} \right)^{12} + (A + B)^{-1,5} \right)^{1/12} \quad (\text{I-27})$$

#### I. 2.4.L'équation Hazen williams

L'équation Hazen-Williams est une relation empirique qui relie le flux d'eau dans une conduite avec les propriétés physiques de la conduite et la chute de pression causée par la friction. Il est utilisé dans la conception de systèmes de conduite d'eau comme des extincteurs automatiques à eau, des réseaux d'approvisionnement en eau et des systèmes d'irrigation. Il est nommé après Allen Hazen et Gardner Stewart Williams.

L'équation Hazen-Williams a l'avantage que le coefficient C n'est pas une fonction du nombre Reynolds, mais il a l'inconvénient que c'est seulement valable pour l'eau. Aussi, il ne représente pas la température ou la viscosité de l'eau. (Brater et al, 1996).

##### a) Forme générale

## CHAPITRE I

Henri Pitot a découvert que la vitesse d'un liquide était proportionnelle à la racine carrée de sa charge au début du 18e siècle. Il prend l'énergie de pousser un liquide par une conduite et Antoine de Chézy a découvert que la perte principale était proportionnelle à la vitesse au carré. Par conséquent, la formule Chézy relie la pente hydraulique S (la perte principale par unité de longueur) à la vitesse liquide V et le rayon hydraulique R (Walski & Thomas ,2006)

$$V = C\sqrt{RS} = C \cdot R^{0,5} \cdot S^{0,5} \quad (\text{I-28})$$

La variable C exprime la proportionnalité, mais la valeur de C n'est pas une constante. En 1838 et 1839, Gotthilf Hagen et Jean Léonard Marie Poiseuille ont indépendamment déterminé une équation de perte principale pour le flux laminaire, l'équation Hagen-Poiseuille. Autour de 1845, Julius Weisbach et Henry Darcy ont développé l'équation Darcy-Weisbach. L'équation Darcy-Weisbach était difficile d'utiliser parce que le facteur de friction était difficile d'évaluer. En 1906, Hazen et Williams a fourni une formule empirique qui était facile à utiliser. La forme générale de l'équation relie la vitesse moyenne d'eau dans une conduite avec les propriétés géométriques de la conduite et de la pente de la ligne d'énergie. ( Walski & Thomas , 2006)

$$V = k \cdot C \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (\text{I-29})$$

Où :

V est la vitesse

k est un facteur de conversion pour le système d'unité (k = 1.318 pour des unités usuelles américaines, k = 0.849 pour des unités de SI)

C est un coefficient de rugosité

R est le rayon hydraulique

S est la pente de la ligne d'énergie.

L'équation est semblable à la formule Chézy mais les exposants ont été ajustés pour mieux adapter des données de situations typiques d'ingénierie. Un résultat d'ajuster les exposants est que la valeur de C apparaît plutôt un constant sur une vaste gamme des autres paramètres.

Le facteur de conversion k a été choisi pour que les valeurs de C soient les mêmes comme dans la formule Chézy pour la pente hydraulique typique de S=0.001. La valeur de k est 0.001-0.04. Le facteur C typiques utilisés dans la conception, qui prend en compte un peu d'augmentation de la rugosité par rapport à l'âge des conduites. (Williams & Hazen ,1914).

### **Tableau I.2: Augmentation de la rugosité par rapport à l'âge des conduites**

Matériels	C Facteur bas	C Facteur haut
Ciment d'amianté	140	140
Fonte nouveaux	130	130
Fonte 10 ans	107	113
Fonte 20 ans	89	100
Fonte 30 ans	75	90
Fonte 40 ans	64	83
Mortier de ciment aligné au Conduite Malléable de Fer	140	140
Béton	100	140
Cuivre	130	140
Acier	90	110
Fer Galvanisé	120	120
Polyéthylène	140	140
Chlorure de polyvinyle (PVC)	150	150
Plastique Renforcé de fibre (FRP)	150	150

(Brater et al., 1996).

### b) Formule des conduites

La forme générale peut être spécialisée pour des flux de conduite pleine. Prise de la forme générale

$$V = k \cdot C \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (I-30)$$

Et l'exponentiation chaque côté par 1/0.54 donne (l'arrondissement d'exposants à 2 décimales)

$$V^{1,85} = k^{1,85} R^{1,17} \cdot C^{1,85} \cdot S \quad (I-31)$$

Réarrangement donne :

$$S = \frac{V^{1,85}}{k^{1,85} \cdot C^{1,85} \cdot R^{1,17}} \quad (I-32)$$

Le débit  $Q = V A$ , ainsi

$$S = \frac{V^{1,85} A^{1,85}}{k^{1,85} \cdot C^{1,85} \cdot R^{1,17} \cdot A^{1,85}} = \frac{Q^{1,85}}{k^{1,85} \cdot C^{1,85} \cdot R^{1,17} \cdot A^{1,85}} \quad (I-33)$$

Le rayon hydraulique R (qui diffère du rayon géométrique r) pour une conduite pleine de diamètre géométrique d est  $d/4$ ; la zone à éléments mutuelle de la conduite est  $\pi d^2/4$ , ainsi

$$S = \frac{Q^{1,85} \cdot 4^{1,17} \cdot 4^{1,85}}{k^{1,85} \cdot C^{1,85} \cdot d^{1,17} \cdot d^{3,70} \pi^{1,85}} = \frac{Q^{1,85} \cdot 4^{3,02}}{k^{1,85} \cdot C^{1,85} \cdot d^{4,87} \cdot \pi^{1,85}} = \frac{4^{3,02}}{k^{1,85} \pi^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} = \frac{7,916}{k^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \quad (I-34)$$

## CHAPITRE I

### c) Des unités usuelles américaines

Sont utilisé pour calculé la chute de pression utilisant le système des unité usuelle l'équation est (Dubay, 2007).

$$S_{psi\ per\ foot} = \frac{P_d}{L} = \frac{4.52.Q^{1.85}}{C^{1.85}.d^{4.87}} \quad (I-35)$$

Spsi par pied = la résistance frictionnelle (la chute de pression par pied de conduite) ;

Pd = la chute de pression sur la longueur de conduite ;

L = longueur de conduite dans pieds ;

Q = débit, (gallons par minute) 1 gallons =4,54l ;

C = coefficient de rugosité de conduite d = à l'intérieur de diamètre de conduite, en (pouces) ;

### Unités de SI

Quand utilisé pour calculer la perte principale avec le Système International d'Unités, l'équation devient (Dubay, 2007).

$$S = \frac{h_f}{L} = \frac{10.67.Q^{1.85}}{C^{1.85}.d^{4.87}} \quad (I-36)$$

Où :

S = la pente hydraulique ;

hf = est la perte de charge en mètres sur la longueur de conduite ;

L = longueur de conduite en mètres ;

Q = débit volumétrique, m<sup>3</sup>/s (mètres cubes par seconde) ;

C = coefficient de rugosité de conduite d = à l'intérieur de diamètre de conduite en mètre ;

Notez : la chute de pression peut être calculée de la perte principale comme hf × Le poids d'unité d'eau (par exemple, 9810 N/m<sup>3</sup> à 4 deg C).

### d) Equation final de Hazen Williams

Elle est définie en unités SI par l'expression suivante (Walski, Thomas ,March 2006)

## CHAPITRE I

$$Q = 0,849 . A . C . R_h^{0,63} . J^{0,54} \quad (\text{I-37})$$

Dans laquelle :

$Q$  est le débit volumique dans la conduite, exprimé en  $\text{m}^3/\text{s}$

$C$  est le coefficient de rugosité de Hazen-Williams du matériau constituant la conduite, nombre sans dimension dont quelques valeurs sont données dans le tableau suivant :

**Tableau I.3: Coefficient de rugosité pour hazen williams**

Coefficient de rugosité	Valeur
Acier	120
Béton, brique	100
Bois	120
Cuivre	150
Étain	130
Fonte	100
Matière plastique, PVC	150
Plomb	130
Verre	140

(Walski, Thomas 2006)

- $A$  est l'aire de la section de conduite, exprimée en  $\text{m}^2$
- $R_h$  est le rayon hydraulique de la conduite, exprimé en  $\text{m}$
- $J$  est le gradient d'énergie hydraulique, défini par  $J = \frac{h_{\text{amont}} - h_{\text{aval}}}{L}$  avec  $h$  la charge exprimée en mètre colonne d'eau, et  $L$  la longueur de la conduite.  $J$  est donc un nombre sans dimension.

### I. 3. Les pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières sont essentiellement dues aux accidents de canalisation, c'est-à-dire toute modification géométrique de la conduite. On peut y compter les changements de direction (coudes, raccords en T), les variations de section, les vannes ou robinets, les appareils de mesure, etc ... La perte de charge singulière d'un accident peut se déterminer par calcul ou à l'aide de tables (abaques) où une construction graphique à partir de grandeurs simples donnera un résultat. (Hwang & Hita, 1987)

Pour le cumul des pertes de charge régulières et singulières, il existe des logiciels commerciaux qui réunissent les équations des pertes régulières et ces abaques avec les données fluides et rugosité pour rapidement trouver et totaliser les pertes de charge de réseaux.

Les pertes de charge s'additionnent en fonction du nombre de ces accidents.

## CHAPITRE I

Valeur de  $(\Lambda)$  pour une réduction brutale de la section de passage offerte au fluide (de  $S$  à  $s$ ) =  $\lambda = 1/2 * (1 - s/S)$  ; applicable pour des Reynolds supérieurs à 10 000

Valeur de  $\lambda$  pour un épanouissement brutal de la section de passage offerte au fluide (de  $s$  à  $S$ ) =  $\lambda = (1 - s/S)^2$  ; applicable pour des Reynolds supérieurs à 10 000

Pour la vitesse dans la formule :  $\Delta P = \Lambda \cdot k \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$  , prendre la vitesse dans la section réduite (s). ( Lencastre, 1991 ).

### I. 3.1.Pertes dans les grilles

Une grille est toujours nécessaire à l'entrée des conduites en charge et des prises d'eau pour éviter l'introduction de corps flottants, L'écoulement à travers les grilles entraîne une perte de charge, Bien qu'habituellement petite, elle peut être calculée par une formule de Kirschmer :

$$h_t = Kt \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \left( \frac{V_0^2}{2g} \right) \sin \Phi \quad (I-38)$$

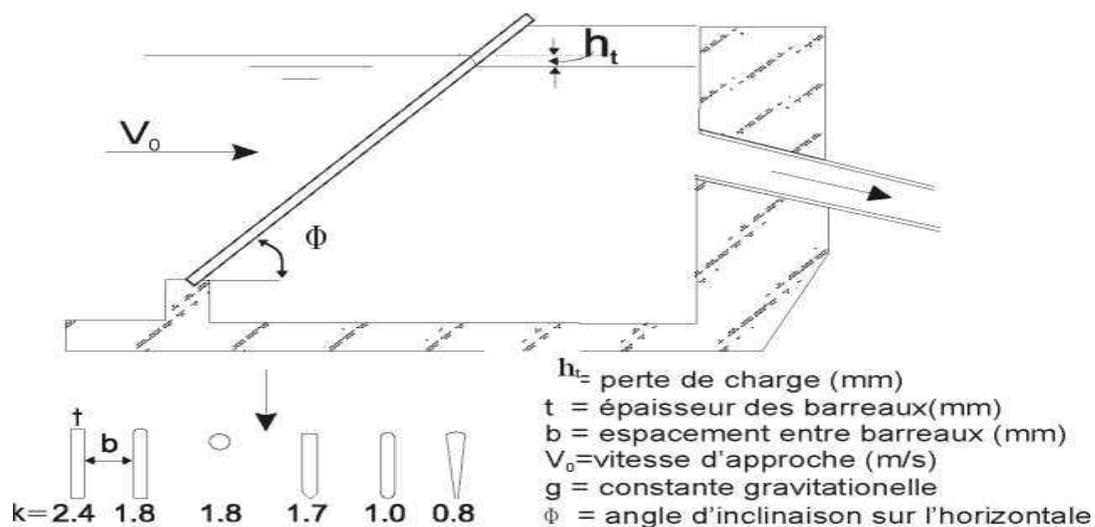


Figure I.3: Coefficients de perte de charge des grilles

Pour des raisons structurelles, cette formule est uniquement valable si la longueur  $L$  des barreaux est inférieure à 5 fois leur diamètre, Si la grille n'est pas perpendiculaire mais fait un angle  $P$  avec l'écoulement ( $P$  aura une valeur maximum de  $90^\circ$  pour une grille située sur la paroi latérale d'un canal), une perte de charge supplémentaire se produira, Le résultat de l'équation (I-23) doit être multiplié par un facteur de correction  $n$  fourni dans le tableau I,4 (Mosonyi, 1987).

### Tableau.I.4: Pertes supplémentaires dans les grilles pour des approches non perpendiculaires

t/b	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	1,06	1,07	1,08	1,09	1,1	1,11	1,12	1,14	1,5
20°	1,14	1,16	1,18	1,21	1,24	1,26	1,31	1,43	2,25
30°	1,25	1,28	1,31	1,35	1,44	1,5	1,64	1,9	3,6
40°	1,43	1,48	1,55	1,64	1,75	1,88	2,1	2,56	5,7
50°	1,75	1,85	1,96	2,1	2,3	2,6	3	3,8	
60°	2,25	2,41	2,62	2,9	3,26	3,74	4,4	6,05	

(Mosonyi, 1987).

### I. 3.2. Perte de charge lors d'une contraction ou d'un élargissement brusques

Lorsque la conduite subit une contraction brusque, il y a une perte de charge due à l'augmentation de vitesse de l'eau et à la turbulence à grande échelle générée par le changement de géométrie, L'écoulement est si complexe qu'il est actuellement impossible de fournir une analyse mathématique du phénomène, La perte de charge est estimée en multipliant l'énergie cinétique dans la conduite la plus étroite (section 2), par un coefficient  $K_c$  qui varie avec le rapport de contraction  $d/D$  (H, Chaudry, 1979).

$$h_c = K_c \cdot \left( \frac{V_2^2}{2g} \right) \tag{I-40}$$

Pour un rapport supérieur à  $d/D = 0,76$ ,  $K_c$  suit approximativement la formule :

$$k_c = 0,42 \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \tag{I-41}$$

Pour un élargissement brusque  $K_c$  est remplacé par  $K_{ex}$

Dans ce cas la perte de charge est donnée par :

$$h_{ex} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left( 1 - \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \frac{V_1^2}{2g} \tag{I-42}$$

Où  $V_i$  est la vitesse d'eau

dans la conduite de plus petit diamètre

La perte de charge peut être réduite en utilisant une forme de transition progressive, convergente pour la contraction, divergente pour l'élargissement

V=vitesse moyenne dans le conduit de plus petit diamètre

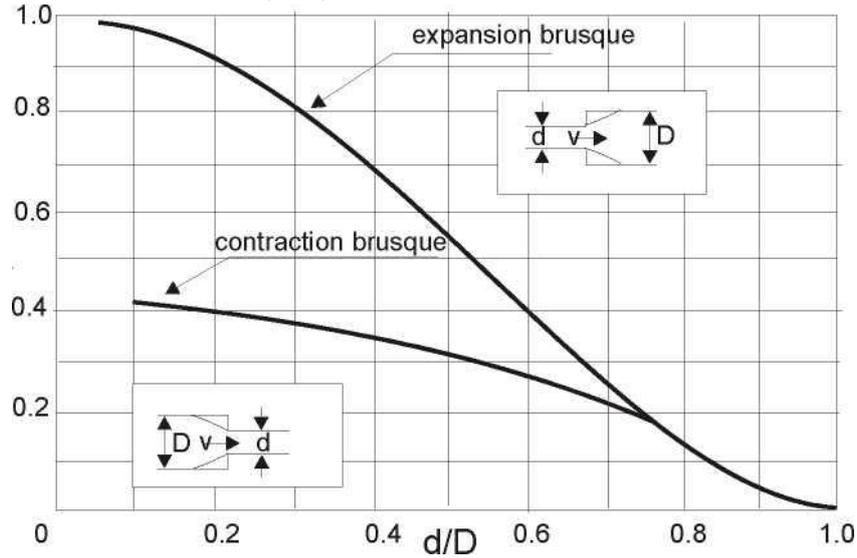


Figure I.4: Valeurs de  $K_c$  et de  $K_{ex}$  en fonction de  $d/D$

Dans un convergent, la perte de charge varie avec l'angle de convergence comme indiqué dans le tableau ci-dessous, où les valeurs de  $K_c$  sont expérimentales :

Angle	$K_c$
30°	0,01
45°	0,04
60°	0,07

### I. 3.3. Perte de charge dans les coudes

Dans un coude, l'écoulement en conduite subit une augmentation de pression le long de la paroi extérieure et une baisse de pression le long de la paroi intérieure, Ce déséquilibre de pression entraîne un courant secondaire, Ces mouvements simultanés (l'écoulement longitudinal et le courant secondaire) produisent un écoulement en spirale qui, pour une longueur d'environ **100** diamètres, est dissipé par un frottement visqueux.

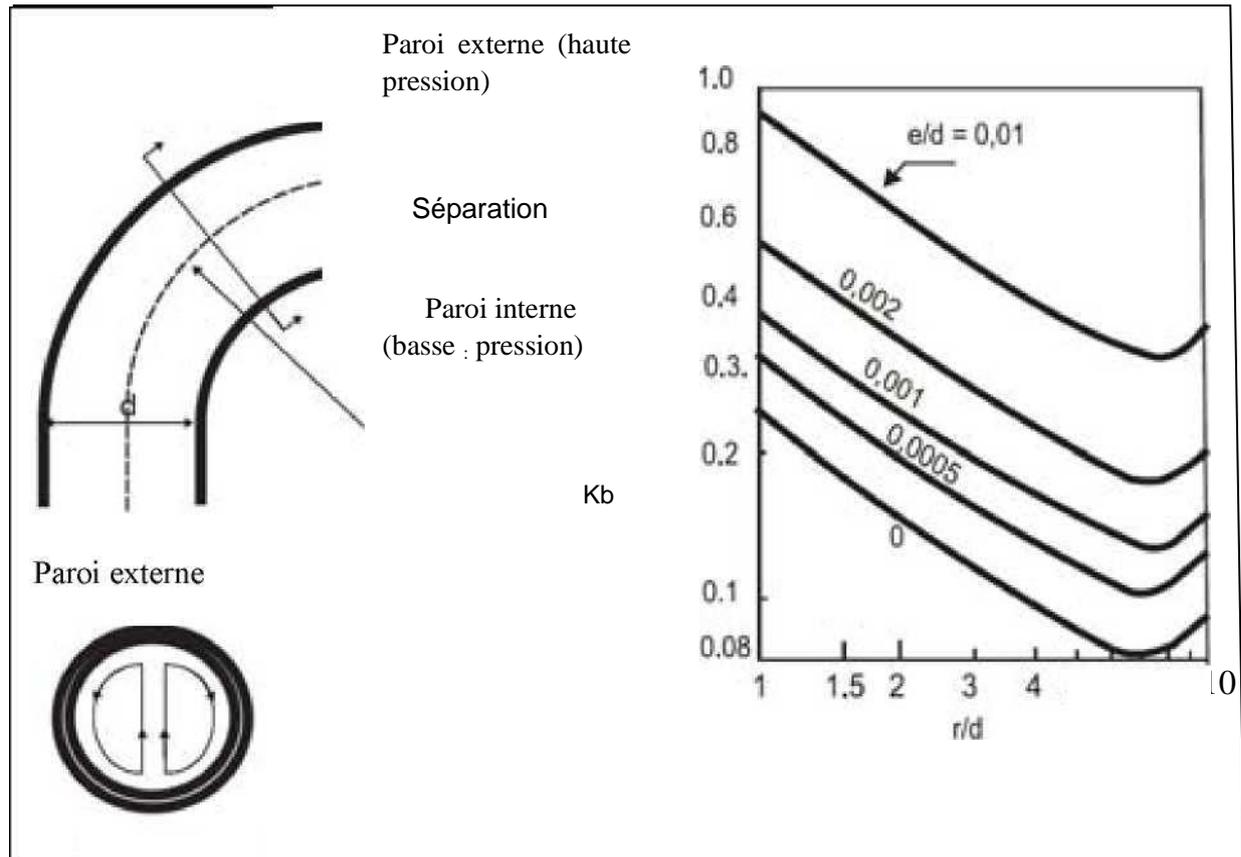


Figure I.5: Coefficients de perte de charge dans les courbes

La perte de charge dans un coude dépend du rayon de la courbe et du diamètre de la conduite, De plus, du fait de la circulation secondaire, il y a une perte par frottement secondaire, qui dépend de la rugosité relative  $e/D$ , Figure II.4, prise à partir de la référence 3, donne la valeur de  $K_b$  pour différentes valeurs du rapport  $R/D$  et différentes rugosités relatives  $e/D$ , Il existe également un consensus général sur le fait que, dans des conduites en acier sans soudure, la perte dans des courbes d'un angle inférieur à  $90^\circ$ , est sensiblement proportionnelle à l'angle du coude.

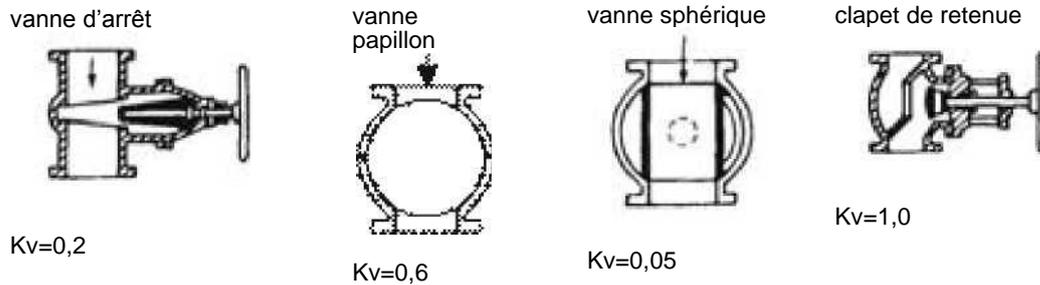
Le problème est extrêmement complexe lorsque des coudes successifs sont placés l'un après l'autre, avec une proximité empêchant la stabilisation de l'écoulement, Ce cas est rarement rencontré dans les petits aménagements hydroélectriques (J, Dubois, 1998).

### I. 3.4.Perte de charge dans les vannes

Des vannes sont utilisées dans les aménagements hydroélectriques pour isoler un composant du reste, Elles sont donc entièrement fermées ou entièrement ouvertes, La régulation de débit est assurée par les aubes du distributeur, les pales de la roue ou les vannes à pointe de la turbine,

## CHAPITRE I

La perte de charge produite par l'écoulement à travers une vanne ouverte dépend du type de vanne, La Figure II.5 montre la valeur de Kv pour différents types de vannes (A, Piqueras, 1993).



**Figure I.6 : Coefficients de perte de charge typiques pour un écoulement à travers des vannes**

### Conclusion

Ce chapitre porte sur l'étude bibliographique dans le domaine des pertes de charge, il est irréfutable que ce phénomène est d'une importance majeure vu toutes les études et recherches qui lui ont été consacrées depuis longtemps, cependant le sujet est loin d'être épuisé puisqu'il reste des côtés à développer et des hypothèses simplificatrices à vérifier malgré toutes les analyses qui ont été établie depuis longtemps.

Les formules les plus utilisées à l'heure actuelle pour le calcul des pertes de charge linéaire dans les conduites sous pressions sont celle de Darcy Weisbach avec ses multiples corrélations de coefficient de perte de charge en premier lieu et celle de Hazen Willams en deuxième lieu.

Et pour les pertes de charge singulière elles sont calculées avec des différentes méthodes selon le type de singularité.

**Introduction**

Dans ce chapitre il est effectué une étude comparative sur les formules de calculs des pertes de charge. Il est retenu une étude de cas issue du mémoire de fin d'étude (Etude du système de transfert d'eau à partir de la nappe de Chott el Gharbi vers seize communes dans les wilayas de Naama, Tlemcen et Sidi Belabbès).

**II-1.données du tronçon pour chaque diamètre :**

Le tronçon étudié c'est un tronçon en PEHD de 17318m de longueur qui relie réservoir Maghboura projeté ver - Réservoir Tampon 1.

**Tableau II.1. : Données du tronçon pour chaque diamètre**

Q(m3/s)	S(m2)	D (mm)	ξ (m)	Re	e(m)	V (m/s)	L(m)
0,24	0,031	200	0,00001	1528662,42	0,0182	7,64	17318
0,24	0,049	250	0,00001	1222929,94	0,0227	4,89	17318
0,24	0,078	315	0,00001	970579,32	0,0286	3,08	17318
0,24	0,126	400	0,00001	764331,21	0,0363	1,91	17318
0,24	0,196	500	0,00001	611464,97	0,0454	1,22	17318
0,24	0,312	630	0,00001	485289,66	0,0572	0,77	17318

Après le calcul du nombre de Reynolds on a conclu que notre écoulement est turbulent rugueux

**II-2. Calcul des pertes de charges linéaires**

**II-2.1. La formule de Darcy-Weisbach**

Notre écoulement est turbulent rugueux donc les corrélations de Baisius et Blench ne seront pas étudiées vu qu'elles sont applicable pour un régime turbulent lisse.

**Pour toutes les formules  $f_D = \lambda$**

a) Corrélation de Haaland

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -1.8 \log_{10} \left( \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\epsilon}{3.7D} \right)^{1.11} \right) \tag{II-1}$$

**Tableau II.2.1 : résultats des calculs pour la corrélation de Haaland**

D	Corrélation de Haaland		ΔH
(mm)	1/√λ	λ	(m)
200	9,13159913	0,01199241	5011,06
250	9,10748911	0,01205598	1543,84
315	9,04117337	0,01223349	460,24
400	8,93612305	0,01252281	132,82
500	8,8126522	0,01287617	41,85
630	8,66653815	0,013314	12,71

b) Corrélation de Swamee–Jain

$$f_D = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left[ \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right]\right)^2} \quad (\text{II-2})$$

**Tableau II.2.2 : résultats des calculs pour la corrélation de Swamee–Jain**

D	Corrélation de Swamee–Jain	ΔH
(mm)	λ	(m)
200	0,01088617	4548,81
250	0,0112951	1446,40
315	0,01174344	441,81
400	0,01223557	129,77
500	0,01272379	41,36
630	0,01326096	12,66

c) Corrélation de Serghides

$$A = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{12}{Re} \right)$$

$$B = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51A}{Re} \right)$$

$$C = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51B}{Re} \right)$$

$$f_D = \left( A - \frac{(B - A)^2}{C - 2B + A} \right)^{-2} \quad (\text{II-3})$$

**Tableau II.2.3 : résultats des calculs pour la corrélation de Serghides**

D	Corrélation de Serghides				$\Delta H$
(mm)	A	B	C	$\lambda$	(m)
200	10,1524201	9,52841851	9,5817313	0,01090166	4555,28
250	9,95860009	9,35081027	9,40370364	0,01131862	1449,42
315	9,757859	9,16718508	9,21959755	0,01177548	443,01
400	9,55036013	8,97774011	9,02960146	0,01227658	130,21
500	9,3565401	8,80112967	8,85242235	0,01277325	41,52
630	9,15579901	8,61857961	8,66922361	0,01331916	12,72

d) Corrélation de Stuart W. Churchill

$$f_D = 8 \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-1.5} \right)^{\frac{1}{12}} \quad (\text{II-4})$$

$$A = \left( 2.457 \ln \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{e}{D} \right)^{-1} \right)^{16}$$

$$B = \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

**Tableau II.2.4: résultats des calculs pour la corrélation de Stuart W. Churchill**

D	Corrélation de Stuart W. Churchill			$\Delta H$
(mm)	A	B	$\lambda$	(m)
200	2,22948E+15	1,7421E-26	0,00965083	4032,62
250	2,24937E+15	6,1892E-25	0,00964012	1234,48
315	2,24829E+15	2,4978E-23	0,0096407	362,70
400	2,25072E+15	1,1417E-21	0,0096394	102,24
500	2,24282E+15	4,0561E-20	0,00964363	31,35
630	2,24024E+15	1,637E-18	0,00964502	9,21

e) Corrélation de Johann Nikuradse

$$\lambda = \frac{1}{(1.74 + 2\log(\frac{r}{k}))^2} \quad (\text{II-5})$$

**Tableau II.2.5 : résultats des calculs pour la corrélation de Nikuradse**

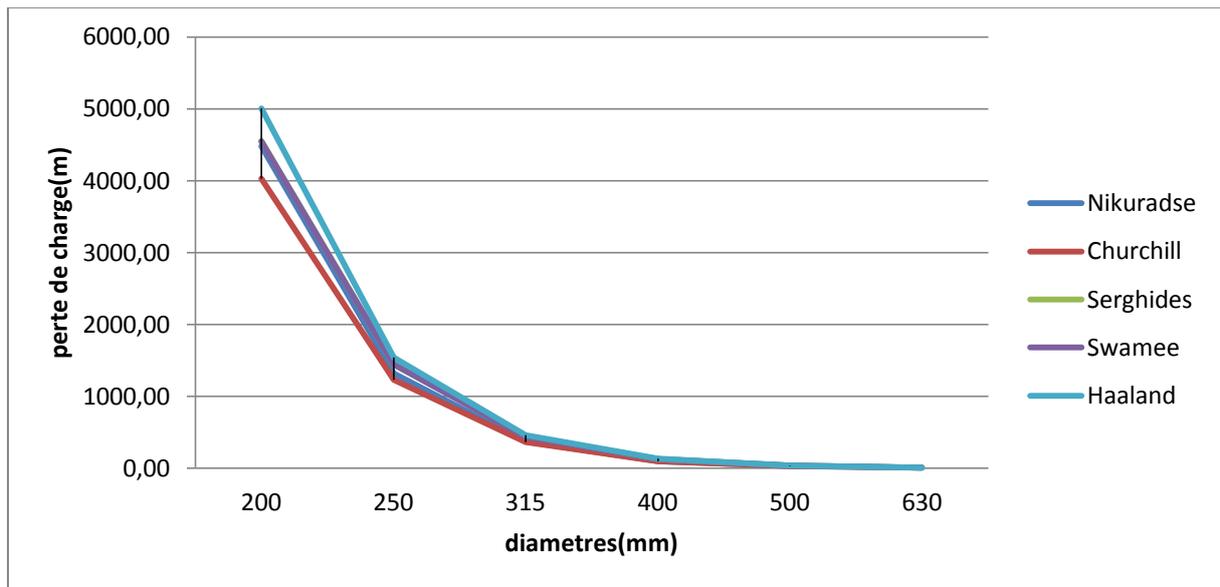
D (mm)	Corrélation de Johann Nikuradse $\lambda$	$\Delta H$ (m)
200	0,01072298	4480,62
250	0,01030918	1320,15
315	0,00990536	372,65
400	0,00951238	100,89
500	0,00916605	29,79
630	0,00882692	8,43

a- Les valeurs de perte de charge avec les différentes corrélations  $\Delta H(m)$

**Tableau II.2.6 : résultats des calculs des pertes de charge pour les corrélations**

Diamètre (mm)	Haaland (m)	Swamee (m)	Serghides (m)	Churchill (m)	Nikuradsé (m)
200	5011,06	4548,81	4555,28	4032,62	4480,62
250	1543,84	1446,40	1449,42	1234,48	1320,15
315	460,24	441,81	443,01	362,70	372,65
400	132,82	129,77	130,21	102,24	100,89
500	41,85	41,36	41,52	31,35	29,79
630	12,71	12,66	12,72	9,21	8,43

**b- Comparaison entre les corrélations :**



**Figure II.1: perte de charge pour les différentes corrélations**

D'après le graphique les différentes corrélations donnent presque le même résultat de perte de charge pour des diamètres supérieurs à 315 mm, plus exactement nous avons constaté que les valeurs des pertes de charges se différencient pour des diamètres entre 200 mm et 400 mm. Nous avons constaté aussi que les corrélations se superpose dans l'intervalle 400 mm et 630 mm.

L'équation de Haaland a été proposée par l'institut norvégien de technologie en 1984, elle est utilisée pour calculer le coefficient de frottement dans la formule de DARCY-Weisbach pour une conduite circulaire en charge, c'est une approximation de l'équation implicite de Colebrook-White, mais la différence à partir des données expérimentales sont bien à l'intérieur de l'exactitude des données. Cette équation est en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative  $\epsilon/D$ .

La formule de Swamee et Jain, Etablie en 1976, est destinée au calcul explicite du coefficient de frottement  $f_D$  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. Celle-ci a été déterminée après plusieurs tentatives basées sur un calcul laborieux. Selon Swamee et Jain (1976), la relation de Colebrook-White peut être remplacée par la relation approchée suivante :

$$f_D = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left[ \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right]\right)^2}$$

Comme l'indique la relation, le coefficient de frottement peut être directement calculé à partir des valeurs connues du nombre de Reynolds R et de la rugosité relative  $\epsilon/D$ .

## CHAPITRE II

Cependant, Swamee et Jain indiquent que la relation doit être appliquée dans les gammes des valeurs  $5.10^3 < R < 10^8$  et  $10^{-6} < \epsilon / D < 10^{-2}$ . La relation est donc restrictive vis-à-vis notamment de la gamme de valeurs admise de la rugosité relative. Celle du nombre de Reynolds  $R$  semble suffisante tant elle couvre une large gamme pratique.

La rugosité relative est le paramètre dont dépend le coefficient de frottement  $f$  lorsque l'écoulement est en régime turbulent rugueux. La relation est également connue sous le nom de formule de Nikuradse en hommage à son auteur.

Les travaux de Nikuradse sur les pertes de charge dans les conduites ont permis d'élaborer un graphique (Diagramme de Moody) permettant de déterminer le coefficient  $\lambda$  en fonction de  $R$  pour les différents types d'écoulement et des rugosités relatives  $k/D$  ( $\epsilon/D$ ) (allant de  $1/30$  à  $1/1014$ ).

Nous rappelons que les corrélations sont des modèles mathématiques proposés d'une façon phénoménologique pour retrouver les valeurs expérimentales exactes. Ils utilisent presque les mêmes paramètres mais avec quelque petites différences. C'est pour ça que nous trouvons des différences dans le premier intervalle puis les résultats se chevauchent dans le deuxième intervalle.

Nous pouvons dire que la formule de Nikuradse est la formule la plus exacte car à chaque fois que le diamètre augmente la perte de charge diminue plus que les autres corrélations. Et c'est la corrélation la plus utilisée de nos jours.

**Tableau II.2.7 : erreur relative des corrélations par rapport Nikuradsé**

Diamètre	Haaland	Swamee	Serghides	Churchill
(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)
200	12	2	2	-10
250	17	10	10	-6
315	24	19	19	-3
400	32	29	29	1
500	40	39	39	5
630	51	50	51	9

**II-2.2. La formule de Hazen Williams**

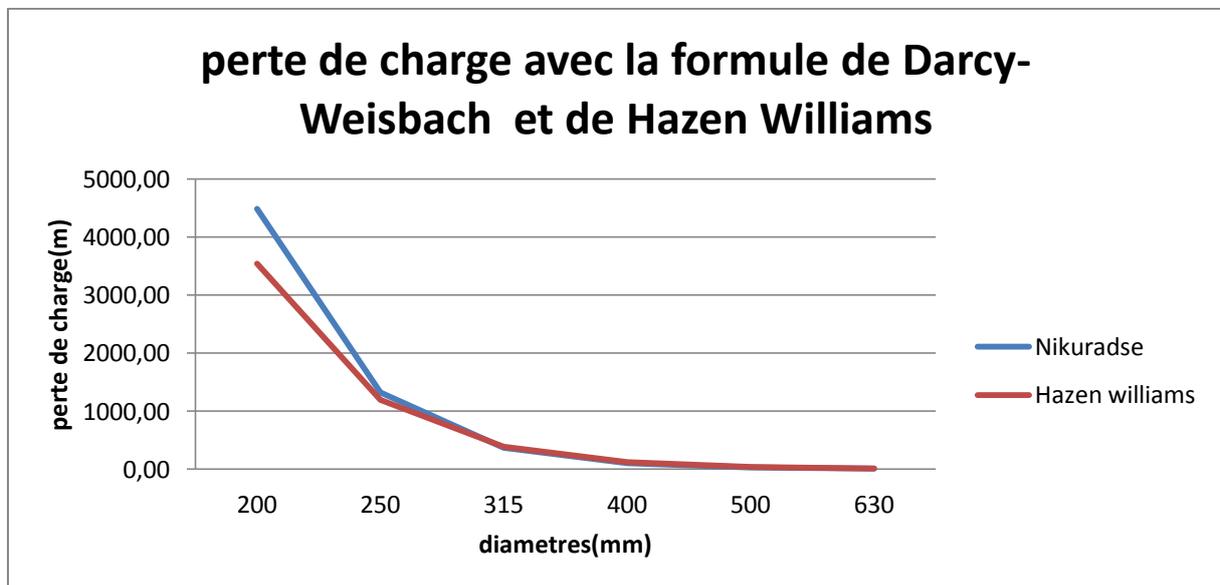
$$Q = 0,849 C A R_h^{0,63} J^{0,54} \quad (II-6)$$

**Tableau II.2.8 : résultats des calculs pour la formule de Hazen Williams**

D (mm)	Formule de Hazen williams J	ΔH (m)
200	0,2046	3543,35
250	0,0690	1195,16
315	0,0223	387,78
400	0,0069	121,14
500	0,0023	40,86
630	0,0007	13,25

**II-3. Interprétation et Comparaison des résultats**

Après L'analyse des données nous avons constaté que y'a une petite différence entre les deux équations.



**Figure II.2: perte de charge avec la formule de Darcy-Weisbach et de Hazen Williams**

D'après les graphiques donnés on constate que Pour des diamètres inférieurs à 400 mm, les deux fonctions de perte de charge sont différentes mais au-delà de cette valeur nous constatons qu'elles se superposent.

La formule de Darcy-Weisbach est la plus exacte car elle prend en compte plusieurs paramètres et parmi eux la rugosité et la température, alors que la formule de Hazen Williams est plus simple et ne dépend que du débit car ces autre paramètres sont des données.

## CHAPITRE II

### **Conclusion**

Nous pouvons dire que la formule de Darcy-Weisbach est la plus adéquate pour notre étude. Elle donne des excellents résultats. Néanmoins une prudence doit accompagner la généralisation de ces résultats car d'autres travaux ont été à l'encontre de nos résultats.

Nous recommandons qu'un travail expérimental doit être fait pour bien illustrer les domaines d'utilisation des différentes formules ce qui va faciliter la tâche des autres chercheurs.

**Introduction**

La rugosité est une caractéristique de l'état de surface d'un matériau solide. C'est aussi un paramètre d'un écoulement se produisant sur ce matériau. Elle est susceptible de recevoir plusieurs acceptions techniques (J. A. Shaw ,1999)

En hydraulique

- c'est une longueur caractéristique  $\epsilon$  (exprimée elle aussi en  $\mu\text{m}$ ) intervenant dans l'équation de Colebrook qui caractérise les pertes de charge linéaires dans un écoulement aussi bien en charge qu'à surface libre.
- c'est un nombre sans dimension intervenant dans l'Équation de Hazen-Williams qui caractérise les pertes de charge linéaires
- c'est le coefficient  $K$  intervenant dans la formule de Manning-Strickler qui donne l'expression de la vitesse moyenne en régime uniforme, par exemple dans un tronçon de rivière, dont le lit est de pente connue, et pour un rayon hydraulique donné.

**III.1.Rugosité absolue vs. Coefficient de Hazen Williams**

Dans les tables publiées en 1905 par les physiciens américains WILLIAMS et HAZEN le coefficient de leur formule monôme varie en fonction de l'âge de la conduite en service.

La formule de HAZEN-WILLIAMS est la suivante :

$$Q = 0,849 C A R_h^{0,63} J^{0,54}$$

**Tableau III.1.valeurs des coefficients C en fonction de la rugosité de 1905 :**

$\epsilon(\text{mm})$	2	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0
$C_{\text{HW}}$	95	106	116	130	136	141	145	-

(Christensen, B.A., 2000)

**Tableau III.2: Coefficient de rugosité pour Hazen williams utilisé maintenant**

<b>Coefficient de rugosité</b>	<b>Valeur</b>
Acier	120
Béton, brique	100
Bois	120
Cuivre	150
Étain	130
Fonte	100
Matière plastique, PVC	150
Plomb	130
Verre	140

(Walski, Thomas ,March 2006)

## CHAPITRE III

Donc elle est donnée déjà pas comme la formule de Darcy Weisbach ou il faut calculer le  $\lambda$  en fonction de la rugosité des matériaux.

### III.2. Variations des pertes de charge en fonction des valeurs commerciales de la rugosité

Nous allons prendre les même donnée que pour le calcul des pertes de charge en deuxième chapitre en changeant que la valeur de rugosité a chaque fois. Avec le même diamètre.

Débit =240 l/s

Longueur = 17318m

#### III.2.1.Fonte avec un diamètre 500 mm

**Tableau III.3 : résultats des calculs pour la Fonte**

$\varepsilon$ (mm)	Catalogue (entreprise)	$\lambda$	$\Delta H$ (m)
<u>0.01</u>	vonRoll hydro	0,0091	29,79
<u>0.008</u>	ArcelorMittal Annecy	0,0088	28,73
<u>0.009</u>	Flejes Industriales, S.A.	0,0090	29,28
<u>0.01</u>	Gebo	0,0091	29,79
<u>0.01</u>	Fluide Design	0,0091	29,79
<u>0.01</u>	Saint-Gobain	0,0091	29,79
<u>0.006</u>	Tubes Technologies	0,0084	12,09

#### III.2.2.PEHD avec un diamètre 500 mm

**Tableau III.4 : résultats des calculs pour le PEHD**

$\varepsilon$ (mm)	Catalogue (entreprise)	$\lambda$	$\Delta H$ (m)
<u>0.01</u>	Groupe-Chiali	0,0091	29,79
<u>0.007</u>	CTRA Tunisie	0,0086	28,12
<u>0.006</u>	Dalmine PE	0,0084	27,44
<u>0.008</u>	Glynwed SAS	0,0088	28,73
<u>0.05</u>	Pipe Life (marine)	0,0121	39,59
<u>0.006</u>	Fluide Design	0,0084	27,44
<u>0.009</u>	Interplast	0,0090	12,90

### **Conclusion**

En conclusion, les résultats de la présente recherche montrent clairement que plusieurs entreprises proposent la même valeur de rugosité avec quelques exceptions. Ceci s'explique du fait du procédé de fabrication qui peut être différents et donc influe sur la rugosité. Pour cette raison, il est primordiale pour tout projet de s'assurer de la valeur exacte de la rugosité, c'est-à-dire celle fourni par le fabricant et non pas se baser sur les tables présentées dans la bibliographie spécialisée.

Certains fabricants fournissent une valeur de rugosité tirée à partir d'une bibliographie spécialisée sans faire d'essais hydrauliques donnant la valeur exacte de la rugosité. Ce constat est plus fréquent pour les conduites en matériaux thermoplastique. Aussi, dans certains cas la valeur de la rugosité revêt un aspect commercial. C'est-à-dire une valeur volontairement revue à la baisse. Pour cette raison, il serait assez judicieux de majorer la valeur fourni par les fabricant afin de garantir la viabilité de la conception.

### Introduction

Le temps et la combinaison de différents facteurs et phénomènes naturel contribue à la dégradation des conduites. On dit que la conduite vieillit et cela influe sur la valeur de la rugosité. Et cette influence change d'un matériau à l'autre.

### IV.1.Cas des matériaux en thermoplastique :

#### IV.1.1.Dilatation

Sous l'effet d'une variation de température, le tube en polyéthylène ou en plastique aura tendance à se dilater ou se rétracter. La variation de température entraînera en plus ou en moins une variation de longueur  $\Delta L$  calculée par la formule suivante :

$$\Delta L = L \alpha \Delta t \quad (IV-1)$$

L	=	Longueur considérée
$\Delta L$	=	Variation de longueur
$\Delta T$	=	Variation de température
$\alpha$	=	Coefficient de dilatation

En fonction de la température, le coefficient de dilatation évolue. En règle générale, pour un calcul approché, une valeur de  $2 \cdot 10^{-4}$  convient. (Speight ,2005)

Lorsque la canalisation est enterrée, le poids des terres empêche l'allongement du tube.

Lorsque le tube est libre, il convient de prendre en compte les effets de la dilatation pour le dimensionnement du réseau. Parmi les solutions pouvant être mises en œuvre, on retrouve :

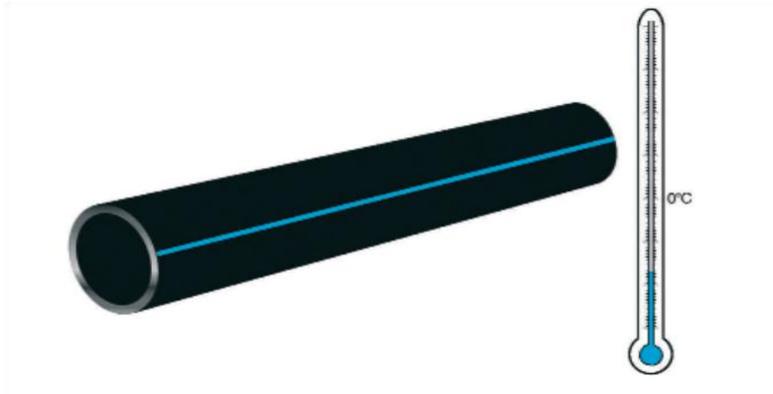
- les lyres,
- les joints de dilatation,
- les bras de dilatation.

#### IV.1.2. Tenue aux Ultra Violet

Une exposition aux UV trop longue peut entraîner une décoloration et une diminution sensibles des qualités intrinsèques du matériau.

Le polyéthylène noir ou les plastique noir comporte du noir de carbone qui lui permet d'augmenter de manière considérable cette tenue aux UV. Ainsi, le noir a une remarquable stabilité au vieillissement. (Speight ,2005)

### IV.1.3. Tenu au gel



**Figure IV.1. exemple d'un tube en PEHD avec une température de gel**

- La grande souplesse du tube en polyéthylène ou plastique lui permet de bien résister au gel.
- Le tube se prête à la déformation due au gel puis reprend sa forme initiale au dégel.
- Le tube peut supporter des températures pouvant aller jusqu'à  $-40^{\circ}\text{C}$ .
- Par ailleurs, les matières plastiques apportent une résistance thermique très importante vis à vis des matériaux professionnels.

Ces caractéristiques de matériaux apportent une sécurité sans égal, vis à vis des risques de gel. En effet, le gel n'altère pas la tenue du tube et sa souplesse lui permet de se prêter aux déformations dues à l'augmentation du volume lorsque le fluide gèle. (Speight, 2005)

### IV.1.4. Température de fusion pour le PEHD

La température de fusion (comprise entre  $125$  et  $135^{\circ}\text{C}$ ) et l'enthalpie de fusion du polyéthylène haute densité sont mesurées par analyse thermique différentielle : la température de fusion correspond à l'abscisse du sommet du pic de fusion, l'enthalpie est obtenue par intégration de la surface du pic.

Ces caractéristiques ainsi que le point de ramollissement Vicat sont d'autant plus élevés que le taux de cristallinité est plus élevé ; de plus, la température de fusion dépend aussi de la structure moléculaire induite par le procédé de polymérisation. (Catalogue Chiali)

#### a- Conductivité thermique

La conductivité thermique du polyéthylène haute densité décroît à l'état solide de  $0,47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  à  $0^{\circ}\text{C}$  à  $0,35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  à  $100^{\circ}\text{C}$ . Elle est à peu près constante à l'état fondu, de l'ordre de  $0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Elle est plus élevée pour les homopolymères que pour les copolymères.

### **b- Coefficient de dilatation linéique**

Il se situe entre  $1,2$  et  $1,8 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  à  $23^\circ\text{C}$ .

### **IV.2. Cas des matériaux en Fonte**

Dans le cas des fontes ordinaires, on peut dire que, jusqu'à environ  $350^\circ\text{C}$ , on n'aperçoit aucune modification de structure et on peut considérer que les caractéristiques mécaniques sont inchangées.

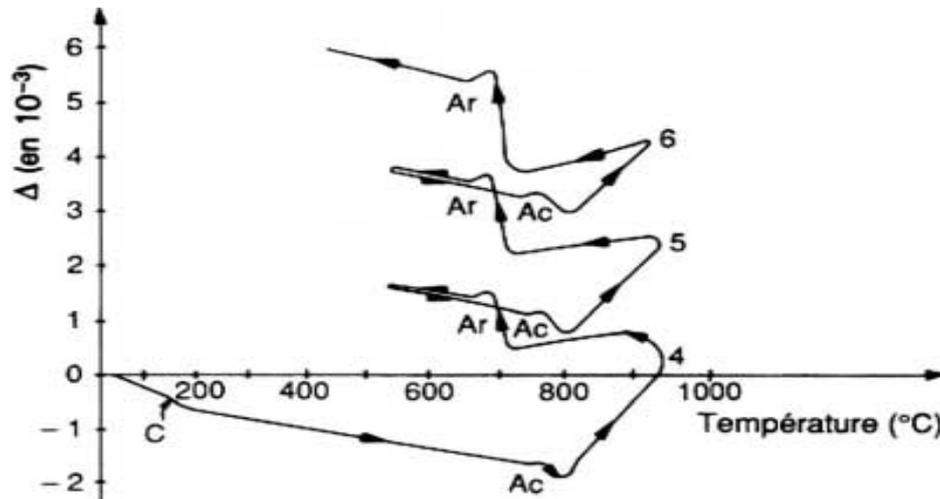
Au-delà, les effets de fluage deviennent observables et les caractéristiques mécaniques diminuent notablement. Mais au-delà encore, à partir d'une température de l'ordre de  $500^\circ\text{C}$ , la structure même du métal risque de se transformer progressivement et, de toute façon, les caractéristiques mécaniques diminuent très rapidement; le recours aux fontes alliées devient en général nécessaire.

#### **IV.2.1. Influence de la chaleur sur la structure des fontes**

Lorsqu'on chauffe une pièce en fonte ordinaire (au-delà d'une température que l'on détermine au besoin par un essai dilato- métrique), il se produit un gonflement dans la masse, qui est la résultante de plusieurs transformations.

##### **IV.2.1.1. Discontinuité dans l'organisation de la matrice**

Elle est due aux changements de volume hétérogènes et non réversibles lors de passages répétés du point de transformation. Les contraintes ainsi développées dans la matrice en provoquent la dislocation et aboutissent à d'importants changements de dimensions et de formes (l'effet est presque illimité). La figure IV.2 représente la courbe dilato- métrique d'une fonte ayant subi des chauffages successifs avec franchissements répétés du point de transformation. (Rajakovics, 1964).



$\Delta$  différence entre l'allongement relatif de l'échantillon et celui de l'étalon à dilatation constante  
 C température de Curie de la cémentite.

**Figure IV.2.** Courbe dilato-métrique d'une fonte grise soumise à des cycles successifs de chauffage dans la région de température de transformation Ac et Ar (Rajakovics, 1964).

#### IV.2.1.2. Oxydation

L'effet dû à l'oxydation, et plus généralement à des corrosions, peut dans certains cas être suivi par thermogravimétrie. Non seulement le graphite, mais le silicium, le manganèse, le fer, etc., interviennent en s'oxydant dans le gonflement des fontes. Les discontinuités de la matrice provoquées par le graphite (lui-même oxydé ou non) sont des cheminements préférentiels micro graphiquement évidents qui permettent la pénétration en profondeur. Le phénomène devient très important dans l'air ou dans les gaz de combustion à partir de 500 °C environ. (Patterson, 1958).

#### IV.2.1.3. Fusion de l'eutectique phosphoreux

Lorsque la température approche de 950°C, l'eutectique phosphoreux se ramollit et fond. Ce phénomène se produit pratiquement dans toutes les fontes industrielles mais il est néanmoins mieux visible dans les plus phosphoreuses. Il ne cause pas de gonflement mais plutôt l'effondrement de la pièce.

Pour améliorer la résistance des fontes à la chaleur, on a développé avec succès un certain nombre de fontes réfractaires mais, sans parler de l'addition d'éléments spéciaux, et restant dans le cas des fontes ordinaires, on peut jouer sur la composition chimique et sur la structure, compte tenu des conditions d'utilisation prévues. Les applications aux pièces de fours, de foyers, (Mayer, 1967).

## IV.2.2. Caractéristiques mécaniques aux températures élevées

### IV.2.2.1. Essais de courte durée

La durée des essais mentionnés dans ce paragraphe est assez courte pour permettre de négliger les phénomènes de fluage et d'oxydation ou les transformations de la matrice. (Palmer, 1970).

### IV.2.2.2. Résistance à la traction ou compression et allongement

On peut considérer en première approximation  $R_m$  comme constante jusqu'à 400 °C. En fait, la courbe de variation à l'allure représentée sur la figure IV.3 (le premier minimum serait dû au point de Curie de la cémentite tandis que le maximum serait causé par un effet de vieillissement sous tension).

L'allongement varie en sens contraire de la résistance à la traction. À défaut de données sur les fontes ordinaires, on peut citer l'exemple d'une fonte à 0,6 % de molybdène (figure IV.4). La résistance à la compression suit une évolution comparable. (Palmer, 1970).

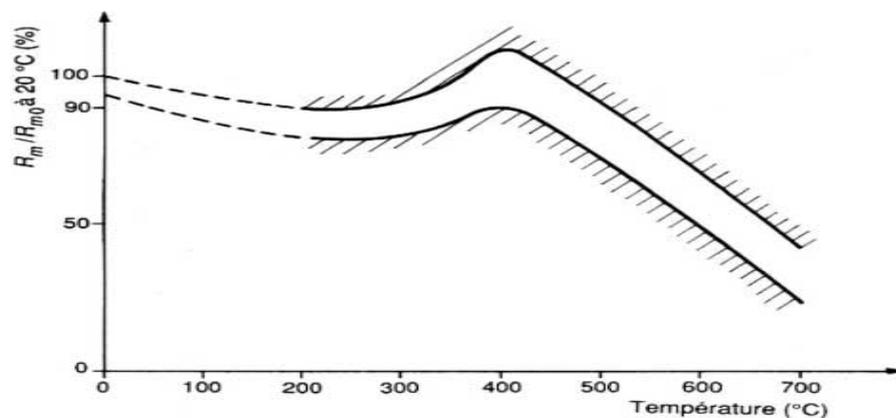
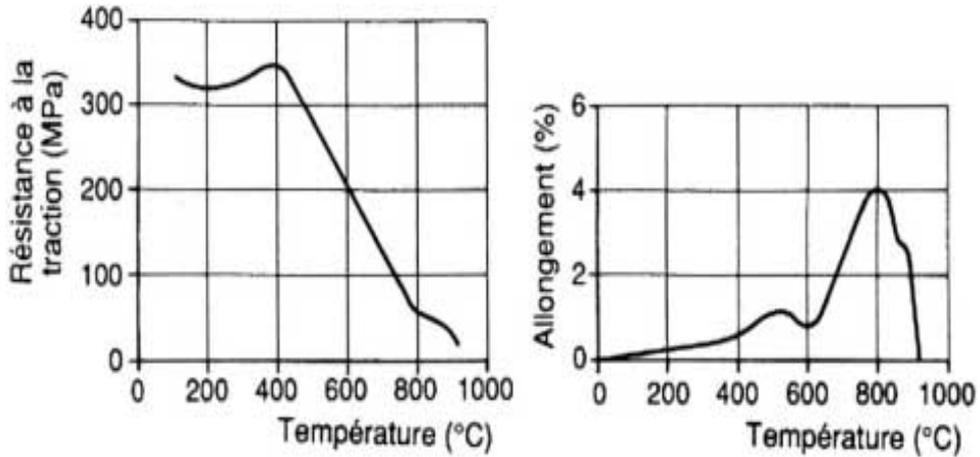


Figure IV.3. Domaine de variation de la résistance à la traction des fontes grises en fonction de la température (Palmer, 1970).



Composition : 3,01 % C, 0,09 % S, 1,93 % Si, 0,22 % P, 0,87 % Mn, 0,61 % Mo.

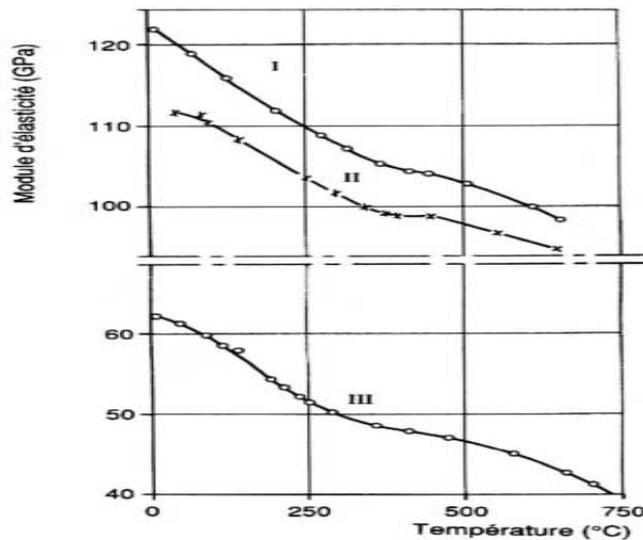
Éprouvette de diamètre  $d = 10$  mm.

Base de mesure du  $A \% \ell_0 = 5 d$ .

Figure IV.4. Essais de traction à chaud (d'après F. Roll)

IV.2.2.3. Module d'élasticité. Coefficient de Poisson

Le module d'élasticité est une fonction décroissante de la température. La figure IV.5 donne l'exemple de la décroissance pour trois fontes de lingotières d'après des déterminations dynamiques (méthode Cabarat). (Plénard et Richy. 1968).



Fonte	Composition chimique (%)					Matrice % ferrite	Graphite
	C	Si	Mn	S	P		
I	3,6	1,7	0,6	0,08	0,13	0	A n° 2
II	3,5	1,8	0,45	0,11	0,08	10	A n° 2
III	3,6	2,2	0,6	0,08	0,05	100	A n° 1

Figure IV.5. Variation, avec la température, du module d'élasticité des fontes grises pour lingotières (Plénard et Richy. 1968).

**IV.2.3.Caractéristiques aux basses températures**

Le développement de l'industrie du froid, en particulier l'utilisation de plus en plus grande de l'oxygène, de l'azote, du méthane et de l'argon liquides, entraîne un besoin croissant d'installations conçues pour résister aux très basses températures. En outre, les contacts plus nombreux avec les pays de l'Est augmentent certes les débouchés du marché industriel mais exigent des pièces une qualité supplémentaire: une bonne tenue aux conditions climatiques souvent sévères (- 40 à - 60 °C).

Toutes ces raisons nécessitent qu'on étudie et qu'on connaisse les caractéristiques mécaniques des fontes à basses températures.

Les caractéristiques mécaniques (résistance à la traction, limite de fatigue, dureté Brinell) des fontes grises exposés aux basses températures ne subissent pas de changement important et aucun effet néfaste n'est à craindre. (Decrop ,1968).

En règle générale, la résistance à la traction, la limite de fatigue et la dureté augmentent à mesure que la température s'abaisse.

On peut douter qu'une telle interaction de la structure et de la température d'essai soit reproductible en général.

On peut conclure qu'en général l'utilisation des pièces en fonte non alliée aux basses températures atmosphériques ne pose pas de problème particulier. Dans le cas des températures cryogéniques toutefois la résistance aux chocs est diminuée de façon notable.

**IV.3.Evolution de la rugosité avec l'âge**

On prendra exemple sur le PEHD et la Fonte, car le même cas va se passer pour les autres matériaux mais avec une vitesse de détérioration différente pour chaque matériel.

Nous savons qu'avec l'âge la qualité des conduites se détériore donc leur rugosité augmente comme le montre le tableau suivant ou on a un diamètre 400 mm et différentes valeurs de rugosité.

- cas du PEHD

**Tableau. IV.1: résultats des calculs pour les différentes valeurs de rugosité suivant l'âge du PEHD**

Vers le	Age de la conduite (ans)	$\epsilon$ (mm) avec l'âge	$\lambda$	$\Delta H$ (m)	Augmentation de la rugosité (%)
Plus ancien ↓	0	0,01	0,0095	100,89	0
	5	0,011	0,0096	102,52	10
	10	0,012	0,0098	104,05	20
	25	0,013	0,0099	105,48	29
	50	0,014	0,0100	106,84	37
	100	0,015	0,0101	108,12	45

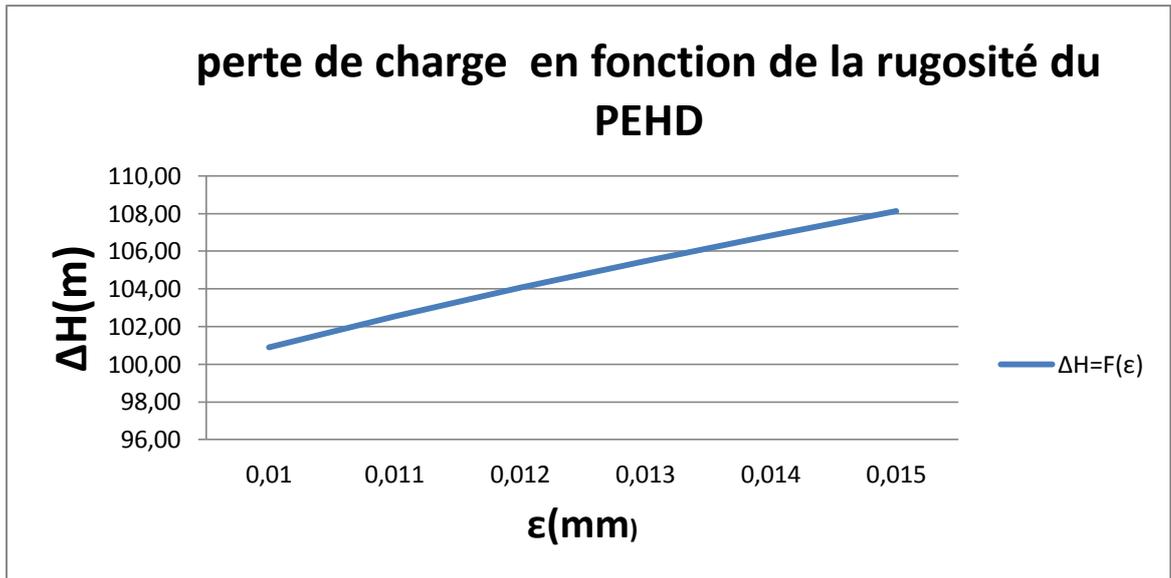


Figure IV.6.perte de charge en fonction de la rugosité du PEHD

Après le calcul des pertes de charge et l'obtention de ce graphe on peut dire que le changement de la valeur de rugosité avec l'âge de la conduite a une très grande influence pour la perte de charge mais avec des pourcentages différents par rapport à l'âge de la conduite car a chaque fois que la conduite est neuve la valeur de perte de charge est faible et après le passage des années cette conduite est usée et sa valeur de rugosité augmente d'où l'augmentation des pertes de charge. Et pour notre conduite en PEHD on peut dire que le pourcentage de l'augmentation des pertes de charges est abordable par rapport à l'âge de la conduite.

**Cas de Fonte :**

**Tableau. IV.2: résultats des calculs pour les différentes valeurs de rugosité suivant l'âge de la Fonte**

Vers le	Age de la conduite (ans)	ε(mm) avec l'âge	λ	ΔH(m)	Augmentation de la rugosité (%)
Plus ancien ↓	0	0,01	0,0095	100,89	0
	5	0,012	0,0098	104,05	20
	10	0,014	0,0100	106,84	37
	25	0,016	0,0103	109,34	53
	50	0,018	0,0105	111,63	67
	100	0,02	0,0107	113,73	80

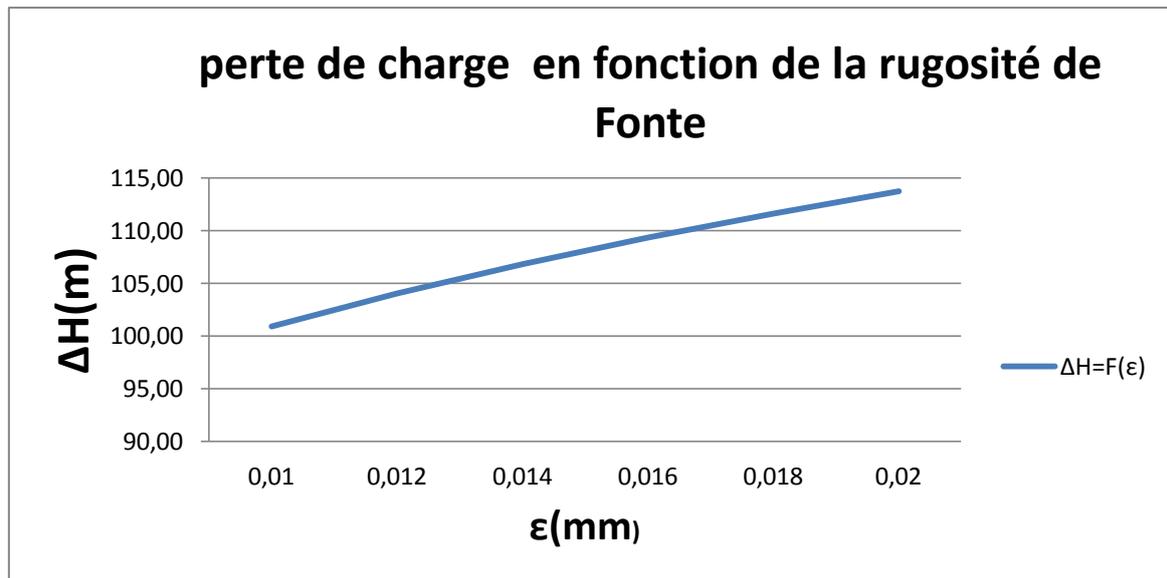


Figure IV.6.perte de charge en fonction de la rugosité de la Fonte

Après le calcul des pertes de charge et l'obtention de ce graphe on peut dire que la valeur de la perte de charge est en relation directe avec la valeur de la rugosité du matériel appart que cette fois la vitesse de détérioration de la conduite est trop grande d'où l'augmentation rapide des valeurs de pertes de charge. Donc pour les conduites en Fonte on peut dire que le pourcentage de l'augmentation des pertes de charges est très grand par rapport à l'âge de la conduite. Et les années d'utilisation de la conduite en fonte et petite par rapport aux conduites en PEHD.

#### IV.4.Relation de la température avec les pertes de charges

Pour K=1mm

$$\begin{aligned}
 T^{\circ} = 0^{\circ}\text{C} \quad & V=[0,4-1]\text{m/s} \quad \Delta H=(0.00158*Q^{1.96})/D^{5.22} \quad V=[1-2,4]\text{m/s} \quad \Delta H= (0.001596*Q^2)/D^{5.3} \\
 T^{\circ} = 10^{\circ}\text{C} \quad & V=[0,4-0,8]\text{m/s} \quad \Delta H= (0.001572*Q^{1.969})/D^{5.238} \quad V=[0,8-2,4]\text{m/s} \quad \Delta H= (0.001596*Q^2)/D^{5.3} \\
 T^{\circ} = 15^{\circ}\text{C} \quad & V=[0,4-0,64]\text{m/s} \quad \Delta H= (0.001569*Q^{1.973})/D^{5.246} \quad V=[0,64-2,4]\text{m/s} \quad \Delta H= (0.001596*Q^2)/D^{5.3} \\
 T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C} \quad & V=[0,4-0,56]\text{m/s} \quad \Delta H= (0.001567*Q^{1.967})/D^{5.252} \quad V=[0,56-2,4]\text{m/s} \quad \Delta H= (0.001596*Q^2)/D^{5.3}
 \end{aligned}$$

(AYADI, 2008)

Nous allons prendre exemple sur un tronçon du projet de transfert d'eau (système de transfert d'eau à partir de la nappe de Chott el Gharbi vers seize communes dans les wilayas de Naama, Tlemcen et Sidi Belabbès). Donc pour un diamètre de 630 mm on aura une vitesse de 0,77 m/s et donc les formule de calcule de perte de charge varie par rapport a la température.

**Tableau. IV.3: résultats des calculs de perte de charge pour différentes températures**

<b>Q(m3/s)</b>	<b>S(m2)</b>	<b>D (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>L(m)</b>	<b>T (°c)</b>	<b>ΔH(m)</b>
0,24	0,312	0,63	0,77	17318	0	18,6128
0,24	0,312	0,63	0,77	17318	10	18,4349
0,24	0,312	0,63	0,77	17318	15	18,4267
0,24	0,312	0,63	0,77	17318	20	18,4267

Après le calcul de perte de charge on peut conclure que la température a une influence minimale. Toutefois, il y'a une grande différence par rapport à la valeur trouvée avec les autres méthodes.

### **Conclusion**

La recherche bibliographique effectuée a démontré la fragilité des matériaux et leurs dégradations dans le temps et cela en influant sur leur rugosité. Concernant l'application effectuée elle a démontré que la valeur de la perte de charge est en relation avec la rugosité de la conduite, plus la conduite vieillie plus sa rugosité augmente et plus la perte de charge est grande et ce constat est d'autant plus frappant pour les conduites en fontes. En effet l'augmentation de la perte de charge sur le projet retenu comme exemple est de 50% après 25 années d'exploitation. Ce qui montre clairement que la conception initiale ne garantira plus un fonctionnement correct du système de transfert.

## CONCLUSION GENERALE

Le travail que nous venons d'élaborer consiste à comparer entre les formules de calcul de perte de charge linéaire à savoir :

- La formule de Hazen-Williams ;
- La formule de Darcy Weisbach avec ces différentes corrélations.

La question posée en introduction «*que choisir* » trouve sa réponse en tirant les conclusions suivantes :

- Les résultats obtenus par les méthodes appliquées sur un tronçon du système de transfert d'eau à partir de la nappe de Chott el Gharbi vers seize communes dans les wilaya de Naama, Tlemcen et Sidi Belabbès . et les résultats obtenus des calculs élaborés pour chaque formule et appliqués sur le tronçon de transfert d'eau potable prouvent l'efficacité de ces formules pour le calcul des pertes de charge avec tous les valeurs de rugosité donné par le constructeur.
- La conclusion de ce travail aboutit au choix des formules de Darcy Weisbach, qui nous donne un résultat presque le même par rapport a toutes ces corrélations.
- Aussi, l'influence de la température sur les pertes de charges, indiquent que dans les zones de fortes amplitudes thermiques ou fortes/faibles température d'écoulement, il faudra tenir compte de cet aspect dans la conception.
- L'étude sur l'évolution de la rugosité dans le temps montre qu'il est impératif de majorer la valeur de la rugosité dans la conception initiale, et principalement pour la fonte, à fin de garantir un fonctionnement adéquate après quelques années d'exploitation.

# BIBLIOGRAPHIE

Brater, Ernest F.; King, Horace W.; Lindell, James E.; Wei, C. Y. (1996). . Handbook of Hydraulics (Seventh ed.). New York: McGraw Hill.

Walski, Thomas M. ( 2006), A history of water distribution, Journal of the American Water Works Association (American Water Works Association) 98 (3): 110–121, p. 112.

Mays, Larry W. (1999), *Hydraulic Design Handbook*, McGraw Hill .

Watkins, James A. (1987), *Turf Irrigation Manual* (5th ed.), Telsco.

Michel Carlier (1998) *Hydraulique générale et appliquée*. : Editeur(s) Eyrolles, EDF. Direction des études et recherches d'Electricité de France (EDF).

Christian Dubay, P.E. (2007) Gain clarity on today's sprinkler system installation provisions with the 2007 *NFPA 13 Handbook*.

Haaland, SE (1983). "Simple and Explicit Formulas for the Friction Factor in Turbulent Flow". *Journal of Fluids Engineering*

Serghides, T.K (1984). "Estimate friction factor accurately". *Chemical Engineering Journal* 91

Christensen, B.A. (2000). Discussion of "Limitations and Proper Use of the Hazen-Williams Equation. *Journal of Hydraulic Engineering*", ASCE.

Darcy, H. (1857). *Recherches Experimentales Relatives au Mouvement de L'Eau dans les Tuyaux*, 2 volumes, Mallet-Bachelier, Paris. 268 pages and atlas. ("Experimental Research Relating to the Movement of Water in Pipes").

Fanning, (1877). *Treatise on Water Supply*.

Liou, C.P. (1998). Limitations and Proper Use of the Hazen-Williams Equation. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. Vol. 124.

Locher, F. A. (2000). Discussion of "Limitations and Proper Use of the Hazen-Williams Equation. *Journal of Hydraulic Engineering*", ASCE.

Moody, L. F.(1944). Friction factors for pipe flow. *Transactions of the ASME*, Vol. 66.

Poiseuille, J. L. (1841). *Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très-petits diamètres*, Comptes Rendus, Académie des Sciences, Paris, 1841.

Reynolds, O. (1883). An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous and of the law of resistance in parallel channel, Philo. Trans. of the Royal Soc., 174:935-982.

Rouse, H. (1946). Elementary Mechanics of Fluids. John Wiley and Sons, New York.

Rouse, H. (1976). History of Hydraulics in America, 1776-1976.

P. K. Swamee, (2000). Discussion of "Limitations and Proper Use of the Hazen-Williams Equation. Journal of Hydraulic Engineering", ASCE.

Weisbach, J. (1845). Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik, Braunschweig.

J. A. Shaw (1999), "Glittering light on water" Optics and photonics news, vol. 10, n° 3.

N, H, C Hwang and Carlos Hita, (1987) "Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems", Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.

E. Mosonyi, (1987) "Water power development", Tome I et II, Akadémiai Kiado Budapest,

H. Chaudry, (1979). Applied Hydraulic Transients, Von Nostrand Reinhold Co.

J. Dubois, (1998) "Comportement hydraulique et modélisation des écoulements de surface" (en français), Communication LCH n°8, EPLF, Lausanne .

A, Piqueras, (1993) "Evacuacion de Broza" (en Castillan), ESHA Info n°9 Eté .

G, Speight, (2005) . Lange's handbook of chemistry, New York.

E, Rajakovics. (1964) – *Schwingungsfestigkeit von Gusseisen*. Giesserei Rundschau, p. 19-26, déc.

W .Patterson .(1958). – *Relative Härte und Reife- grad*. Giesserei, 45, p. 385.

H. Mayer, (1967) – *Erzeugung von Gusseisen mit erhöhter Festigkeit und Dehnung*. Giesserei, 27, p. 236, avril .

K. B, Palmer (1970). – *High temperature properties of cast iron*. BCIRA Conference Loughborough, avril .

M .Decrop (1968) *et coll.* – *Résistance au choc thermique de certaines fontes spéciales*. Fonderie, no 230, p. 111, août.

A. AYADI (2008). E-Water Official Publication of the European Water Association (EWA).

PLÉNARD (E.) et RICHY (B.), (1968) – *Considérations sur le coefficient de Poisson d'alliages de fonderie*. Fonderie, n 272, p. 479, nov.

**Les mémoires fins d'études :**

A.TAFAT BOUZID,(2014) << Etude du système de transfert d'eau à partir de la nappe de Chott el Gharbi vers seize communes dans les wilaya de Naama, Tlemcen et Sidi Belabbès >>.(mémoire de fin d'étude ,ENSH).

**Catalogue des entreprises :**

vonRoll hydro (france) s.a.s.69, rue Louise Michèle,92300 Levallois Perret  
CTRA Tunisie, Chaudronnerie tuyauterie résine anti corrosion.

Groupe-Chiali tubes en polystyrène PE , Sidi bel abbes Algérie .

ArcelorMittal Anancy,Stainless Service Tubes France,Siège - 25/27 rue Royale FR-74009  
Anancy .

Dalmine PE, Via degli artigiani,27,06024-Gubbio Italie.

Flejes Industriales, S.A.,Ctra. Ibi-Alicante, Km. 1,5-03440 - IBI (Alicante) ESPAÑA.

Glynwed SAS,Meze ,france.

Gebo France S.A.R.L .ZI La Levraudière F-85120 Antigny.

SAINT-GOBAIN HES GmbH,Ettore-Bugatti-Str. 35-51149,Cologne/Porz-Gremberghoven  
Boîte postale 92 02 31-51152 Cologne, Allemagne.

Interplast R.C.I. Monaco 87 S 2253 - SSEE 515 F 06675-“Athos Palace” - 2, rue de la  
Lüjernetta - 98000 Monaco.

Tubes Technologies,ZAC des Pierres Blanches / 31 rue du Traité de Rome .F – 69780 Moins.