

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique  
Référence :...../ 2018

جامعة محمد خيضر - بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع:...../ 2018



**Mémoire de Master**  
**2ème Année**  
**Spécialité : Hydraulique**  
**Option : Ouvrage Hydraulique**  
**Thème :**

**Calcul du debit volume dans les conduites circulaires en charge**

**Etudiant:**  
BOUNEB Ali

**Encadreur:**  
Dr .BEDJAOU Ali

**Promotion: Juin 2018**

## Remerciement

*Nous tenons tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux ; qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*En second lieu ; nous tenons à remercier notre encadreur Mr (BEDJAOUI Ali) son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions .*

*Enfin ; nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

A mes chers parents ; pour tous leurs sacrifices ; leur amour ; leur tendresse ; leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chers frères ; a mes chères sœurs ; pour leurs encouragements permanents ; et leur soutien moral.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués ; et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours là pour moi.

# Sommaire

Dédicace

Remerciements

Résumé

Principes notation

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

## Chapitre 1

### Généralités les écoulements en charge

1.1-Introduction .....2

1.2-Définition .....2

1.2-1- Ecoulement en charge .....2

1-2-2-Régime découlement..... 2

1-3- Formules utilisées pour l'évaluation du débit.....3

1-3-1 Formules et méthodes anciennes .....3

1-3-1-1-formule de chezy .....3

1-3-1-2-Formule de Manning- Strickler.....5

1-3-1-3 : Formule de colébrook .....6

1-3-2-Relations modernes..... 8

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1-3-2-1- Relation de HAGER .....               | 8  |
| 1-3-2-2 Relation de Williams Hazan (1920)..... | 9  |
| 1-3-2-3 Relation de Achour –Bedjaoui.....      | 11 |
| 1-4 Conclusion.....                            | 12 |

## **Chapitre 2**

### **Etude comparative pour le calcul du debit volume**

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 2-1 Introduction.....                                        | 13 |
| 2-2 Protocole et données expérimentales .....                | 13 |
| 2-2 Résultats obtenus.....                                   | 15 |
| 1- La relation de Colebrook-white et Prandtl-Colebrook ..... | 16 |
| 2- La relation de Hager .....                                | 16 |
| 3- La relation de Manning-Strickler.....                     | 16 |
| 4- La relation de Williams-Hazen.....                        | 16 |
| 5- La relation de Achour-Bedjaoui.....                       | 17 |
| 2.3 Discussion des résultats .....                           | 24 |
| 2.4 Conclusion.....                                          | 26 |
| Conclusion générale.....                                     | 27 |
| Annexes .....                                                | 28 |

## ملخص:

يتمثل عملنا في مقارنة تقريبية لحساب حجم التدفق في ضغط الانابيب الدائرية و تستند الدراسة على العلاقات القديمة: (علاقة كولبروك وايت' علاقة شيزي' علاقة مانينغ ستريكلر'). والعلاقات الحديثة: علاقة هاجر' علاقة عاشور-بجاوي. يتميز التدفق المضطرب من قيمة عدد رينولدز و الخشونة النسبية و نتطرق في هذه الدراسة الى حساب معامل الاحتكاك في ضغط الانابيب الدائرية باستعمال طريقة عاشور-بجاوي المسماة ب: طريقة المرجعية الخام' هذه العلاقة مبنية على ثلاث علاقات اساسية وهي: علاقة دارسي فايزباخ' علاقة كولبروك' عدد رينولدز. و يتم اجراء مقارنة تقريبية لاستخلاص بعض الاستنتاجات المثيرة للاهتمام حول موثوقية و مرونة الاساليب المستخدمة لحساب حجم التدفق.

## RESUME :

Notre travail s'intéresse une à une étude comparative pour le calcul du débit volume dans les conduite circulaires en charge. Cette étude est basée sur les relations anciennes de Colebrook-white, de Chézy, de Manning-Strickler, et sur deux relations recentes celle de Hager et celle de Achour-Bedjaoui pour un écoulement turbulent caractérisé par un nombre de Reynolds important.

Les résultats obtenus sur le calcul des débits convergent pour la majorité des relations à l'exception de la relation de Williams-Hazen.

## PRINCIPALES NOTATIONS

|                 |                                                                  |                      |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|----------------------|
| $A$             | Aire d'une section de la conduite                                | (m <sup>2</sup> )    |
| $D$             | Diamètre de la conduite                                          | (m)                  |
| $Q$             | Débit volume                                                     | (m <sup>3</sup> /s)  |
| $V$             | Vitesse moyenne du fluide                                        | (m/s)                |
| $\rho$          | La masse volumique du fluide                                     | (kg/m <sup>3</sup> ) |
| $\mu$           | Viscosité dynamique du fluide                                    | (Kg/m/s)             |
| $\bar{R}$       | Nombre de <i>Reynolds</i> de l'écoulement dans le modèle rugueux | (-)                  |
| $R$             | Nombre de <i>Reynolds</i> d'un écoulement                        | (-)                  |
| $f$             | Coefficient de frottement                                        | (-)                  |
| $g$             | Accélération de la pesanteur                                     | (m/s <sup>2</sup> )  |
| $J$             | Gradient de la perte de charge linéaire                          | (-)                  |
| $\mathcal{E}$   | Rugosité absolue d'une paroi                                     | (m)                  |
| $\mathcal{E}/D$ | Rugosité relative                                                | (-)                  |
| $\nu$           | Viscosité cinématique (m <sup>2</sup> /s)                        |                      |
| $L$             | Distance entre deux sections de la conduite                      | ( m)                 |
| $\Delta H$      | La perte de charge                                               | (m)                  |
| $r_0$           | Rayon d'une conduite                                             | (m)                  |
| $n$             | Coefficient de rugosité de <i>Manning</i>                        | (-)                  |
| $K_S$           | Coefficient de rugosité de <i>Manning-Strickler</i>              | (-)                  |
| $C_{HW}$        | Coefficient de Hazen-Williams                                    | (-)                  |
| $C_f$           | Facteur de conversion d'unité (10.7 SI)                          | (-)                  |

## Listes des tableaux

|                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1.1</b> : Valeurs de $C_{hw}$ de Williams-Hazen (Wikipédia, 2013).....                                                                                                                  | 10 |
| <b>Tableau 1-2</b> : Coefficient de Hazen Williams, Lamont (1981) ; (Soutter, 2007).....                                                                                                           | 10 |
| <b>Tableau 2.1</b> : Conduites testées lors des essais expérimentaux .....                                                                                                                         | 14 |
| <b>Tableau 2.2</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=86/90$ .....   | 27 |
| <b>Tableau 2.3</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=49/50$ .....   | 28 |
| <b>Tableau 2.4</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=60/63$ .....   | 29 |
| <b>Tableau 2.5</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=69/80$ .....   | 30 |
| <b>Tableau 2.6</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=77/80$ .....   | 31 |
| <b>Tableau 2.7</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=87/90$ .....   | 33 |
| <b>Tableau 2.8</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=121/125$ ..... | 34 |
| <b>Tableau 2.9</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=107/110$ ..... | 36 |
| <b>Tableau 2.10</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour $D=49/50$ .....  | 37 |

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 2.11 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour</b><br><i>D=56/60</i> .....   | 39 |
| <b>Tableau 2.12 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour</b><br><i>D=86/90</i> .....   | 40 |
| <b>Tableau 2.13 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour</b><br><i>D=124/130</i> ..... | 41 |
| <b>Tableau 2.14 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)Pour</b><br><i>D=130/140</i> ..... | 42 |
| <b>Tableau 2.15 : Valeurs utilisées pour les différents coefficients (Rugosité absolue, <math>C_{HW}</math> et <math>K_s</math>)</b> .....                                                                  | 25 |
| <b>Tableau 2.16 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 86/90</math></b> .....                                                                                                         | 43 |
| <b>Tableau 2.17 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 49/50</math></b> .....                                                                                                         | 44 |
| <b>Tableau 2.18 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 60/63</math></b> .....                                                                                                         | 45 |
| <b>Tableau 2.19 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 69/80</math></b> .....                                                                                                         | 46 |
| <b>Tableau 2.20 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 77/80</math></b> .....                                                                                                         | 47 |
| <b>Tableau 2.21 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 87/90</math></b> .....                                                                                                         | 48 |
| <b>Tableau 2.22 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 121/125</math></b> .....                                                                                                       | 49 |
| <b>Tableau 2.23 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 107/110</math></b> .....                                                                                                       | 51 |
| <b>Tableau 2.24 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 49/50</math></b> .....                                                                                                         | 52 |
| <b>Tableau 2.25 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 56/60</math></b> .....                                                                                                         | 53 |
| <b>Tableau 2.26 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 86/90</math></b> .....                                                                                                         | 54 |
| <b>Tableau 2.27 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 124/130</math></b> .....                                                                                                       | 55 |
| <b>Tableau 2.28 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour <math>D = 130/140</math></b> .....                                                                                                       | 56 |

## Listes des figures :

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 2.1</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=86/90$     | 18 |
| <b>Figure 2.3</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=49/50$     | 18 |
| <b>Figure 2.4</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=60/63$     | 19 |
| <b>Figure 2.5</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=69/80$     | 19 |
| <b>Figure 2.6</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=77/80$     | 20 |
| <b>Figure 2.7</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=87/90$     | 20 |
| <b>Figure 2.8</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=121/125$   | 21 |
| <b>Figure 2.9</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=107/110$   | 21 |
| <b>Figure 2.10</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=49/50$   | 22 |
| <b>Figure 2.11</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), WilliamsHazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=56/60$     | 22 |
| <b>Figure 2.12</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), WilliamsHazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=86/90$     | 23 |
| <b>Figure 2.13</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), WilliamsHazen(2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=124/130$   | 23 |
| <b>Figure 2.14</b> ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8) Pour $D=130/140$ | 24 |

## *Introduction générale*

Le calcul de l'écoulement dans les conduites circulaire en charge est fréquemment rencontre dans la pratique de l'hydraulicien.

L'écoulement en charge en conduite de forme circulaires est régit par cinq paramètre qui sont :

1-le débit volume  $Q$

2-le gradient de la perte de charge  $J$

3-le diamètre de la conduite  $D$

4-la rugosité absolue  $e$  caractérisant l'État de la paroi interne de la conduite considère et de la viscosité cinématique  $V$  du liquide en écoulement .dans le domaine de l'écoulement turbulent rugueux en conduite sous pression ; trois catégories de problème sont rencontres : le calcul du débit volume  $Q$ , le calcul du diamètre  $D$ , et le calcul du gradient  $J$  de la perte de charge.

L'objectif principale de cette étude est de proposer une approche comparative de résultat de volume du débit entre les valeurs des résultats théoriques qui sont calculées avec les formules utilisées pour évaluer les débits volumes de et les valeurs expérimentales qui sont données

A fin de répondre au mieux l'objectif de notre recherche nous avons subdivise notre mémoire en trois chapitres :

1-le premier chapitre est exclusivement réserve a un état des connaissances sur les formule anciens et modernes qui utiliser pour évaluer le volume du débit

-le deuxième chapitre qui sera réservé à l'élaboration d'une étude comparative des débits obtenus par le biais de certaines relations.

## Chapitre 1

### Généralités les écoulements en charge

#### 1.1-Introduction

Dans un premier temps ; ce chapitre définira les écoulements en charge dans les conduites circulaires on passera par la suite à connaître les caractéristiques hydrauliques d'une conduite circulaire ; dans le but essentiel d'en connaître les méthodes théoriques anciennes et modernes pour évaluer le volume de débit dans les conduites circulaires en sous-pression.

#### 1.2-Définition

##### 1.2-1- Ecoulement en charge

Les écoulements en charge sont des écoulements confinés à l'intérieur d'un contenant, en général une conduite. La pression à l'intérieur de ces écoulements peut être beaucoup plus élevée que la pression atmosphérique ou encore s'abaisser à des valeurs aussi faibles que la pression de vapeur saturante, même si la pression à l'intérieur de ce type d'écoulement peut atteindre la pression atmosphérique, en aucun cas nous considérerons la présence de surface libre dans cette catégorie d'écoulement.

##### 1-2-2-Régime d'écoulement

Le nombre de Reynolds permet de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent, dans le cas de la conduite circulaire, le nombre de *Reynolds* s'exprime par :

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (1.1)$$

Avec:

Pour une section circulaire:  $v = \frac{Q}{A}$  et  $A = \frac{\pi D^2}{4}$

Avec:

Q : Débit volume.....( $m^3/s$ )

---

$R_e$  : Nombre de Reynolds.

$V$  : Vitesse moyenne de l'écoulement.  $[\frac{m}{s}]$

$D$  : Diamètre intérieur de la conduite.  $[m]$

$\nu$  : Viscosité cinématique du fluide.  $[\frac{m^2}{s}]$

$A$  : Section de la conduite molle.  $[m^2]$

### **Remarque**

La viscosité varie avec la température. a  $T=15^\circ C$  ;  $\nu = 1.15 \cdot 10^{-6} m^2/s$ . Alors à  $T=20^\circ C$  ;  $\nu = 1.0 \cdot 10^{-6} m^2/s$ .

## **1-3- Formules utilisées pour l'évaluation du débit**

### **1-3-1 Formules et méthodes anciennes**

#### **1-3-1-1-formule de chezy**

La formule de Chézy est probablement la première formule destinée au calcul de l'écoulement uniforme. La vitesse moyenne  $V$  s'exprime par :

$$V = C \sqrt{Rh \cdot J} \dots\dots\dots (1.2)$$

Le débit volume s'exprime par la relation suivant :

$$Q = C \sqrt{Rh \cdot J} \cdot A \dots\dots\dots (1.3)$$

Rappelons que  $Rh$  est le rayon hydraulique,  $J$  est la pente de la ligne de charge totale ou gradient de la perte de charge ( $J$  étant également la pente  $i$  du canal pour le cas d'un écoulement à surface libre) et  $A$  : c'est section de la conduite.

$C$  c'est le facteur caractérisant la résistance de l'écoulement. Le facteur  $C$  est habituellement appelé coefficient de *Chézy*.

Comme l'exige la relation (1.2) , le coefficient  $C$  de *Chézy* doit avoir pour unité  $[L^{1/2}T^{-1}]$  plusieurs relations on été proposées pour le calcul du coefficient  $C$  et nous verrons dans ce qui suit les plus importantes d'entre elles.

*Gauckler-Kutter (1869)* exprime le coefficient  $C$  de *Chézy* en fonction du gradient de la perte de charge  $J$ , du rayon hydraulique  $Rh$  et de la rugosité réelle a été élaborée à partir de mesures expérimentales effectuées sur divers types des canaux et rivières naturelles :

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{J}) \frac{n}{\sqrt{Rh}}} \dots\dots\dots(1.3)$$

Le coefficient  $n$  de la relation (1.3) est connue sous le nom de ‘coefficient  $n$  de *Kutter*’.

*Bazin (1897)* considère que la valeur du coefficient  $C$  de *Chézy* dépend du rayon hydraulique  $Rh$  mais ne dépend pas le gradient  $J$ . le coefficient  $C$  peut alors être déterminé par la relation :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{Rh}}} \dots\dots\dots(1.4)$$

$m$  est le coefficient dépendant de la nature du matériau constituant le canal considéré et dont les valeurs sont tabulées.

*Powell (1950)* propose une relation de type logarithmique pour le calcul du coefficient  $C$  de *Chézy* mais elle se présente sous une forme implicite :

$$C = -23,2 \log \left( \frac{1.811c}{R} + \frac{\varepsilon}{Rh} \right) \dots\dots\dots(1.5)$$

‘Log’ désigne le logarithme décimal.  $R$  le nombre de Reynolds,  $\varepsilon$  est la rugosité absolue de la paroi du canal. A l’origine la formule de *Powell* a été présentée en unité anglaise et les constantes figurant dans la relation (1.5) sont alors différentes et beaucoup plus simple :

$$C = -42 \log \log \left( \frac{c}{4R} + \frac{\varepsilon}{Rh} \right) \dots\dots\dots(1.6)$$

Pour le cas des canaux rugueux l’écoulement est en générale turbulent correspondant aux valeurs du nombre de Reynolds importantes, donc le terme  $\frac{c}{4R} \longrightarrow 0$ . La relation (1.6) devient  $C = -42 \log \left( \frac{\varepsilon}{Rh} \right)$ .

Par contre pour les canaux lisses. L’effet de la rugosité est tellement faible que la relation (1.6) peut s’écrire :

$$C = -42 \log \left( \frac{c}{Rh} \right) .$$

**1-3-1-2-Formule de Manning- Strickler**

La vitesse moyenne  $V$  de l'écoulement uniforme peut être également évaluée par la formule dite de *Manning* (1891). La vitesse  $V$  est liée au coefficient  $C$  de résistance de l'écoulement, au rayon hydraulique  $R_h$  et à la pente  $J$  du canal. A l'origine, la formule de *Manning – Strickler* se présentait sous une forme compliquée, puis elle a été simplifiée pour s'écrire, avec  $C = k$  :

$$V = k R_h^{2/3} \sqrt{J} \quad (1.7)$$

La relation (1.7) a été ensuite modifiée par plusieurs auteurs pour s'écrire, en unité métrique :

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{J} \quad (1.8)$$

( $n$  selon *Manning* et  $1/n = k$  selon *Strickler*) :

La conversion en unité anglaise de la relation (1.7) donne :

$$V = \frac{1,486}{n} R_h^{2/3} \sqrt{J} \quad (1.9)$$

Puis a été présentée sous la forme :

$$Q = k R_h^{2/3} \sqrt{J} A \quad (1.10)$$

A: Aire d'une section mouillée.

Dans cette conversion, la valeur numérique du coefficient de rugosité  $n$  reste inchangée et la même valeur est utilisée dans les deux systèmes d'unité. Comme l'exige la forme de la relation (1.7), le coefficient  $n$  doit avoir pour dimension  $[TL^{-1/3}]$ . Cependant, il paraît physiquement injustifié que la dimension de temps  $T$  puisse intervenir dans l'unité d'une rugosité puisqu'elle ne devrait dépendre que de la nature du matériau constituant les parois du canal considéré. Pour cette raison, certains auteurs énoncent que le numérateur de la relation (A) devrait contenir le terme  $g$ , où  $g$  est l'accélération de la pesanteur, rugosité  $n$  pouvait s'écrire :

$$n = [\phi(R_h/\epsilon)] \epsilon^{1/6} \quad (1.11)$$

où  $\epsilon$  est la rugosité absolue. Si la fonction  $\phi(R_h/\epsilon)$  doit être considérée comme étant adimensionnelle, le coefficient de rugosité  $n$  doit alors avoir la même dimension que  $\epsilon^{1/6}$  c'est à dire  $[L^{1/6}]$ . *Hager* (1989) a pu montrer que la rugosité absolue  $\epsilon$  et le coefficient  $k$  de Strickler est liée par la relation :

$$\frac{k\varepsilon^{1/6}}{8,2\sqrt{g}} = 1 \quad (1.12)$$

D'autre part, il est également possible d'admettre que le terme  $1,486/n$  figurant dans la relation (1.9) puisse contenir de manière implicite la dimension  $[L^{1/3}T^{-1}]$ , ou que  $\phi(Rh/\varepsilon)$  contienne un facteur ayant une dimension. Ceci rendrait alors le coefficient  $n$  adimensionnel.

Sous cette dernière condition, la conversion en unité anglaise conduit à la constante  $(3,2808)^{1/3} = 1,486$ , puisque  $1\text{m} = 3,2808\text{ ft}$ .

Si l'on considère que la dimension de  $n$  est  $[L^{1/6}]$ , sa valeur numérique en unité anglaise doit être différente de sa valeur en unité métrique, à moins de tenir compte d'un facteur de correction ou de compensation.

L'application de la formule de *Manning – Strickler*, comme celle d'ailleurs de *Gauckler – Kutter* est tributaire de la valeur du coefficient  $n$ . Il n'existe aucune méthode exacte qui permet d'évaluer  $n$ . Évaluer  $n$  revient à estimer la résistance de l'écoulement dans un canal donné, ce qui nécessite beaucoup d'expérience et de pratique. En se référant à la bibliographie, plusieurs auteurs concluent que pour estimer  $n$  les étapes suivantes sont nécessaires :

1. Recenser puis apprécier l'influence des paramètres pouvant affecter le coefficient  $n$ , tels que la présence de végétation dans le canal, la dimension moyenne des grains du matériaux constituant les parois du canal, l'irrégularité du canal due à la présence de courbures ou de variation même réduite de la section transversale de l'écoulement, etc...
2. Consulter les tables de valeurs de  $n$  déjà évalué pour des canaux de différents types.
3. Examiner et s'informer de l'état physique caractérisant des canaux existants et dont la valeur de  $n$  a déjà été déterminée.
4. Déterminer la valeur de  $n$  par une approche analytique basée sur la répartition théorique de la vitesse dans les sections transversales de l'écoulement.

### 1-3-1-3 : Formule de colébrook

Si le débit volume  $Q$  est inconnu, ce type de problème consiste à évaluer le débit  $Q$  tel que  $Q = f(D, J, \varepsilon, n)$ . Ce problème trouve sa solution de manière explicite par la combinaison des relations de *Colébrook- White*, et de *Darcy-Weisbach* et ce, quelle que soit la nature du régime d'écoulement.

1-La formule du gradient de la perte de charge :

$$J = \frac{8\lambda Q^2}{g D^5 \pi^2} \dots\dots\dots (1.13)$$

Nous pouvons déduire de la relation (1.13) que le débit  $Q$  :

$$Q = \sqrt{\frac{g D^5 \pi^2}{8 \lambda j}} \dots \dots \dots (1.14)$$

Avec :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D_h}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) ; R > 2300 \dots \dots \dots (1.15)$$

Et :

$$Re = \frac{4Q}{\pi D v} \dots \dots \dots (1.16)$$

Dans le cas où le régime d'écoulement est de transition, le coefficient de frottement dépend à la fois de la rugosité relative  $\varepsilon/D_h$  et du nombre de *Reynolds*  $R$ . La représentation graphique de la relation (1.15) dans un système d'axes de coordonnées à divisions logarithmiques montre que, pour la même valeur de  $\varepsilon/D_h$ , le coefficient de frottement  $f$  diminue lorsque  $R$  augmente. Pour des valeurs données de  $\varepsilon/D_h$  et de  $R$ , l'évaluation du coefficient de frottement  $f$ , par application de la relation (1.15), nécessite un procédé itératif.

Pour l'évaluation du débit, Colebrook-white et *Prandtl-Colebrook* proposent la relation (1.17) :

$$Q = -2 \sqrt{8g} \sqrt{R_h J} A \cdot \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51 \vartheta}{D \cdot \sqrt{8g} \sqrt{R_h J}} \right) \dots \dots \dots (1.17)$$

Avec :

- Q : débit volume ( $m^3/s$ )
- $\lambda$  : Coefficient de frottement
- D : Diamètre d un profil circulaire (m)
- $g$  : Accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )
- $R_h$  : Rayon hydraulique (m)
- $\frac{\varepsilon}{D}$  : Rugosité relative
- $v$ : viscosité cinématique ( $m^2/s$ )

### 1-3-2-Relations modernes

Parmi les relations modernes donnant le débit volume véhiculé par une conduite circulaire en charge les relations de *Hager (1987)* et *Achour-Bedjaoui (2006)*.

#### 1-3-2-1- Relation de HAGER

En 1987, *Hager* transforme le système d'équations de base ( relations de *Colebrook-white* et de *darcy* et de *Reynolds*), régissant l'écoulement turbulent en conduite sous pression, en une relation unique permettant le calcul explicite du débit volume  $Q$  à partir des valeurs connues du diamètre  $D$  de la conduite, du gradient  $J$  de la perte de charge linéaire, de la rugosité absolue  $\varepsilon$  et de la viscosité cinématique  $\nu$  du liquide en écoulement.

Cette transformation a été rendue possible par la combinaison, dans un premier temps, des relations de *Colebrook-white* et de *darcy* ce qui a permis d'écrire que :

$$\sqrt{f} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{\sqrt{gJD^5}}{Q} \quad (1.18)$$

et la relation de *Colebrook-white* s'écrit :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (1.19)$$

En introduisant la relation (1.18) dans la relation (1.19), nous pouvons écrire que :

$$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{R \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{\sqrt{gJD^5}}{Q}} \right)$$

Après simplifications et réarrangements, la relation précédente s'écrit plus simplement :

$$\frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51 \times 2 \times \sqrt{2}}{\pi R} \frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} \right) \quad (1.20)$$

Dans un second temps, la relation (1.16), exprimant le nombre de *Reynolds*  $R$ , est insérée dans la relation (1.20). Nous obtenons :

$$\frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51 \times 2 \times \sqrt{2}}{\pi \frac{4Q}{\pi D \nu}} \frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} \right)$$

Soit, après simplifications et réarrangements :

$$\frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{\sqrt{2}} \frac{v}{\sqrt{gJD^3}}\right) \quad (1.21)$$

La quantité sans dimension  $\frac{Q}{\sqrt{gJD^5}}$  est désignée par  $q$ , soit :

$$q = \frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} \quad (1.22)$$

Tandis que la quantité sans dimension  $\frac{\sqrt{gJD^3}}{v}$  est désignée par  $N$ , soit :

$$N = \frac{\sqrt{gJD^3}}{v} \quad (1.23)$$

Ce qui donne :

$$q = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{\sqrt{2}}\right) \quad (1.24)$$

La relation (1.24) est une simplification de la relation de *Colebrook-white* et proposée par *Hager (1987)* pour résoudre le problème de détermination du débit volume  $Q$  connaissant le diamètre  $D$  de la conduite et le gradient unitaire  $J$ .

### 1-3-2-2 Relation de Williams –Hazen(1920)

Une autre expression de pertes de charge fréquemment utilisée, en particulier en *Amérique du Nord*, est la formule de *Hazen –Williams* , qui est une relation empirique utilisée en hydraulique pour calculer les pertes de charge dues à la rugosité des conduites. À la différence de la formule de Poiseuille, limitée aux écoulements à très faible vitesse dans des conduites de petit diamètre, elle permet de décrire les écoulements turbulents de l'eau avec une relative précision. Elle est définie en unités SI par l'expression suivante :

$$h_L = \frac{C_f L}{C_{HW}^{1,852} D^{4,87}} Q^{1,852} \quad (1.25)$$

De cette relation, nous trouvons que le débit est:

$$Q = \left( \frac{h_L * C_{HW}^{1,852} * D^{4,87}}{C_f L} \right)^{0,54} \quad (1.26)$$

Avec :

- $h_L$ : perte de charge due au frottement (m) ;
- $L$ : Longueur de la conduite (m) ;

- $C_{HW}$ : CHW est le coefficient de rugosité de Hazen-Williams du matériau constituant la conduite, nombre sans dimension dont quelques valeurs sont données dans les tableaux 1-1, 1-2.
- $D$ : diamètre de la conduite (m) ;
- $Q$  : débit véhiculé par cette conduite ( $m^3/s$ ) ;
- $C_f$ : facteur de conversion d'unité (10.7 SI).

Au lieu d'utiliser un coefficient de frottement comme les autres relations, la formule de *Hazen-Williams* beaucoup utilisée aux USA , elle emploie un facteur de capacité de transport de la conduite ( $C_{HW}$ ), des valeurs de  $C_{HW}$  plus élevées représentent des conduites plus lisses (avec des capacités de charge plus élevées) et les valeurs de  $C_{HW}$  inférieures décrivent des conduites plus rugueuses.

**Tableau 1.1** : Valeurs de  $C_{hw}$  de Williams-Hazen (Wikipédia, 2013)

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

**Tableau 1-2** : Coefficient de Hazen Williams, Lamont (1981) ; (Soutter, 2007)

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

L'équation (1.26) peut s'écrire sous une forme plus simple pour exprimer le débit volume  $Q$  :

$$Q = 0.849 C_{HW} A R_h^{0.63} J^{0.54} \quad (1.27)$$

Où :

$R_h$  : Rayon hydraulique ( $R_h = D/4$  pour le cas de la conduite circulaire en charge), (m).

### 1-3-2-3 Relation de Achour –Bedjaoui

L'expression du débit volume  $Q$  écoulé par une conduite sous pression a été déterminée après avoir transformé et combiné les relations de *Darcy*, *Colebrook-white* et du nombre de *Reynolds* proposées pour le modèle rugueux de référence et de la conduite réelle. Les relations proposées par *Achour et Bedjaoui (2006)* pour le calcul du débit volume sont :

soit :

$$Q = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \sqrt{g J D^5} \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{10.04}{R}\right) \quad (1.28)$$

En termes adimensionnels, la relation (1.28) peut être écrite sous la forme :

$$\frac{Q}{\sqrt{g J D^5}} = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{10.04}{R}\right) \quad (1.29)$$

Or, la quantité  $\frac{Q}{\sqrt{g J D^5}}$  figurant dans la relation (1.29) est, par définition, la conductivité relative  $q$  de la conduite désignée par *Hager* par  $q$ . Par suite, la relation (1.29) s'écrit :

$$q = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{10.04}{R}\right) \quad (1.30)$$

*Achour –Bedjaoui (2006)* et en partant des relations de *Darcy* et de *Colebrook-white* proposent également une autre relation très intéressante pour le calcul du débit et qui est donnée sous la forme :

$$Q = -4\sqrt{2g}\sqrt{R_h J} A \cdot \text{Log}\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{10.04}{R}\right) \quad (1.31)$$

Avec :

$R_h$  : Rayon hydraulique (m) ;

$J$  : Gradient de la Petre de charge unitaire :

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

$\varepsilon$  : Rugosité absolue de la paroi interne de la conduite (m) :

$\nu$  : viscosité cinématique du liquide (m/s<sup>2</sup>)

$\bar{R}$  : Nombre de Reynolds de la conduite de référence donné par

$$\bar{R} = 2R \left[ -\log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,5}{\bar{R}^{0,9}} \right) \right]^{-1} \quad (1.32)$$

La relation (1.31) est valable pour les écoulements en charge ( $Rh=D/4$ ) ou bien à surface libre

### 1-4 Conclusion

Le présent chapitre a eu pour objectif de passer en revue sur les principales notions sur l'écoulement en charge et d'exposer les principales relations déterminant le débit volume en fonction des paramètres de l'écoulement qui sont le diamètre géométrique de la conduite, le gradient hydraulique  $J$ , la rugosité absolue  $\varepsilon$  de la paroi interne de la conduite et la viscosité cinématique  $\nu$  du liquide.

La majorité des relations citées dans ce chapitre sont à caractère empirique où en signalant que certaines d'entre elles ont un aspect itératif notamment la relation la plus universelle celle de *Colebrook-white* exigée lors de l'évaluation du coefficient de frottement ce dernier nécessaire pour déterminer le débit une fois le gradient hydraulique  $J$  est connu.

Le calcul du débit volume  $Q$  peut se faire en application de la relation de *Williams-Hazen* et qui présente un avantage dû à son aspect explicite où le coefficient de frottement ne présente aucun obstacle mais l'inconvénient de l'utilisation de cette relation est lié au choix du coefficient de  $C_{HW}$  où plusieurs auteurs préconisent des valeurs différentes pour un même matériau.

La relation de *Achour-Bedjaoui* reste une très bonne solution pour l'évaluation du débit vu qu'elle est issue d'un raisonnement théorique, elle est explicite et utilise la rugosité absolue de la paroi interne de la conduite  $\varepsilon$  facilement connue en présence d'un rugosimètre.

Le chapitre suivant sera consacré à étude comparative pour l'évaluation du débit volume  $Q$  en application des relations de *Colébrook*, *Williams-Hazen*, *Hager*, *Manning-Strickler* et de *Achour-Bedjaoui*

.

## **Chapitre 2**

### **Etude comparative pour le calcul du debit volume**

#### **2-1 Introduction**

Le présent chapitre sera consacré à une étude comparative pour l'évaluation de debit volume  $Q$  en application d'anciennes et modernes relations et qui sont les relations de *Darcy-Weisbach* ; *Achour-Bedjaoui*, *Williams-Hazen* et pour le calcul du coefficient de frottement  $f$  il sera bien utile d'utiliser les relations de *Colebrook-white* (1939) malgré son aspect itératif et *de Achour-Bedjaoui* (2006).

Les résultats obtenus sur le calcul du debit par ces quatre relations seront comparés à ceux obtenus par essais expérimentaux.

Les données utilisées sont celles issues d'essais expérimentaux ayant concernés 13 conduites circulaires de diamètre respectif: 49/50, 49/60, 60/63, 69/80, 77/80, 87/90, 49/50, 56/60, 121/125, 107/110, 124/130, 130/146 mm. Chacune de ces conduites a fait l'objet d'essais dans une large gamme des débits volumes  $Q$ . Pour chaque débit obtenu par manipulation de la vanne de réglage la perte de charge linéaire  $\Delta h$  a été déterminée par lecture sur le tableau manométrique du protocole expérimental.

#### **2-2 Protocole et données expérimentales**

Les gammes des débits testés ont fait l'objet d'une analyse visant à définir la nature du régime d'écoulement dans les conduites testées.

Selon les possibilités expérimentales, dépendantes fortement des débits fournis par la pompe et des diamètres des conduites, les régimes d'écoulement turbulent rugueux, de transition et pratiquement lisse ont été obtenus et répartis comme c'est indiqué dans le tableau .1:

Tableau 2.1 : Conduites testées lors des essais expérimentaux

| N° | Diamètre<br>D (mm) | Nature de la Conduite | Débit Q (l/s)                                       | Régime observé                         |
|----|--------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 01 | 49/60              | Plexiglas             | $4.04 \leq Q \leq 12,33$                            | Pratiquement lisse                     |
| 02 | 69/ 80             | Plexiglas             | $3.73 \leq Q \leq 22.63$                            | Pratiquement lisse                     |
| 03 | 60/ 63             | PVC                   | $3.73 \leq Q \leq 13.74$                            | Pratiquement lisse                     |
| 04 | 77/ 80             | PVC                   | $6.15 \leq Q \leq 21.26$                            | Pratiquement lisse                     |
| 05 | 107/110            | PVC                   | $9.41 \leq Q \leq 34.09$                            | Pratiquement lisse                     |
| 06 | 121/125            | PVC                   | $15.11 \leq Q \leq 43.65$                           | Pratiquement lisse                     |
| 07 | 86 /90             | Acier                 | $7.55 \leq Q \leq 24.74$                            | turbulent rugueux                      |
| 08 | 49/50              | Aluminium             | $1.72 \leq Q \leq 8.88$                             | turbulent rugueux                      |
| 09 | 49/50              | Acier Galvanisé       | $1.72 \leq Q \leq 7,77$                             | turbulent rugueux                      |
| 10 | 56/60              | Acier Galvanisé       | $1.78 \leq Q \leq 6,22$<br>$6,22 \leq Q \leq 12,44$ | Reg de Transition<br>turbulent rugueux |
| 11 | 124/130            | PVC                   | $19.55 \leq Q \leq 40.69$                           | Turbulent rugueux                      |
| 12 | 130/140            | PVC                   | $13.78 \leq Q \leq 43.95$                           | Transition                             |

Nous pouvons observer que:

1. Les débits ont pu être variés, pour l'ensemble des régimes d'écoulement (turbulent rugueux, de transition et pratiquement lisse) dans la gamme suffisante  $1.72 \text{ l/s} \leq Q \leq 43.95 \text{ l/s}$ .
2. Le régime d'écoulement de transition a pu être observé dans la conduite de diamètre D = 130/140 mm, dans la gamme relativement réduite  $13.78 \leq Q \leq 43.95 \text{ l/s}$ .
3. Le régime d'écoulement turbulent rugueux a pu être observé dans les conduites de diamètres 49/50 (acier), 56/63, 49/50 (galvanisé), 87/90, 124/130, dans la gamme largement suffisante  $1.72 \text{ l/s} \leq Q \leq 43.95 \text{ l/s}$ .
4. Le régime d'écoulement pratiquement lisse a pu être observé dans les conduites de diamètre D=49/60, 69/80, 60/63, 77/80, 107/110, 121/125 (mm), et dans la gamme acceptable  $3.73 \text{ l/s} \leq Q \leq 43.65 \text{ l/s}$ .
5. Les résultats qui pourraient résulter des faibles débits tel que  $Q = (1,72 \text{ à } 3.73) \text{ l/s}$  ne sont pas du tout significatifs compte tenu de l'erreur absolue du débitmètre à diaphragme utilisé. Cette

erreur, étant de l'ordre de 0.5 l/s, la mesure d'un débit  $Q = 3.7328$  occasionne par conséquent une erreur relative significative de 13.40 %.

Les résultats qui pourraient résulter des faibles débits tel que  $Q = 1.72$  l/s ne sont pas du tout significatifs compte tenu de l'erreur absolue du débitmètre à diaphragme utilisé. Cette erreur étant de l'ordre de 0.5 l/s, la mesure d'un débit  $Q = 3.7328$  l/s occasionne par conséquent une erreur relative significative de 13.40 %. Les données utilisées sont regroupées dans les tableaux : 2.2, 3.3 jusqu'à 2.13 en annexes.

## **2-2 Résultats obtenus**

Les débits volumes sont calculés pour chaque conduite et pour les valeurs connues de gradient hydraulique  $J$ , du diamètre  $D$ , de la rugosité de la conduite et la viscosité cinématique du liquide (eau), et cela par quatre relations celles de *Colébrook*, La relation de *Williams-Hazen*, La relation de *Manning-Strickler* et de *Achour-Bedjaoui*.

Rappelons que les relations utilisées pour le calcul des débits sont :

### **1- La relation de Colebrook-white et Prandtl-Colebrook**

Cette relation est donnée par:

$$Q = -2\sqrt{8g}\sqrt{R_h}JA. \text{Log} \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51\nu}{D\sqrt{8g}\sqrt{R_hJ}} \right) \dots\dots\dots(2.1)$$

Avec :

$Q$  : débit volume ( $m^3/s$ )

$\lambda$  : Coefficient de frottement

$D$  : Diamètre d un profil circulaire (m)

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

$R_h$  : Rayon hydraulique (m)

$\frac{\varepsilon}{D}$  : Rugosité relative

$\nu$ : viscosité cinématique ( $m^2/s$ )

**2- La relation de Hager**

Dont le calcul des paramètres adimensionnels est obligatoire pour N et q et qui sont données par :

Les quantités sans dimension  $q = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{\sqrt{2}} \right)$  et  $N = \frac{\sqrt{gJD^3}}{v}$

Ce qui donne :

$$Q = q \sqrt{gJD^5} \quad (2.2)$$

La relation (2.2) exige que les paramètres D, J et e soient connus.

**3- La relation de Manning-Strickler**

La forme la plus simple de la relation de *Manning-Strickler* est :

$$Q = k Rh^{2/3} \sqrt{J} A \quad (2.3)$$

A: Aire d une section mouille.

Rh : Rayon hydraulique ( $Rh=D/4$  pour le cas de la conduite circulaire en charge), (m).

K : Coefficient de Manning-Strickler

J : Gradient Hydraulique

Q : Debit volume

**4- La relation de Williams-Hazen**

La relation (2.3) représente la forme la plus simple exprimant le débit volume par la relation de Williams-Hazen

$$Q = 0.849 C_{HW} A R_h^{0.63} J^{0.54} \quad (2.4)$$

Où :

Rh : Rayon hydraulique ( $Rh=D/4$  pour le cas de la conduite circulaire en charge), (m).

---

### 5- La relation de Achour-Bedjaoui

L' expression du débit volume  $Q$  écoulé par une conduite sous pression a été déterminée après avoir transformé et combiné les relations de *Darcy*, *Colebrook-white* et du nombre de *Reynolds* proposées pour le modèle rugueux de référence et de la conduite réelle .Les relations proposées par *Achour et Bedjaoui (2006)* pour le calcul du débit volume sont :

soit :

$$Q = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \sqrt{gJD^5} \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right) \quad (2.5)$$

En termes adimensionnels, la relation (1.28) peut être écrite sous la forme :

$$\frac{Q}{\sqrt{gJD^5}} = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right) \quad (2.6)$$

Or, la quantité  $\frac{Q}{\sqrt{gJD^5}}$  figurant dans la relation (1.29) est, par définition, la conductivité relative  $q$  de la conduite désignée par Hager par  $q$ . Par suite, la relation (1.29) s'écrit :

$$q = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right) \quad (2.7)$$

*Achour –Bedjaoui (2006)* et en partant des relations de *Darcy* et de *Colebrook-white* proposent également une autre relation très intéressante pour le calcul du débit et qui est donnée sous la forme :

$$Q = -4\sqrt{2g}\sqrt{R_h J} A. \text{Log} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right) \quad (2.8)$$

Avec :

$R_h$  : Rayon hydraulique (m) ;

$J$  : Gradient de la Petre de charge unitaire :

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

$\varepsilon$  : Rugosité absolue de la paroi interne de la conduite (m) :

$\nu$  : viscosité cinématique du liquide ( $m/s^2$ )

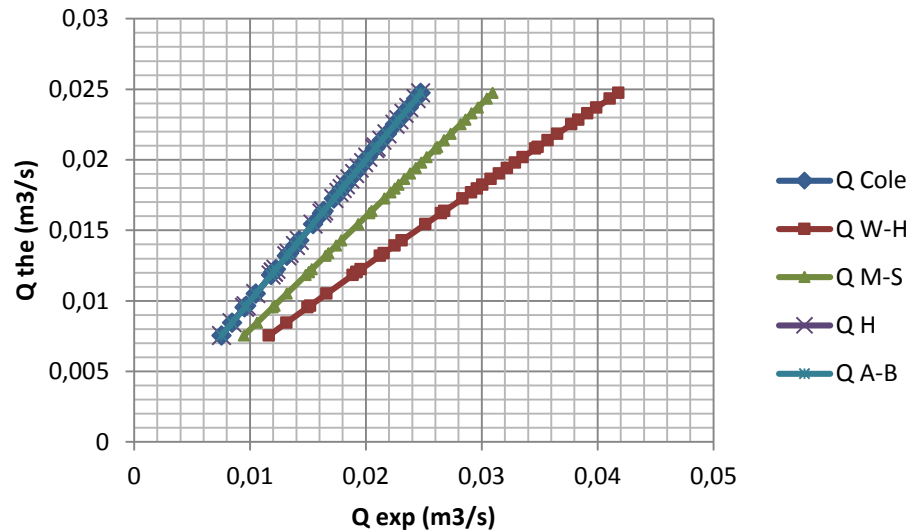
$\bar{R}$  : Nombre de Reynolds de la conduite de référence donné par

$$\bar{R} = 2R[-\log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,5}{\bar{R}^{0,9}} \right)]^{-1} \quad (2.9)$$

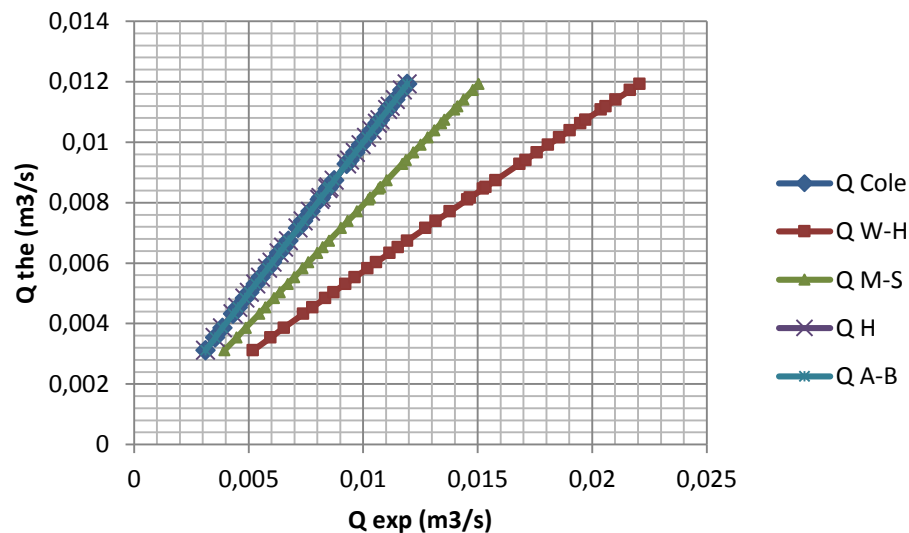
La relation (2.8) est valable pour les écoulements en charge ( $Rh=D/4$ ) ou bien à surface libre

Les résultats de calcul sont portés dans les tableaux 2.2, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,11 et 14 en annexes et cela pour chaque diamètre.

Les tableaux en annexes sont représentés graphiquement par les figures 2.1, 2, 3, 4,5, 6, 7, 8, 9, 10, 11et 2.12.

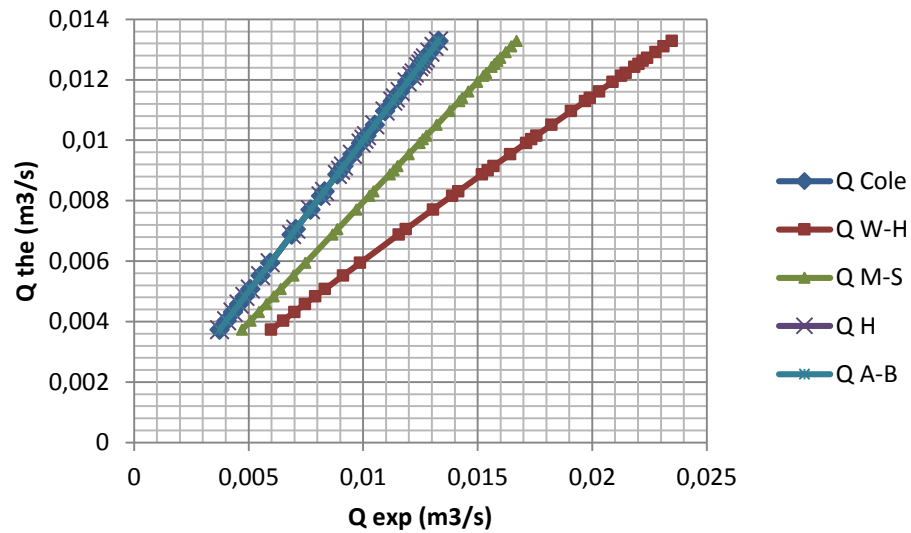


**Figure 2.1 :** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=86/90$

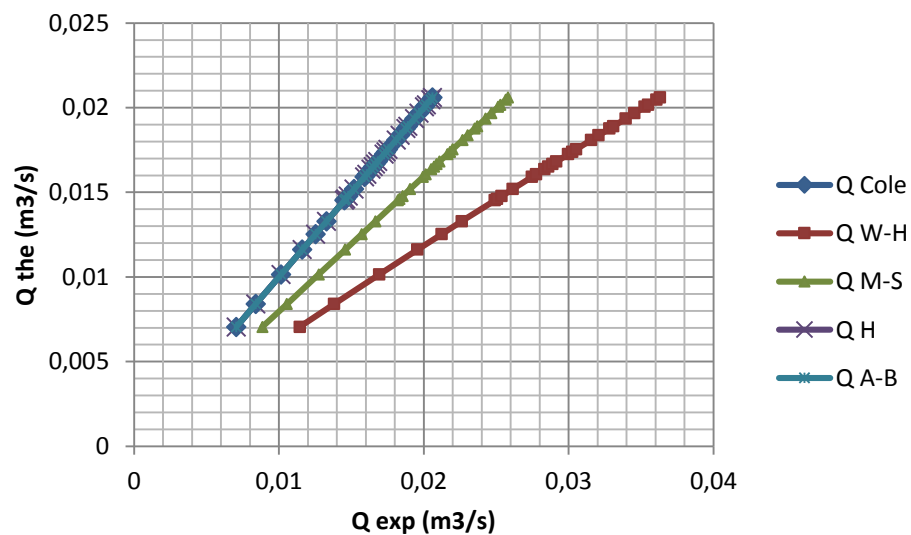


**Figure 2.3 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)

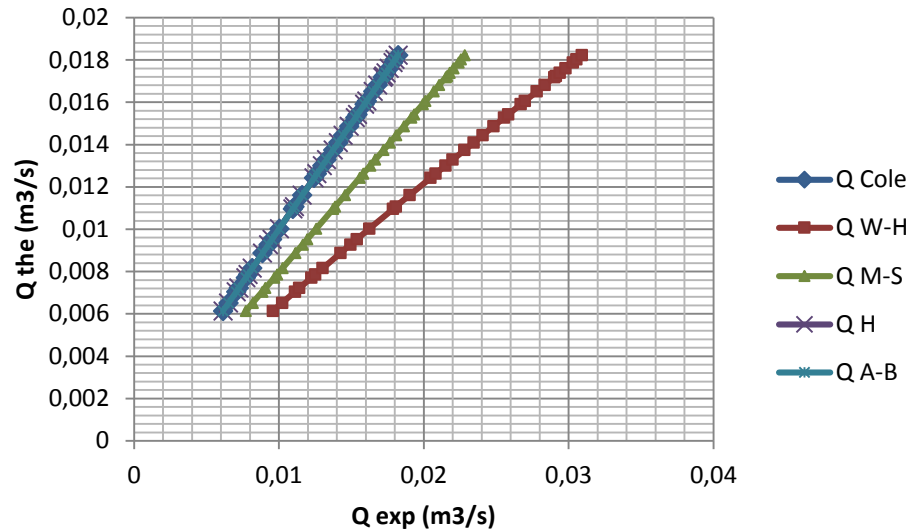
Pour  $D=49/50$



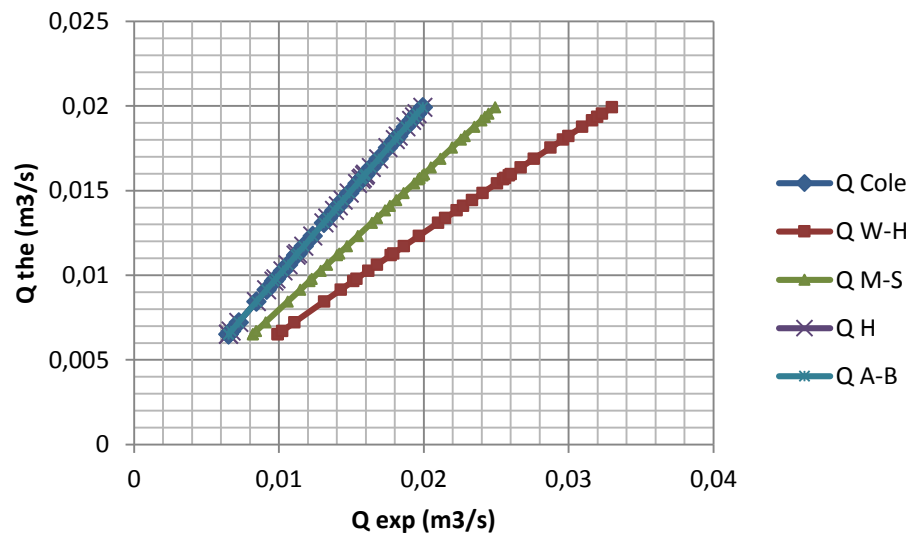
**Figure 2.4** ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3), Manning-Strickler (2.4), Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=60/63$



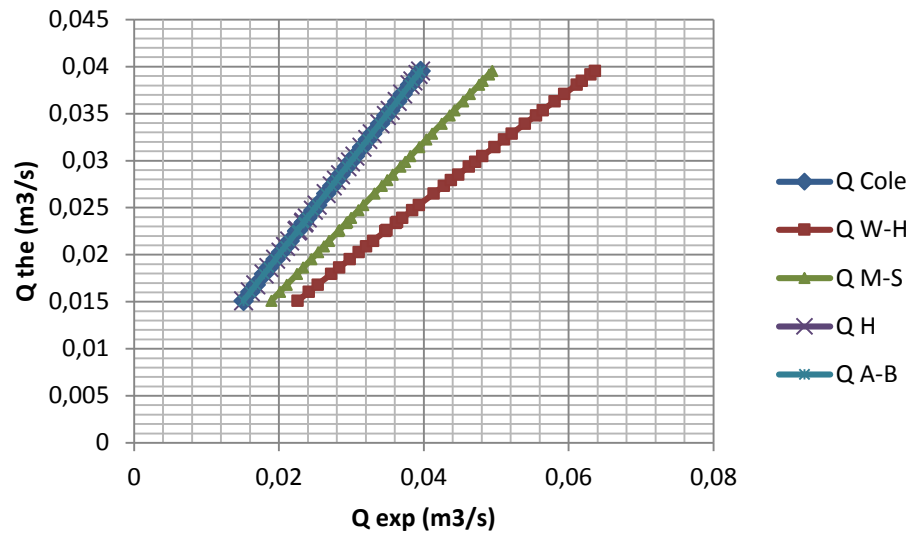
**Figure 2.5** ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3), Manning-Strickler (2.4), Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=69/80$



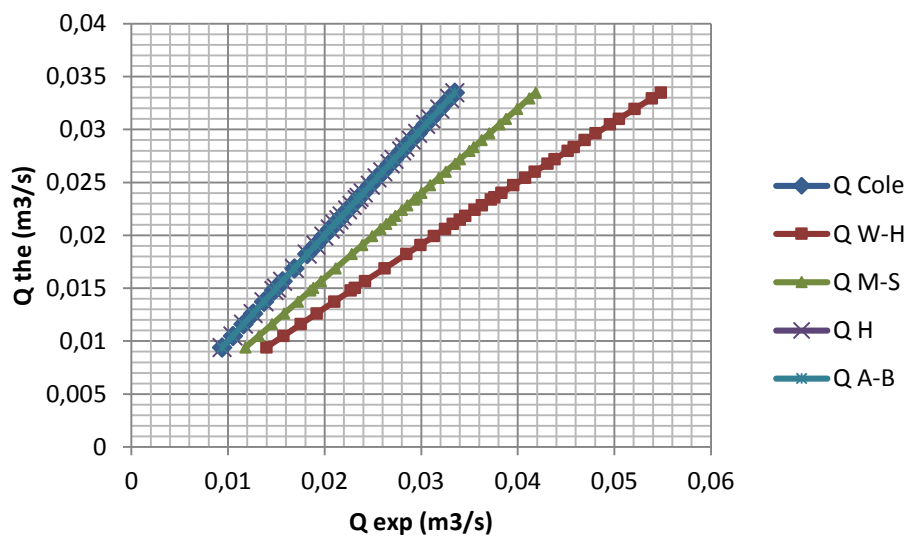
**Figure 2.6 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3), Manning-Strickler (2.4), Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=77/80$



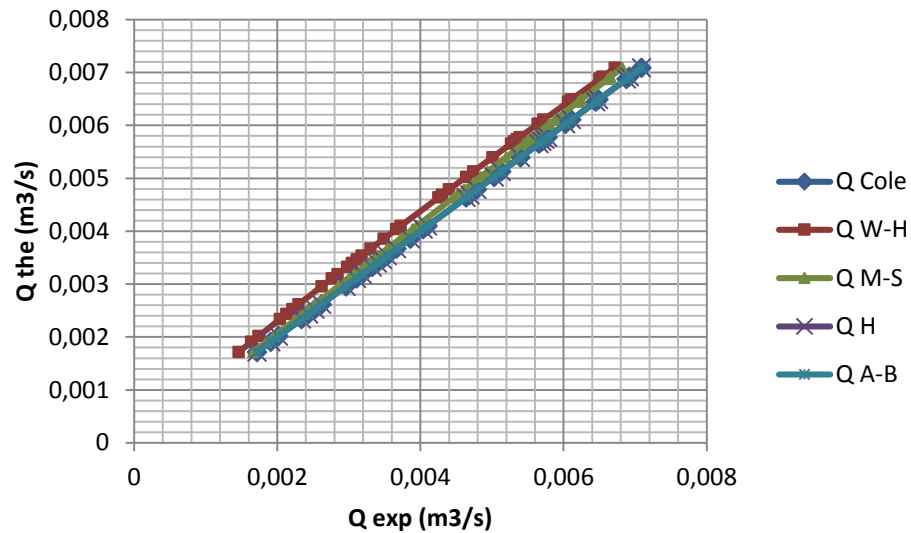
**Figure 2.7 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3), Manning-Strickler (2.4), Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=87/90$



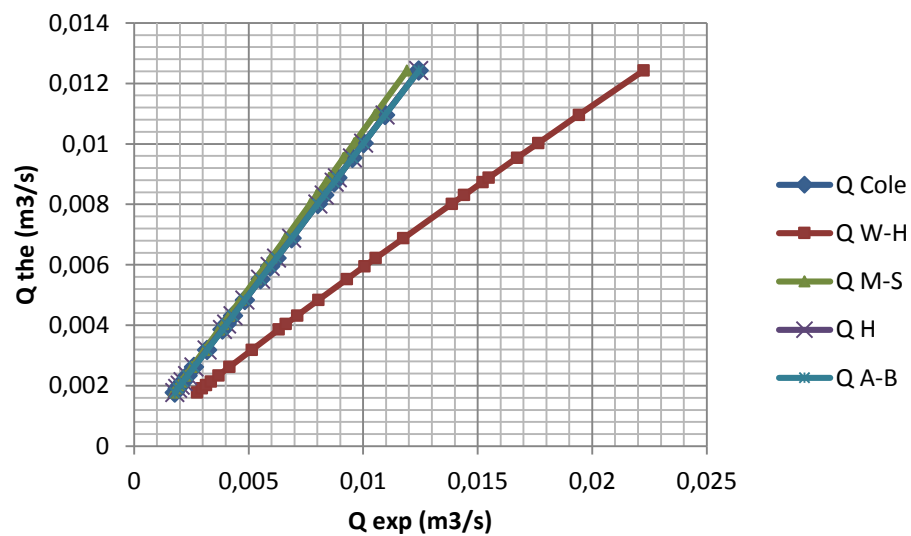
**Figure 2.8 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3), Manning-Strickler (2.4), Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=121/125$



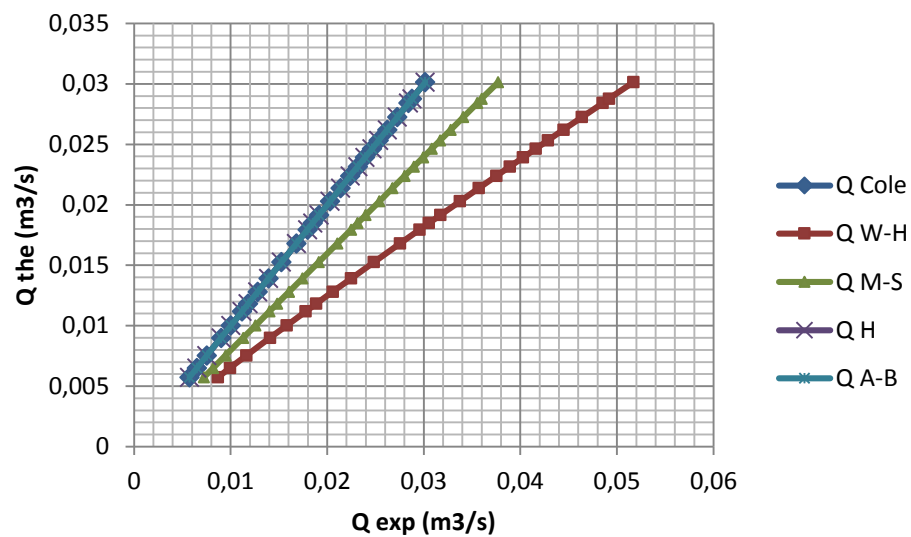
**Figure 2.9 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3), Manning-Strickler (2.4), Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=107/110$



**Figure 2.10** ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=49/50$

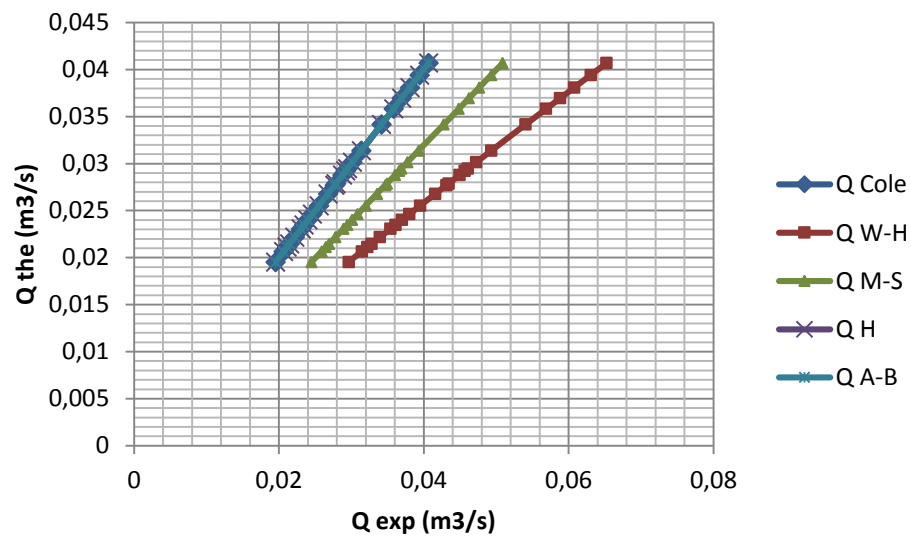


**Figure 2.11** ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=56/60$



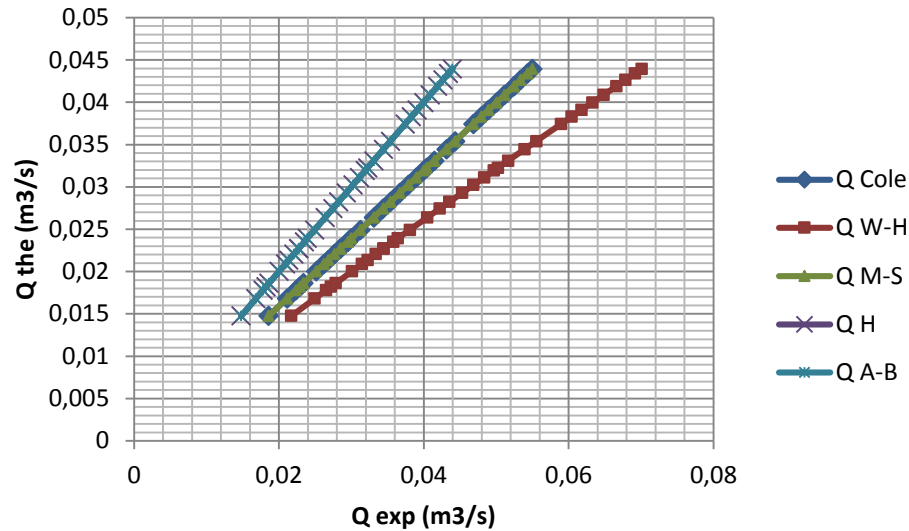
**Figure 2.12 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)

Pour  $D=86/90$



**Figure 2.13 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)

Pour  $D=124/130$



**Figure 2.14 ;** Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=130/140$

### 2.3 Discussion des résultats

D'après les résultats obtenus .nous remarquons que les écarts sur le calcul des débits en utilisant les cinq relations sont réduits par rapport à la relation de *Colebrook-white* , *Hager*, *Manning-Strickler* et *Achour. et al* (2006) en se référant aux valeurs des débits expérimentaux mais d'une importance pour la relations de *Williams-Hazen* cet écart est due au mauvais choix du coefficient de *Williams-Hazen*  $C_{HW}$  où l'écart peut atteindre **98 %** qui est une valeur très importante quoi que ces relation s'appliquent pour les régimes turbulents rugueux.

Nous remarquons que les écarts se resserrent et s'approchent pour les valeurs des débits obtenus par les relations *Colebrook-white* , *Hager*, *Manning-Strickler* et *Achour. et al* (2006)

**Tableau 2.15 : Valeurs utilisées pour les différents coefficients (Rugosité absolue,  $C_{HW}$  et  $K_s$ )**

| Nature de la Conduite | Rugosité de la Conduite $\varepsilon$ (mm) | Coefficient de <i>Williams-Hazen</i> $C_{HW}$ | Coefficient de <i>Manning Strickler</i> $K$ |
|-----------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| PVC                   | 0.1                                        | 146                                           | 120                                         |
| Plexiglas             | 0.1                                        | 146                                           | 100-140                                     |
| Aluminium             | 0.1                                        | 130                                           | 105                                         |
| Acier galvanisé       | 0.1                                        | 80                                            | 80                                          |

Il est à noter que le tableau 2.15 est constitué après une recherche sur le net et auprès de livres (comme référence Lancaster).

## **2.4 Conclusion**

Le présent chapitre a consacré une étude comparative pour l'évaluation des débits volumes  $Q$  en se basant sur les relations de Colebrook-white , *Williams-Hazen* (largement utilisée dans certains pays Anglo-saxons, de *Manning –Strickler* , de Hager et de *Achour-Bedjaoui* (récente).

Pour les relations utilisées l'évaluation du coefficient de frottement  $f$  n'est pas nécessaire

Les données utilisées pour le calcul sont celles obtenues par Bedjaoui (2010) au laboratoire d'hydraulique de l'université de Biskra.

Les conduites testées sont de 13 conduites dont les diamètres, débits et matériaux varient en fonction de diamètre.

Les matériaux utilisés pour les conduites sont :

Le plexiglas ;

- Le PVC ;
- L'aluminium ;
- L'acier galvanisé.

Les régimes observés sont le turbulent rugueux, le régime de transition et le régime lisse.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les écarts obtenus sur le calcul des debits volume sont nuls vis-à-vis la relation de *Colebrook-white*, *Hager*, *Manning-Strickler* et de *Achour-Bedjaoui* (2006) comparées à ceux obtenus par expérimentation, ces écarts sont très importants atteignant 98% pour le relation de *Williams-Hazen*.

Les écarts importants sont causés par le mauvais choix de coefficients de *williams-Hazen* proposés par la littérature trouvée.

## ***Conclusion générale***

L'objectif principal de cette étude est de faire une étude comparative pour l'évaluation des débits volumes et de confronter les résultats obtenus aux valeurs des débits expérimentaux (données prise de la thèse de doctorat de Bedjaoui Ali 2010).

A fin de répondre au mieux l'objectif de notre recherche nous avons subdivise notre mémoire en trois chapitres :

Le premier chapitre est exclusivement réserve a un état des connaissances sur les formule anciens et modernes qui utiliser pour évaluer le volume du débit , ce chapitre a eu pour objectif de passer en revue sur les principales notions sur l'écoulement en charge et d'exposer les principales relations déterminant le débit volume en fonction des paramètres de l'écoulement qui sont le diamètre géométrique de la conduite, le gradient hydraulique  $J$ , la rugosité absolue  $\varepsilon$  de la paroi interne de la conduite et la viscosité cinématique  $\nu$  du liquide.

Le deuxième chapitre qui sera réservé à l'élaboration d'une étude comparative des débits obtenus par le biais de certaines relations, les relations utilisées dans cette étude comparative pour l'évaluation du débit volume  $Q$  sont les relations de *Colébrook*, *Williams-Hazen*, *Hager*, *Manning-Strickler* et de *Achour-Bedjaoui*.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les écarts obtenus sur le calcul des débits volume sont nuls vis-à-vis la relation de *Colebrook-white*, *Hager*, *Manning-Strickler* et de *Achour-Bedjaoui* (2006) comparées à ceux des données expérimentales, ces écarts sont très importants atteignant 98% pour le relation de *Williams-Hazen*.

Les écarts importants sont causés par le mauvais choix de coefficients de *williams-Hazen* proposés par la littérature trouvée.

*Références Bibliographiques*

**ACHOUR, B .BEDJAOUI, A. (2006.a).** calcul du coefficient de frottement en conduite circulaire sous pression. Biskra,algerie: Note Technique,Larhyss/Journal,N°5, 197-200.

**ACHOUR, B., BEDJAOUI, A. (2006.b).** Discussion of « Explicit Solutions for Normal Depth problem » by Prabhata K. Swamee, Pushpa N. Rathie, J. Hydraulic Research, Vol.44, 5, 715-717.

**ACHOUR, B. (2007).** Calcul des conduits et canaux par MMR. LARHYSS.edition capitale

**BEDJAOUI A., ACHOUR B.** Nouvelle approche pour le dimensionnement des conduites circulaires sous pression, Courrier du Savoir, n°10, 23-29, 2010.

**Bedjaoui Ali** : LES ECOULEMENTS EN CHARGE, cours, Université de Biskra 2017

**José VAZQUEZ** (Laboratoire Systèmes Hydrauliques Urbains) ENGEES, HYDRAULIQUE GENERALE p47. 62

**LENCASTRE, A. (1996).** Hydraulique Générale, Ed. Eyrolles, Paris.

**Yacine BEBOUKHA** , M.F.E Coefficients de Chézy et de Manning en écoulement uniforme dans des canaux artificiels p8.11 Université Mohamed Khider – Biskra

**Yan DABROWSKI** Règles de base de l'hydraulique du dimanche 23 au jeudi 27 février 2014, Djibouti

**Pierre F. Lemieux,** Écoulements en charge Formules et données de base Département de génie civil Faculté de génie Université de SHERBROOKE

# Annexes

**Tableau 2.2 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=86/90$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Darcy             | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00755095        | 0,04050163 | 0,00755072        | 0,011650294       | 0,009486028       | 0,00755072        | 0,007552363       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00845768        | 0,05074768 | 0,00845742        | 0,013159109       | 0,010618331       | 0,00845742        | 0,008459055       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00953727        | 0,06445197 | 0,00953698        | 0,014972326       | 0,011966476       | 0,00953698        | 0,009538605       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00966401        | 0,06616802 | 0,00966371        | 0,015186292       | 0,012124734       | 0,00966371        | 0,009665335       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01050973        | 0,07819672 | 0,01050941        | 0,016619714       | 0,01318082        | 0,01050941        | 0,010511028       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01182367        | 0,09887612 | 0,0118233         | 0,018864752       | 0,014821559       | 0,0118233         | 0,011824915       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01202914        | 0,10232905 | 0,01202877        | 0,019217689       | 0,015078135       | 0,01202877        | 0,01203038        |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01202914        | 0,10232905 | 0,01202877        | 0,019217689       | 0,015078135       | 0,01202877        | 0,01203038        |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01223127        | 0,10578364 | 0,0122309         | 0,019565355       | 0,015330539       | 0,0122309         | 0,012232504       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01319698        | 0,12307982 | 0,01319657        | 0,021232574       | 0,016536424       | 0,01319657        | 0,013198176       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01338202        | 0,12654343 | 0,01338161        | 0,021553168       | 0,016767487       | 0,01338161        | 0,013383212       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01392286        | 0,13694233 | 0,01392243        | 0,022492209       | 0,017442833       | 0,01392243        | 0,013924032       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01427239        | 0,14388138 | 0,01427196        | 0,023100651       | 0,017879298       | 0,01427196        | 0,014273556       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01543545        | 0,16820502 | 0,01543497        | 0,025133604       | 0,019331593       | 0,01543497        | 0,015436567       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01621676        | 0,1856112  | 0,01621626        | 0,026506232       | 0,02030721        | 0,01621626        | 0,016217852       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01636869        | 0,18909541 | 0,01636818        | 0,026773766       | 0,020496922       | 0,01636818        | 0,016369776       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01725306        | 0,21001995 | 0,01725253        | 0,028334949       | 0,021601228       | 0,01725253        | 0,01725412        |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01767918        | 0,22049401 | 0,01767864        | 0,029089483       | 0,02213332        | 0,01767864        | 0,017680227       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01795783        | 0,22748085 | 0,01795727        | 0,029583663       | 0,022481257       | 0,01795727        | 0,017958861       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01823235        | 0,23447089 | 0,01823178        | 0,030071131       | 0,022824046       | 0,01823178        | 0,018233372       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01863679        | 0,24496173 | 0,01863621        | 0,030790362       | 0,023329062       | 0,01863621        | 0,018637798       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01903291        | 0,2554593  | 0,01903232        | 0,031496005       | 0,02382369        | 0,01903232        | 0,019033904       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,0194212         | 0,26596332 | 0,0194206         | 0,032188851       | 0,024308549       | 0,0194206         | 0,019422189       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01980213        | 0,27647354 | 0,01980152        | 0,032869619       | 0,024784203       | 0,01980152        | 0,019803101       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02017609        | 0,28698976 | 0,02017547        | 0,03353896        | 0,025251162       | 0,02017547        | 0,020177051       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02078489        | 0,30452957 | 0,02078424        | 0,03463073        | 0,02601135        | 0,02078424        | 0,020785826       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02090459        | 0,3080394  | 0,02090394        | 0,034845694       | 0,026160817       | 0,02090394        | 0,020905522       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02137689        | 0,3220846  | 0,02137623        | 0,035694846       | 0,026750576       | 0,02137623        | 0,021377814       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02183931        | 0,33613905 | 0,02183864        | 0,036527671       | 0,027327987       | 0,02183864        | 0,021840217       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,0225157         | 0,3572373  | 0,022515          | 0,037748388       | 0,028172576       | 0,022515          | 0,022516583       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02284662        | 0,3677935  | 0,02284591        | 0,038346694       | 0,028585789       | 0,02284591        | 0,022847493       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02328077        | 0,38187563 | 0,02328005        | 0,03913268        | 0,029127897       | 0,02328005        | 0,023281626       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02370722        | 0,39596564 | 0,02370648        | 0,039905871       | 0,029660394       | 0,02370648        | 0,023708062       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02433333        | 0,4171149  | 0,02433257        | 0,041043068       | 0,030442199       | 0,02433257        | 0,02433415        |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02474221        | 0,43122347 | 0,02474144        | 0,041786984       | 0,030952759       | 0,02474144        | 0,024743018       |

## Annexes

**Tableau 2.3 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**

Pour  $D=49/50$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$ | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m       | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,049 | 0,02041         | 0,003114          | 0,140516  | 0,00311391        | 0,005194675       | 0,003942195       | 0,00311391        | 0,00311625        |
| 0,049 | 0,02041         | 0,003538          | 0,181203  | 0,00353813        | 0,005959308       | 0,004476699       | 0,00353813        | 0,003540467       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,003857          | 0,215209  | 0,00385719        | 0,006539298       | 0,004878714       | 0,00385719        | 0,003859535       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00432           | 0,269775  | 0,00432037        | 0,007388009       | 0,005462306       | 0,00432037        | 0,004322718       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,004535          | 0,297119  | 0,00453478        | 0,007783392       | 0,005732451       | 0,00453478        | 0,004537127       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,004839          | 0,338204  | 0,00483916        | 0,008347242       | 0,006115959       | 0,00483916        | 0,00484151        |
| 0,049 | 0,02041         | 0,005032          | 0,365636  | 0,00503219        | 0,008706286       | 0,006359158       | 0,00503219        | 0,005034534       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,005309          | 0,406839  | 0,00530898        | 0,009223053       | 0,006707898       | 0,00530898        | 0,005311323       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,005529          | 0,441222  | 0,00552939        | 0,009636102       | 0,006985601       | 0,00552939        | 0,005531732       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,005824          | 0,489424  | 0,00582439        | 0,010190994       | 0,007357289       | 0,00582439        | 0,005826737       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,006027          | 0,523898  | 0,00602655        | 0,01057255        | 0,007611996       | 0,00602655        | 0,006028895       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,006337          | 0,579127  | 0,00633702        | 0,011160518       | 0,008003171       | 0,00633702        | 0,006339367       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,006524          | 0,613685  | 0,00652379        | 0,011515348       | 0,008238496       | 0,00652379        | 0,006526142       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,006741          | 0,655193  | 0,00674131        | 0,0119296         | 0,008512552       | 0,00674131        | 0,006743659       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,007157          | 0,738326  | 0,00715715        | 0,012724494       | 0,009036479       | 0,00715715        | 0,007159496       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,007389          | 0,786887  | 0,00738925        | 0,0131698         | 0,00932892        | 0,00738925        | 0,007391604       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,007709          | 0,856339  | 0,0077091         | 0,013785267       | 0,009731909       | 0,0077091         | 0,007711454       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,008107          | 0,946752  | 0,00810664        | 0,014553052       | 0,010232772       | 0,00810664        | 0,008108986       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,008166          | 0,960674  | 0,00816613        | 0,014668225       | 0,010307734       | 0,00816613        | 0,008168483       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,008458          | 1,030328  | 0,00845753        | 0,015233275       | 0,010674878       | 0,00845753        | 0,008459883       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,008515          | 1,044267  | 0,00851465        | 0,015344217       | 0,010746844       | 0,00851465        | 0,008517002       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00874           | 1,100054  | 0,00873953        | 0,015781565       | 0,011030169       | 0,00873953        | 0,008741876       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,009279          | 1,239705  | 0,00927862        | 0,016833655       | 0,011709392       | 0,00927862        | 0,009280973       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,009409          | 1,274657  | 0,00940872        | 0,017088302       | 0,011873311       | 0,00940872        | 0,009411075       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,009664          | 1,344605  | 0,00966384        | 0,017588453       | 0,01219474        | 0,00966384        | 0,009666192       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,009913          | 1,414608  | 0,0099126         | 0,018077152       | 0,012508154       | 0,0099126         | 0,009914948       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,010156          | 1,484664  | 0,01015545        | 0,018555203       | 0,012814134       | 0,01015545        | 0,010157803       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,010393          | 1,554772  | 0,01039282        | 0,019023329       | 0,013113195       | 0,01039282        | 0,010395167       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,010625          | 1,624929  | 0,01062505        | 0,019482159       | 0,013405789       | 0,01062505        | 0,010627398       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,01074           | 1,660024  | 0,01073933        | 0,019708259       | 0,013549784       | 0,01073933        | 0,010741686       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,011076          | 1,76538   | 0,01107536        | 0,020374133       | 0,013973149       | 0,01107536        | 0,01107771        |
| 0,049 | 0,02041         | 0,011185          | 1,800521  | 0,0111852         | 0,020592142       | 0,014111535       | 0,0111852         | 0,011187547       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,011402          | 1,870833  | 0,01140179        | 0,021022551       | 0,014384431       | 0,01140179        | 0,011404144       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,01172           | 1,976378  | 0,01171942        | 0,021654906       | 0,01478462        | 0,01171942        | 0,011721773       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,011927          | 2,046791  | 0,01192663        | 0,022068163       | 0,015045684       | 0,01192663        | 0,011928979       |

## Annexes

**Tableau 2.4 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=60/63$

| D    | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | J exp      | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m    |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,06 | 0,01667         | 0,003733          | 0,06811326 | 0,00373266        | 0,005984856       | 0,004710187       | 0,00373266        | 0,003735188       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,004037          | 0,07959597 | 0,00403684        | 0,006510132       | 0,005091759       | 0,00403684        | 0,004039362       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,00432           | 0,09110099 | 0,00432029        | 0,007002467       | 0,005447332       | 0,00432029        | 0,004322813       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,004587          | 0,10262582 | 0,00458679        | 0,007467706       | 0,005781634       | 0,00458679        | 0,004589311       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,004839          | 0,11416848 | 0,00483907        | 0,007910129       | 0,006098112       | 0,00483907        | 0,004841601       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,005079          | 0,12572736 | 0,00507923        | 0,008332987       | 0,00639937        | 0,00507923        | 0,005081759       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,005529          | 0,14888861 | 0,00552928        | 0,009129643       | 0,006963908       | 0,00552928        | 0,005531804       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,005947          | 0,17210113 | 0,00594637        | 0,009872606       | 0,007487109       | 0,00594637        | 0,005948897       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,006883          | 0,23031842 | 0,00688249        | 0,011554897       | 0,008661371       | 0,00688249        | 0,006885021       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,007056          | 0,24198944 | 0,00705528        | 0,011867484       | 0,00887811        | 0,00705528        | 0,007057806       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,007709          | 0,28875239 | 0,00770895        | 0,013055467       | 0,009698065       | 0,00770895        | 0,007711481       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,008166          | 0,32389906 | 0,00816597        | 0,013890882       | 0,010271341       | 0,00816597        | 0,008168502       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,008313          | 0,33562744 | 0,00831291        | 0,014160273       | 0,01045565        | 0,00831291        | 0,008315436       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,008877          | 0,38259993 | 0,0088771         | 0,015198154       | 0,011163355       | 0,0088771         | 0,008879628       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,009013          | 0,39435684 | 0,0090128         | 0,015448591       | 0,011333577       | 0,0090128         | 0,009015331       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,009147          | 0,40611907 | 0,00914656        | 0,015695727       | 0,011501354       | 0,00914656        | 0,009149085       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,009537          | 0,4414357  | 0,00953692        | 0,016418634       | 0,011991017       | 0,00953692        | 0,009539452       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,009913          | 0,47679467 | 0,0099124         | 0,017116208       | 0,012462007       | 0,0099124         | 0,009914933       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,010035          | 0,4885899  | 0,01003454        | 0,017343575       | 0,012615212       | 0,01003454        | 0,01003707        |
| 0,06 | 0,01667         | 0,010156          | 0,5003895  | 0,01015526        | 0,017568514       | 0,012766633       | 0,01015526        | 0,010157786       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,01051           | 0,53581278 | 0,01050935        | 0,018229538       | 0,013210791       | 0,01050935        | 0,010511876       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,010965          | 0,58309859 | 0,01096424        | 0,019081358       | 0,013781399       | 0,01096424        | 0,010966775       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,011294          | 0,61860134 | 0,01129378        | 0,019700192       | 0,014194749       | 0,01129378        | 0,011296306       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,011402          | 0,63044255 | 0,01140157        | 0,019902938       | 0,014329963       | 0,01140157        | 0,0114041         |
| 0,06 | 0,01667         | 0,011615          | 0,65413508 | 0,01161425        | 0,020303412       | 0,014596745       | 0,01161425        | 0,011616784       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,011927          | 0,68969817 | 0,01192639        | 0,020892216       | 0,014988281       | 0,01192639        | 0,011928925       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,012131          | 0,71342242 | 0,01213017        | 0,021277267       | 0,015243885       | 0,01213017        | 0,012132697       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,012231          | 0,72528909 | 0,01223082        | 0,021467656       | 0,015370142       | 0,01223082        | 0,012233352       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,01243           | 0,74903117 | 0,01242976        | 0,021844321       | 0,015619684       | 0,01242976        | 0,012432292       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,012529          | 0,76090672 | 0,01252809        | 0,022030663       | 0,015743019       | 0,01252809        | 0,012530617       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,012626          | 0,77278491 | 0,01262567        | 0,022215713       | 0,015865421       | 0,01262567        | 0,012628199       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,012723          | 0,78466604 | 0,01272253        | 0,022399505       | 0,015986917       | 0,01272253        | 0,012725058       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,012915          | 0,80843619 | 0,01291413        | 0,022763409       | 0,016227259       | 0,01291413        | 0,012916663       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,013104          | 0,83221719 | 0,01310303        | 0,023122586       | 0,0164642         | 0,01310303        | 0,013105558       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,01329           | 0,85600855 | 0,01328932        | 0,023477226       | 0,01669788        | 0,01328932        | 0,013291852       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,01338202        | 0,86790797 | 0,01338153        | 0,023810585       | 0,016973668       | 0,01338153        | 0,013384058       |
| 0,06 | 0,01667         | 0,01374487        | 0,91553063 | 0,01374436        | 0,024669724       | 0,017597591       | 0,01374436        | 0,013746893       |

## Annexes

**Tableau 2.5 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=69/80$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,069 | 0,01449         | 0,00705554        | 0,11455294 | 0,00705577        | 0,011444776       | 0,008867196       | 0,00705577        | 0,007058218       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,00840018        | 0,16216018 | 0,00840046        | 0,01380746        | 0,010550069       | 0,00840046        | 0,008402907       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01015563        | 0,23672987 | 0,01015597        | 0,016937159       | 0,012747051       | 0,01015597        | 0,010158413       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01161468        | 0,30941112 | 0,01161507        | 0,019571915       | 0,014573074       | 0,01161507        | 0,011617515       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01252855        | 0,35988269 | 0,01252897        | 0,021235908       | 0,015716784       | 0,01252897        | 0,012531412       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01328981        | 0,40483608 | 0,01329026        | 0,022629486       | 0,016669509       | 0,01329026        | 0,013292701       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,0145292         | 0,48368152 | 0,0145297         | 0,024911854       | 0,018220612       | 0,0145297         | 0,014532136       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01461384        | 0,48932113 | 0,01461433        | 0,025068287       | 0,018326528       | 0,01461433        | 0,01461677        |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01478169        | 0,50060351 | 0,01478219        | 0,025378773       | 0,018536603       | 0,01478219        | 0,014784634       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01519348        | 0,52882582 | 0,015194          | 0,026141635       | 0,019051954       | 0,015194          | 0,015196435       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01590869        | 0,57968296 | 0,01590923        | 0,027470515       | 0,01994704        | 0,01590923        | 0,015911671       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01606344        | 0,59099395 | 0,01606399        | 0,027758677       | 0,020140707       | 0,01606399        | 0,016066424       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01636869        | 0,6136259  | 0,01636924        | 0,028327739       | 0,020522726       | 0,01636924        | 0,016371683       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01651926        | 0,62494664 | 0,01651983        | 0,028608765       | 0,020711172       | 0,01651983        | 0,016522265       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01666852        | 0,63627049 | 0,01666909        | 0,028887535       | 0,02089797        | 0,01666909        | 0,016671529       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,0168165         | 0,64759743 | 0,01681707        | 0,029164107       | 0,021083163       | 0,01681707        | 0,016819511       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01725306        | 0,68159635 | 0,01725365        | 0,029981174       | 0,021629517       | 0,01725365        | 0,017256087       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01739622        | 0,69293503 | 0,01739682        | 0,030249478       | 0,021808684       | 0,01739682        | 0,017399254       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01753826        | 0,70427662 | 0,01753885        | 0,030515837       | 0,021986436       | 0,01753885        | 0,01754129        |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01809559        | 0,74967074 | 0,01809621        | 0,031562691       | 0,02268394        | 0,01809621        | 0,018098645       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01836812        | 0,7723836  | 0,01836874        | 0,032075524       | 0,023025005       | 0,01836874        | 0,01837118        |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01876973        | 0,80647223 | 0,01877036        | 0,032832368       | 0,023527615       | 0,01877036        | 0,018772802       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01890176        | 0,81784006 | 0,0189024         | 0,033081473       | 0,023692855       | 0,0189024         | 0,01890484        |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01935701        | 0,85764644 | 0,01935767        | 0,03394145        | 0,024262601       | 0,01935767        | 0,019360108       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,01967595        | 0,88609699 | 0,01967662        | 0,034544889       | 0,024661747       | 0,01967662        | 0,019679055       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,02005219        | 0,92025617 | 0,02005287        | 0,035257754       | 0,025132609       | 0,02005287        | 0,020055307       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,02017609        | 0,931647   | 0,02017678        | 0,035492752       | 0,025287675       | 0,02017678        | 0,020179216       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,02048268        | 0,96013319 | 0,02048337        | 0,036074716       | 0,025671364       | 0,02048337        | 0,020485812       |
| 0,069 | 0,01449         | 0,02060408        | 0,97153152 | 0,02060478        | 0,036305351       | 0,025823295       | 0,02060478        | 0,020607215       |

**Tableau 2.6 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=77/80$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00614486        | 0,04844845 | 0,00614462        | 0,009596052       | 0,007726228       | 0,00614462        | 0,006146802       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,0065239         | 0,0545726  | 0,00652365        | 0,010233111       | 0,008200019       | 0,00652365        | 0,00652583        |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00705554        | 0,06377581 | 0,00705525        | 0,011131551       | 0,008864527       | 0,00705525        | 0,007057436       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00722433        | 0,06684769 | 0,00722404        | 0,011417949       | 0,009075504       | 0,00722404        | 0,007226219       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00770923        | 0,07607457 | 0,00770893        | 0,012243645       | 0,009681604       | 0,00770893        | 0,007711106       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00786444        | 0,07915371 | 0,00786412        | 0,012508808       | 0,009875593       | 0,00786412        | 0,007866301       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00816627        | 0,08531691 | 0,00816595        | 0,013025679       | 0,010252862       | 0,00816595        | 0,008168123       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00887742        | 0,10075126 | 0,00887707        | 0,014249403       | 0,011141734       | 0,00887707        | 0,008879242       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00927878        | 0,11002822 | 0,00927841        | 0,014943545       | 0,011643394       | 0,00927841        | 0,009280585       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,00953727        | 0,11621909 | 0,00953689        | 0,015391865       | 0,011966477       | 0,00953689        | 0,009539061       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01003491        | 0,12861472 | 0,01003451        | 0,016257673       | 0,012588469       | 0,01003451        | 0,010036677       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01096465        | 0,15345607 | 0,01096421        | 0,017884336       | 0,013750535       | 0,01096421        | 0,010966376       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01107555        | 0,15656551 | 0,0110751         | 0,018079121       | 0,013889148       | 0,0110751         | 0,011077272       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01161468        | 0,17212595 | 0,01161421        | 0,019028232       | 0,014562996       | 0,01161421        | 0,01161638        |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01243022        | 0,19706474 | 0,01242972        | 0,020470584       | 0,015582316       | 0,01242972        | 0,012431884       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01262613        | 0,2033069  | 0,01262563        | 0,020818219       | 0,015827183       | 0,01262563        | 0,012627789       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01300939        | 0,21579962 | 0,01300887        | 0,021499521       | 0,016306205       | 0,01300887        | 0,013011031       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01328981        | 0,22517623 | 0,01328928        | 0,021999033       | 0,016656695       | 0,01328928        | 0,01329144        |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01374487        | 0,24081656 | 0,01374432        | 0,022811405       | 0,017225456       | 0,01374432        | 0,013746478       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01409868        | 0,2533397  | 0,01409811        | 0,023444511       | 0,017667666       | 0,01409811        | 0,01410027        |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01444409        | 0,26587206 | 0,01444351        | 0,024063826       | 0,018099389       | 0,01444351        | 0,01444567        |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01486493        | 0,28154985 | 0,01486433        | 0,024819971       | 0,018625383       | 0,01486433        | 0,014866494       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01527455        | 0,29724071 | 0,01527393        | 0,02555759        | 0,019137346       | 0,01527393        | 0,015276093       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01543545        | 0,30352053 | 0,01543483        | 0,025847764       | 0,019338447       | 0,01543483        | 0,015436985       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01590869        | 0,32237158 | 0,01590805        | 0,026702631       | 0,019929937       | 0,01590805        | 0,01591021        |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01606344        | 0,32865898 | 0,01606279        | 0,026982612       | 0,020123351       | 0,01606279        | 0,016064952       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01651926        | 0,34753185 | 0,0165186         | 0,027808561       | 0,020693067       | 0,0165186         | 0,016520757       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,0168165         | 0,36012242 | 0,01681582        | 0,028348136       | 0,021064572       | 0,01681582        | 0,016817983       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01718105        | 0,3758699  | 0,01718036        | 0,029010933       | 0,021520201       | 0,01718036        | 0,017182512       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01725306        | 0,37902064 | 0,01725237        | 0,029142001       | 0,02161021        | 0,01725237        | 0,017254525       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01739622        | 0,38532316 | 0,01739552        | 0,029402684       | 0,021789141       | 0,01739552        | 0,01739768        |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01760886        | 0,39477999 | 0,01760815        | 0,029790184       | 0,022054902       | 0,01760815        | 0,017610304       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01788856        | 0,40739434 | 0,01788784        | 0,03030048        | 0,02240449        | 0,01788784        | 0,017889995       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01802684        | 0,41370376 | 0,01802611        | 0,030552991       | 0,022577315       | 0,01802611        | 0,018028265       |
| 0,077 | 0,01299         | 0,01823235        | 0,4231706  | 0,01823161        | 0,030928566       | 0,022834174       | 0,01823161        | 0,018233768       |

## Annexes

|       |         |            |            |            |             |             |            |             |
|-------|---------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 0,077 | 0,01299 | 0,01850292 | 0,43579806 | 0,01850218 | 0,031633057 | 0,023393046 | 0,01850218 | 0,018504334 |
| 0,077 | 0,01299 | 0,01863679 | 0,44211386 | 0,01863604 | 0,032090921 | 0,02378423  | 0,01863604 | 0,018638191 |
| 0,077 | 0,01299 | 0,01948519 | 0,48319923 | 0,01948441 | 0,033889858 | 0,025097192 | 0,01948441 | 0,019486561 |
| 0,077 | 0,01299 | 0,02011423 | 0,5148397  | 0,02011342 | 0,035299924 | 0,02614573  | 0,02011342 | 0,020115574 |
| 0,077 | 0,01299 | 0,02029926 | 0,52433771 | 0,02029844 | 0,035881604 | 0,026627874 | 0,02029844 | 0,020300598 |
| 0,077 | 0,01299 | 0,02125977 | 0,57503713 | 0,02125891 | 0,037958631 | 0,028139034 | 0,02125891 | 0,021261063 |

**Tableau 2.7 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=87/90$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,087 | 0,01149         | 0,0065239         | 0,0284833  | 0,00652431        | 0,009930822       | 0,008204122       | 0,00652431        | 0,006525887       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,0065239         | 0,0284833  | 0,00652431        | 0,009930822       | 0,008204122       | 0,00652431        | 0,006525887       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,00670565        | 0,03008096 | 0,00670606        | 0,01022784        | 0,008431072       | 0,00670606        | 0,006707639       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,00722433        | 0,03488019 | 0,00722477        | 0,011078961       | 0,009078757       | 0,00722477        | 0,007226343       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,00845768        | 0,04771772 | 0,00845821        | 0,013121801       | 0,010618833       | 0,00845821        | 0,008459759       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,00914689        | 0,05576563 | 0,00914746        | 0,014273958       | 0,011479428       | 0,00914746        | 0,009149009       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,00966401        | 0,06221548 | 0,00966461        | 0,015142989       | 0,012125124       | 0,00966461        | 0,009666152       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,00978915        | 0,06382942 | 0,00978976        | 0,015353865       | 0,012281387       | 0,00978976        | 0,009791305       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01027497        | 0,07029066 | 0,01027562        | 0,016174511       | 0,012888007       | 0,01027562        | 0,010277157       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01062523        | 0,07514204 | 0,01062589        | 0,016768077       | 0,013325345       | 0,01062589        | 0,010627429       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01118539        | 0,08323731 | 0,01118609        | 0,01772059        | 0,014024777       | 0,01118609        | 0,011187621       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01129419        | 0,08485773 | 0,0112949         | 0,01790605        | 0,014160633       | 0,0112949         | 0,011296431       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01171963        | 0,09134366 | 0,01172036        | 0,018632571       | 0,01469184        | 0,01172036        | 0,01172189        |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01233113        | 0,10108469 | 0,01233191        | 0,019680519       | 0,015455379       | 0,01233191        | 0,012333433       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01310351        | 0,11409343 | 0,01310433        | 0,021010055       | 0,016419778       | 0,01310433        | 0,013105855       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01338202        | 0,11897732 | 0,01338286        | 0,021491024       | 0,016767529       | 0,01338286        | 0,013384383       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01383414        | 0,12712354 | 0,01383501        | 0,022273501       | 0,017332051       | 0,01383501        | 0,013836532       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01409868        | 0,13201491 | 0,01409956        | 0,022732273       | 0,017662349       | 0,01409956        | 0,014101081       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01444409        | 0,13854081 | 0,014445          | 0,023332347       | 0,018093635       | 0,014445          | 0,014446517       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01486493        | 0,14670449 | 0,01486587        | 0,024065001       | 0,018619099       | 0,01486587        | 0,014867385       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01543545        | 0,15814466 | 0,01543642        | 0,025060855       | 0,019331441       | 0,01543642        | 0,015437932       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,0156738         | 0,16305136 | 0,01567479        | 0,025477783       | 0,019629045       | 0,01567479        | 0,015676298       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01575247        | 0,16468739 | 0,01575347        | 0,025615512       | 0,019727277       | 0,01575347        | 0,015754977       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01590869        | 0,16796022 | 0,0159097         | 0,025889157       | 0,019922332       | 0,0159097         | 0,015911206       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01598625        | 0,16959698 | 0,01598726        | 0,02602509        | 0,020019168       | 0,01598726        | 0,015988766       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01636869        | 0,17778422 | 0,01636972        | 0,026696159       | 0,020496682       | 0,01636972        | 0,016371231       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01689002        | 0,1892556  | 0,01689109        | 0,027612948       | 0,021147612       | 0,01689109        | 0,016892594       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01753826        | 0,20401958 | 0,01753937        | 0,028756051       | 0,021956995       | 0,01753937        | 0,017540871       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01802684        | 0,21551368 | 0,01802798        | 0,029619851       | 0,022567029       | 0,01802798        | 0,01802948        |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01823235        | 0,22044254 | 0,0182335         | 0,029983751       | 0,022823627       | 0,0182335         | 0,018235003       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01876973        | 0,23359408 | 0,01877091        | 0,030936832       | 0,023494591       | 0,01877091        | 0,018772415       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01916318        | 0,24346502 | 0,0191644         | 0,031636046       | 0,023985858       | 0,0191644         | 0,019165898       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01935701        | 0,24840278 | 0,01935824        | 0,031980918       | 0,024227868       | 0,01935824        | 0,019359737       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01954898        | 0,25334197 | 0,01955021        | 0,03232275        | 0,024467553       | 0,01955021        | 0,019551715       |
| 0,087 | 0,01149         | 0,01992754        | 0,26322464 | 0,0199288         | 0,032997632       | 0,024940218       | 0,0199288         | 0,019930299       |

## Annexes

|       |         |            |            |            |             |            |            |             |
|-------|---------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| 0,087 | 0,01149 | 0,02023777 | 0,27146444 | 0,02023905 | 0,033775138 | 0,02556878 | 0,02023905 | 0,020240548 |
| 0,087 | 0,01149 | 0,02048268 | 0,27805902 | 0,02048398 | 0,034442348 | 0,02612161 | 0,02048398 | 0,020485473 |

**Tableau 2.8 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=121/125$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | J exp      | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,121 | 0,00826         | 0,01511199        | 0,02621919 | 0,01511329        | 0,022612613       | 0,018970972       | 0,01511329        | 0,015109921       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,01606344        | 0,02960398 | 0,01606482        | 0,024144899       | 0,020158351       | 0,01606482        | 0,016061428       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,0168165         | 0,03242862 | 0,01681795        | 0,02536283        | 0,021098141       | 0,01681795        | 0,016814539       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,01795783        | 0,03695484 | 0,01795937        | 0,027216912       | 0,022522449       | 0,01795937        | 0,017955938       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,01863679        | 0,03978764 | 0,0186384         | 0,028324376       | 0,023369749       | 0,0186384         | 0,018634946       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,01954898        | 0,04375818 | 0,01955067        | 0,029817301       | 0,024508096       | 0,01955067        | 0,0195472         |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02029926        | 0,04716549 | 0,02030102        | 0,031049419       | 0,025444395       | 0,02030102        | 0,02029754        |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02090459        | 0,05000755 | 0,02090639        | 0,032046127       | 0,026199786       | 0,02090639        | 0,020902906       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,0214934         | 0,05285187 | 0,02149526        | 0,033017861       | 0,026934575       | 0,02149526        | 0,021491764       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,0225157         | 0,057977   | 0,02251765        | 0,034709986       | 0,028210307       | 0,02251765        | 0,022514137       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02262653        | 0,05854687 | 0,02262849        | 0,034893805       | 0,028348611       | 0,02262849        | 0,022624975       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02338809        | 0,06253809 | 0,02339012        | 0,036158835       | 0,029298963       | 0,02339012        | 0,023386592       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02349493        | 0,06310856 | 0,02349697        | 0,036336576       | 0,029432292       | 0,02349697        | 0,023493443       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02391768        | 0,06539119 | 0,02391976        | 0,03704049        | 0,029959846       | 0,02391976        | 0,023916228       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02474221        | 0,06995982 | 0,02474436        | 0,03841622        | 0,030988767       | 0,02474436        | 0,024740816       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02529397        | 0,07310325 | 0,02529617        | 0,039338894       | 0,03167731        | 0,02529617        | 0,025292624       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02650663        | 0,08025452 | 0,02650893        | 0,041372319       | 0,033190569       | 0,02650893        | 0,026505373       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,0273475         | 0,0854092  | 0,02734988        | 0,042786706       | 0,034239883       | 0,02734988        | 0,027346313       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02793956        | 0,08913484 | 0,02794199        | 0,04378466        | 0,034978702       | 0,02794199        | 0,027938418       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02851972        | 0,09286275 | 0,0285222         | 0,044764194       | 0,035702672       | 0,0285222         | 0,028518622       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02939062        | 0,09860222 | 0,02939318        | 0,046237586       | 0,03678945        | 0,02939318        | 0,029389591       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,02990137        | 0,10204826 | 0,02990397        | 0,047103303       | 0,037426805       | 0,02990397        | 0,029900383       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03048677        | 0,1060708  | 0,03048943        | 0,048097011       | 0,038157321       | 0,03048943        | 0,030485837       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03146579        | 0,11297173 | 0,03146854        | 0,049762251       | 0,039379014       | 0,03146854        | 0,031464935       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03225967        | 0,11872728 | 0,03226248        | 0,051115618       | 0,040369671       | 0,03226248        | 0,032258876       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03288141        | 0,12333468 | 0,03288427        | 0,05217739        | 0,04114552        | 0,03288427        | 0,032880664       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03394292        | 0,13140371 | 0,03394588        | 0,05399387        | 0,042470147       | 0,03394588        | 0,03394226        |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03482785        | 0,1383259  | 0,03483089        | 0,055511662       | 0,043574429       | 0,03483089        | 0,034827267       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03537005        | 0,1426549  | 0,03537314        | 0,056443138       | 0,044251021       | 0,03537314        | 0,03536951        |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03632626        | 0,15045195 | 0,03632943        | 0,058088633       | 0,045444242       | 0,03632943        | 0,036325798       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03708774        | 0,15680963 | 0,03709099        | 0,059401527       | 0,04639448        | 0,03709099        | 0,037087352       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03810239        | 0,16548531 | 0,03810572        | 0,061154221       | 0,047660618       | 0,03810572        | 0,03810208        |
| 0,121 | 0,00826         | 0,038501          | 0,1689575  | 0,03850436        | 0,061843801       | 0,048158027       | 0,03850436        | 0,038500721       |
| 0,121 | 0,00826         | 0,03918912        | 0,17503643 | 0,03919255        | 0,063035572       | 0,049016712       | 0,03919255        | 0,039188902       |

## Annexes

|       |         |            |            |            |             |             |            |             |
|-------|---------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 0,121 | 0,00826 | 0,03954494 | 0,17822189 | 0,0395484  | 0,063652476 | 0,049460724 | 0,0395484  | 0,03954475  |
| 0,121 | 0,00826 | 0,0401206  | 0,1834363  | 0,04012411 | 0,065082477 | 0,050656964 | 0,04012411 | 0,040120458 |
| 0,121 | 0,00826 | 0,04075099 | 0,18923268 | 0,04075455 | 0,066623367 | 0,051936478 | 0,04075455 | 0,040750897 |
| 0,121 | 0,00826 | 0,0411867  | 0,19329178 | 0,04119031 | 0,067834673 | 0,052981116 | 0,04119031 | 0,041186651 |
| 0,121 | 0,00826 | 0,04167926 | 0,19793228 | 0,04168291 | 0,069158374 | 0,054109742 | 0,04168291 | 0,041679252 |
| 0,121 | 0,00826 | 0,04210568 | 0,20199408 | 0,04210936 | 0,0703752   | 0,055163607 | 0,04210936 | 0,042105703 |
| 0,121 | 0,00826 | 0,04300564 | 0,21070201 | 0,0430094  | 0,072462074 | 0,056852291 | 0,0430094  | 0,043005739 |
| 0,121 | 0,00826 | 0,04359562 | 0,21651039 | 0,04359944 | 0,074005373 | 0,058149776 | 0,04359944 | 0,043595775 |
| 0,121 | 0,00826 | 0,0436542  | 0,21709131 | 0,04365801 | 0,074584586 | 0,058747625 | 0,04365801 | 0,04365435  |

**Tableau 2.9 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=107/110$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,107 | 0,00935         | 0,00940889        | 0,01963537 | 0,0094082         | 0,013998814       | 0,011827562       | 0,0094082         | 0,009407507       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01050973        | 0,02446126 | 0,01050897        | 0,015762631       | 0,013201252       | 0,01050897        | 0,010508238       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01161468        | 0,02983767 | 0,01161383        | 0,017547821       | 0,014580021       | 0,01161383        | 0,011613076       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01262613        | 0,03522687 | 0,01262521        | 0,019193852       | 0,015842099       | 0,01262521        | 0,012624431       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01374487        | 0,04170841 | 0,01374386        | 0,02102669        | 0,017238026       | 0,01374386        | 0,013743064       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01478169        | 0,04820369 | 0,01478061        | 0,022735971       | 0,018531725       | 0,01478061        | 0,014779792       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01503007        | 0,04982947 | 0,01502897        | 0,023146894       | 0,018841646       | 0,01502897        | 0,015028154       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,0156738         | 0,05416837 | 0,01567264        | 0,024214353       | 0,019644844       | 0,01567264        | 0,015671818       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01689002        | 0,06286039 | 0,01688878        | 0,0262406         | 0,021162367       | 0,01688878        | 0,016887935       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01823235        | 0,07320404 | 0,018231          | 0,028490435       | 0,02283722        | 0,018231          | 0,018230146       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01909815        | 0,08029346 | 0,01909674        | 0,029948663       | 0,0239175         | 0,01909674        | 0,019095879       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,01992754        | 0,08739186 | 0,01992606        | 0,0313505         | 0,024952335       | 0,01992606        | 0,019925195       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02060408        | 0,0934047  | 0,02060255        | 0,032497448       | 0,025796457       | 0,02060255        | 0,020601676       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,0210829         | 0,09778121 | 0,02108134        | 0,03331103        | 0,02639389        | 0,02108134        | 0,021080462       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,0214934         | 0,101613   | 0,02149181        | 0,034009696       | 0,026906074       | 0,02149181        | 0,021490929       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02183931        | 0,10489904 | 0,0218377         | 0,034599256       | 0,027337668       | 0,0218377         | 0,021836811       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02240434        | 0,1103791  | 0,02240268        | 0,035563873       | 0,028042655       | 0,02240268        | 0,022401793       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02284662        | 0,11476601 | 0,02284493        | 0,036320291       | 0,028594489       | 0,02284493        | 0,022844038       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02338809        | 0,12025308 | 0,02338635        | 0,037247926       | 0,029270073       | 0,02338635        | 0,023385458       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,0236013         | 0,12244896 | 0,02359956        | 0,037613687       | 0,029536107       | 0,02359956        | 0,02359866        |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02402225        | 0,12684241 | 0,02402047        | 0,038336545       | 0,030061313       | 0,02402047        | 0,024019567       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02474221        | 0,13453628 | 0,02474037        | 0,039575228       | 0,030959605       | 0,02474037        | 0,02473947        |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02544244        | 0,14223667 | 0,02544056        | 0,04078274        | 0,031833287       | 0,02544056        | 0,025439652       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02602813        | 0,14884186 | 0,0260262         | 0,041794746       | 0,032564038       | 0,0260262         | 0,026025286       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02678976        | 0,15765556 | 0,02678777        | 0,043113488       | 0,033514315       | 0,02678777        | 0,026786854       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,0272091         | 0,16261649 | 0,02720708        | 0,043840856       | 0,034037527       | 0,02720708        | 0,027206165       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,0279846         | 0,17199323 | 0,02798252        | 0,045188328       | 0,035005104       | 0,02798252        | 0,0279816         |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02834243        | 0,17640848 | 0,02834032        | 0,045811093       | 0,035451567       | 0,02834032        | 0,028339404       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02900184        | 0,18469147 | 0,02899969        | 0,046960362       | 0,036274307       | 0,02899969        | 0,028998764       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,02964706        | 0,19298003 | 0,02964485        | 0,048086905       | 0,037079331       | 0,02964485        | 0,029643927       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,03048677        | 0,20403967 | 0,03048451        | 0,049555976       | 0,038127033       | 0,03048451        | 0,030483578       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,03102079        | 0,21123326 | 0,03101848        | 0,050491909       | 0,038793311       | 0,03101848        | 0,031017549       |
| 0,107 | 0,00935         | 0,03194441        | 0,22396937 | 0,03194203        | 0,052113712       | 0,039945698       | 0,03194203        | 0,031941098       |

## Annexes

|       |         |            |            |            |             |             |            |             |
|-------|---------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 0,107 | 0,00935 | 0,03295833 | 0,23837983 | 0,03295587 | 0,053898376 | 0,041210744 | 0,03295587 | 0,032954936 |
| 0,107 | 0,00935 | 0,03349197 | 0,24614475 | 0,03348948 | 0,054839446 | 0,041876559 | 0,03348948 | 0,033488536 |
| 0,107 | 0,00935 | 0,03409195 | 0,25502354 | 0,03408941 | 0,056271589 | 0,043031096 | 0,03408941 | 0,034088469 |

**Tableau 2.10** ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)  
Pour  $D=49/50$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00172           | 0,04319695 | 0,00171997        | 0,002747459       | 0,002185756       | 0,00171997        | 0,001722293       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00191           | 0,05317857 | 0,00190997        | 0,003073862       | 0,002425177       | 0,00190997        | 0,001912293       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00202           | 0,05943103 | 0,00201997        | 0,003264026       | 0,002563786       | 0,00201997        | 0,002022293       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00234           | 0,07959492 | 0,00233996        | 0,00382177        | 0,002967002       | 0,00233996        | 0,002342292       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00244           | 0,08649893 | 0,00243996        | 0,003997351       | 0,003093004       | 0,00243996        | 0,002442292       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00253           | 0,09295795 | 0,00252996        | 0,004155863       | 0,003206405       | 0,00252996        | 0,002532291       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00262           | 0,0996495  | 0,00261996        | 0,004314824       | 0,003319806       | 0,00261996        | 0,00262229        |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00296           | 0,12702696 | 0,00295995        | 0,004919153       | 0,003748203       | 0,00295995        | 0,002962287       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00311           | 0,14016014 | 0,00310995        | 0,005187567       | 0,0039372         | 0,00310995        | 0,003112286       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00319           | 0,14742858 | 0,00318995        | 0,005331146       | 0,004037997       | 0,00318995        | 0,003192285       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00333           | 0,16059042 | 0,00332994        | 0,005583096       | 0,004214393       | 0,00332994        | 0,003332283       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,0034            | 0,16738232 | 0,00339994        | 0,00570939        | 0,00430259        | 0,00339994        | 0,003402282       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00347           | 0,17431484 | 0,00346994        | 0,005835889       | 0,004390787       | 0,00346994        | 0,003472281       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00354           | 0,18138808 | 0,00353994        | 0,005962594       | 0,004478984       | 0,00353994        | 0,003542281       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00367           | 0,19489716 | 0,00366994        | 0,006198427       | 0,004642778       | 0,00366994        | 0,003672279       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00386           | 0,21551385 | 0,00385993        | 0,006544299       | 0,004882169       | 0,00385993        | 0,003862276       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00404           | 0,23600129 | 0,00403993        | 0,00687322        | 0,005108958       | 0,00403993        | 0,004042274       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,0041            | 0,24303711 | 0,00409993        | 0,006983123       | 0,005184555       | 0,00409993        | 0,004102273       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00464           | 0,31100975 | 0,00463992        | 0,007977824       | 0,005864921       | 0,00463992        | 0,004642266       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00469           | 0,31772685 | 0,00468992        | 0,00807041        | 0,005927917       | 0,00468992        | 0,004692265       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00479           | 0,33137647 | 0,00478992        | 0,00825582        | 0,006053911       | 0,00478992        | 0,004792263       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00503           | 0,36530663 | 0,00502991        | 0,00870205        | 0,006356294       | 0,00502991        | 0,00503226        |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00513           | 0,37993213 | 0,00512991        | 0,008888485       | 0,006482286       | 0,00512991        | 0,005132258       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,0054            | 0,42085487 | 0,00539991        | 0,009393295       | 0,006822466       | 0,00539991        | 0,005402254       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00566           | 0,46223973 | 0,0056599         | 0,009881317       | 0,007150046       | 0,0056599         | 0,00566225        |
| 0,049 | 0,02041         | 0,0057            | 0,46877888 | 0,0056999         | 0,009956558       | 0,007200443       | 0,0056999         | 0,00570225        |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00574           | 0,47536392 | 0,0057399         | 0,010031841       | 0,007250839       | 0,0057399         | 0,005742249       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00578           | 0,48199483 | 0,0057799         | 0,010107166       | 0,007301236       | 0,0057799         | 0,005782248       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00603           | 0,52447899 | 0,0060299         | 0,01057888        | 0,007616215       | 0,0060299         | 0,006032244       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00611           | 0,53845285 | 0,0061099         | 0,010730161       | 0,007717009       | 0,0061099         | 0,006112243       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00645           | 0,59989118 | 0,00644989        | 0,011374849       | 0,008145381       | 0,00644989        | 0,006452238       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00649           | 0,6073374  | 0,00648989        | 0,011450876       | 0,008195778       | 0,00648989        | 0,006492237       |
| 0,049 | 0,02041         | 0,00688           | 0,68234454 | 0,00687988        | 0,012194065       | 0,008687144       | 0,00687988        | 0,006882231       |

## Annexes

|       |         |         |            |            |             |             |            |             |
|-------|---------|---------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 0,049 | 0,02041 | 0,00692 | 0,69028445 | 0,00691988 | 0,012270483 | 0,008737541 | 0,00691988 | 0,00692223  |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00709 | 0,72454136 | 0,00708988 | 0,012595651 | 0,008951726 | 0,00708988 | 0,007092227 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00712 | 0,73067286 | 0,00711988 | 0,012737453 | 0,009075138 | 0,00711988 | 0,007122227 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00722 | 0,75129761 | 0,00721988 | 0,013015993 | 0,009289143 | 0,00721988 | 0,007222225 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00729 | 0,7659059  | 0,00728988 | 0,01323858  | 0,009466672 | 0,00728988 | 0,007292225 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00755 | 0,82139601 | 0,00754987 | 0,013838033 | 0,009894382 | 0,00754987 | 0,00755222  |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00765 | 0,84325509 | 0,00764987 | 0,014126832 | 0,010117147 | 0,00764987 | 0,007652218 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00777 | 0,86986496 | 0,00776987 | 0,01445852  | 0,01036895  | 0,00776987 | 0,007772217 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,0078  | 0,87658189 | 0,00779987 | 0,01461177  | 0,01050268  | 0,00779987 | 0,007802216 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00783 | 0,88332489 | 0,00782987 | 0,014765814 | 0,010637132 | 0,00782987 | 0,007832216 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00793 | 0,90598764 | 0,00792986 | 0,015063934 | 0,010868056 | 0,00792986 | 0,007932214 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00802 | 0,92662964 | 0,00801986 | 0,015344211 | 0,011087581 | 0,00801986 | 0,008022213 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00817 | 0,96154942 | 0,00816986 | 0,01575164  | 0,011392779 | 0,00816986 | 0,008172209 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00823 | 0,9756984  | 0,00822986 | 0,015974993 | 0,011575227 | 0,00822986 | 0,008232209 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00831 | 0,99472411 | 0,00830986 | 0,016242104 | 0,011787432 | 0,00830986 | 0,008312207 |
| 0,049 | 0,02041 | 0,00888 | 1,1356007  | 0,00887985 | 0,017553388 | 0,012701227 | 0,00887985 | 0,008882198 |

**Tableau 2.11 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=56/60$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00178           | 0,02265392 | 0,00177995        | 0,002754753       | 0,002259915       | 0,00177995        | 0,00178242        |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00191           | 0,02604667 | 0,00190995        | 0,002970377       | 0,00242324        | 0,00190995        | 0,001912418       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00202           | 0,0291022  | 0,00201994        | 0,003153735       | 0,002561435       | 0,00201994        | 0,002022417       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00214           | 0,03262864 | 0,00213994        | 0,003354662       | 0,002712188       | 0,00213994        | 0,002142415       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00234           | 0,03895388 | 0,00233993        | 0,003691499       | 0,002963437       | 0,00233993        | 0,002342412       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00262           | 0,04874967 | 0,00261992        | 0,004166871       | 0,003315173       | 0,00261992        | 0,002622406       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00319           | 0,07208139 | 0,00318991        | 0,005146712       | 0,004031178       | 0,00318991        | 0,003192394       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00386           | 0,10531988 | 0,00385989        | 0,006316273       | 0,004872766       | 0,00385989        | 0,003862377       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00404           | 0,11532023 | 0,00403988        | 0,006633371       | 0,00509886        | 0,00403988        | 0,004042372       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00432           | 0,13177761 | 0,00431987        | 0,007128855       | 0,005450561       | 0,00431987        | 0,004322365       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00484           | 0,16525223 | 0,00483986        | 0,00805573        | 0,006103712       | 0,00483986        | 0,004842351       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00553           | 0,21551266 | 0,00552984        | 0,009297809       | 0,006970385       | 0,00552984        | 0,005532332       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00595           | 0,24936815 | 0,00594982        | 0,010060034       | 0,007497921       | 0,00594982        | 0,00595232        |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00622           | 0,27243599 | 0,00621982        | 0,010552325       | 0,00783705        | 0,00621982        | 0,006222312       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00688           | 0,33311914 | 0,0068798         | 0,011762756       | 0,008666029       | 0,0068798         | 0,006882293       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00802           | 0,45229423 | 0,00801976        | 0,01387499        | 0,010097896       | 0,00801976        | 0,00802226        |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00831           | 0,48551249 | 0,00830975        | 0,014416291       | 0,010462141       | 0,00830975        | 0,008312251       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00874           | 0,53693363 | 0,00873974        | 0,015221675       | 0,011002229       | 0,00873974        | 0,008742238       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00888           | 0,5542338  | 0,00887974        | 0,015484584       | 0,011178071       | 0,00887974        | 0,008882234       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,00954           | 0,63948628 | 0,00953972        | 0,016728392       | 0,012007041       | 0,00953972        | 0,009542215       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,01003           | 0,70672295 | 0,0100297         | 0,017656308       | 0,012622488       | 0,0100297         | 0,010032201       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,01096           | 0,84357601 | 0,01095967        | 0,019427298       | 0,013790578       | 0,01095967        | 0,010962173       |
| 0,056 | 0,01786         | 0,01243           | 1,08457918 | 0,01242963        | 0,02225084        | 0,015636912       | 0,01242963        | 0,01243213        |

**Tableau 2.12 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**

Pour  $D=86/90$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00574           | 0,02349171 | 0,00573983        | 0,008681517       | 0,007224461       | 0,00573983        | 0,005741497       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00652           | 0,0302538  | 0,0065198         | 0,009952287       | 0,00819857        | 0,0065198         | 0,006521461       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00755           | 0,04049151 | 0,00754977        | 0,011648722       | 0,009484843       | 0,00754977        | 0,007551414       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,00901           | 0,05755446 | 0,00900973        | 0,014084596       | 0,011308048       | 0,00900973        | 0,009011356       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01003           | 0,07125032 | 0,01002969        | 0,015805441       | 0,012581765       | 0,01002969        | 0,010031315       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01119           | 0,08860064 | 0,01118966        | 0,017779422       | 0,014030288       | 0,01118966        | 0,011191271       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01182           | 0,09881504 | 0,01181964        | 0,018858458       | 0,01481698        | 0,01181964        | 0,011821248       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01282           | 0,11617227 | 0,01281961        | 0,020580555       | 0,016065691       | 0,01281961        | 0,012821213       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01392           | 0,13688629 | 0,01391957        | 0,022487238       | 0,017439264       | 0,01391957        | 0,013921174       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01527           | 0,1646291  | 0,01526953        | 0,024843644       | 0,019125001       | 0,01526953        | 0,015271126       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01682           | 0,19963641 | 0,01681948        | 0,027569647       | 0,021060469       | 0,01681948        | 0,016821072       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01796           | 0,22753578 | 0,01795945        | 0,029587521       | 0,022483971       | 0,01795945        | 0,017961034       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,0185            | 0,24138793 | 0,01849943        | 0,03054697        | 0,023158261       | 0,01849943        | 0,018501017       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,01916           | 0,2588741  | 0,01915941        | 0,031722659       | 0,02398239        | 0,01915941        | 0,019160995       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,0203            | 0,29051751 | 0,02029937        | 0,03376096        | 0,025405885       | 0,02029937        | 0,020300956       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02138           | 0,32217806 | 0,02137934        | 0,035700439       | 0,026754457       | 0,02137934        | 0,021380922       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,0224            | 0,35358285 | 0,02239931        | 0,03753937        | 0,028028107       | 0,02239931        | 0,022400888       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02317           | 0,37825762 | 0,02316928        | 0,038932034       | 0,028989586       | 0,02316928        | 0,023170862       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02392           | 0,40309152 | 0,02391926        | 0,040292083       | 0,029926091       | 0,02391926        | 0,023920838       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02464           | 0,42767476 | 0,02463924        | 0,041600935       | 0,030825134       | 0,02463924        | 0,024640814       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02534           | 0,45227277 | 0,02533922        | 0,042876367       | 0,031699206       | 0,02533922        | 0,025340792       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02622           | 0,48417157 | 0,02621919        | 0,044483746       | 0,032798034       | 0,02621919        | 0,026220761       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02726           | 0,5232716  | 0,02725916        | 0,046388936       | 0,034096653       | 0,02725916        | 0,027260729       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02843           | 0,56907358 | 0,02842912        | 0,048539208       | 0,035557595       | 0,02842912        | 0,02843069        |
| 0,086 | 0,01163         | 0,02878           | 0,58314837 | 0,02877911        | 0,04918384        | 0,035994629       | 0,02877911        | 0,028780678       |
| 0,086 | 0,01163         | 0,03015           | 0,63989489 | 0,03014907        | 0,05171308        | 0,037705307       | 0,03014907        | 0,030150636       |

**Tableau 2.13 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=124/130$

| D     | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|-------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m     |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,124 | 0,00806         | 0,01955           | 0,03842772 | 0,01955174        | 0,029646808       | 0,024516912       | 0,01955174        | 0,01954762        |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02066           | 0,04289306 | 0,02066184        | 0,031460009       | 0,025902219       | 0,02066184        | 0,0206577         |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02114           | 0,04490001 | 0,02114189        | 0,032246525       | 0,026501269       | 0,02114189        | 0,021137737       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02149           | 0,04639233 | 0,02149192        | 0,032820922       | 0,026938074       | 0,02149192        | 0,021487762       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02218           | 0,04940578 | 0,02218198        | 0,033955477       | 0,027799202       | 0,02218198        | 0,022177814       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02306           | 0,05338658 | 0,02306206        | 0,035406515       | 0,028897449       | 0,02306206        | 0,023057881       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02349           | 0,05538782 | 0,0234921         | 0,036117156       | 0,029434089       | 0,0234921         | 0,023487912       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02402           | 0,05790514 | 0,02402215        | 0,036994494       | 0,030095531       | 0,02402215        | 0,024017955       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02464           | 0,0609209  | 0,02464221        | 0,038022761       | 0,030869288       | 0,02464221        | 0,024638002       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02554           | 0,06543483 | 0,02554229        | 0,039519068       | 0,031992483       | 0,02554229        | 0,025538072       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02679           | 0,07197177 | 0,02679241        | 0,041604224       | 0,033552474       | 0,02679241        | 0,026788174       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02771           | 0,07698171 | 0,02771249        | 0,043143872       | 0,03470062        | 0,02771249        | 0,027708247       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02789           | 0,07798164 | 0,02789251        | 0,043445592       | 0,034925259       | 0,02789251        | 0,027888263       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02878           | 0,0830205  | 0,02878259        | 0,044939675       | 0,036035963       | 0,02878259        | 0,028778335       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02922           | 0,08556988 | 0,02922263        | 0,045679689       | 0,036585072       | 0,02922263        | 0,029218369       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,02948           | 0,08709446 | 0,02948265        | 0,046117391       | 0,036909547       | 0,02948265        | 0,029478391       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,03015           | 0,09108523 | 0,03015271        | 0,047246728       | 0,037745696       | 0,03015271        | 0,030148448       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,03139           | 0,0987069  | 0,03139282        | 0,049342085       | 0,039293183       | 0,03139282        | 0,031388548       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,03417           | 0,11690693 | 0,03417308        | 0,054063428       | 0,042762549       | 0,03417308        | 0,034168783       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,03583           | 0,12850836 | 0,03583323        | 0,056897448       | 0,044834171       | 0,03583323        | 0,03582892        |
| 0,124 | 0,00806         | 0,03695           | 0,13664588 | 0,03695333        | 0,058815525       | 0,046231898       | 0,03695333        | 0,036949019       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,0381            | 0,14526123 | 0,03810344        | 0,060789797       | 0,047667054       | 0,03810344        | 0,038099115       |
| 0,124 | 0,00806         | 0,03942           | 0,15547481 | 0,03942356        | 0,063061785       | 0,049314368       | 0,03942356        | 0,03941923        |
| 0,124 | 0,00806         | 0,04069           | 0,16562898 | 0,04069367        | 0,065253447       | 0,050899278       | 0,04069367        | 0,040689339       |

**Tableau 2.14 ; Valeurs des débits calculés par les relations de Colébrook (2.1), Williams-Hazen (2.3) , Manning-Strickler (2.4) , Hager (2.2) et Achour-Bedjaoui (2.8)**  
Pour  $D=130/140$

| D    | $\varepsilon/D$ | $Q_{exp}$         | $J_{exp}$  | Colébrook         | Williams-Hazen    | Manning-Strickler | Hager             | Achour-Bedjaoui   |
|------|-----------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| m    |                 | m <sup>3</sup> /s | m/m        | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s |
| 0,13 | 0,00769         | 0,01478           | 0,01715146 | 0,01478069        | 0,021715229       | 0,018578834       | 0,01478069        | 0,014775316       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,01682           | 0,02217567 | 0,01682079        | 0,024946825       | 0,021125465       | 0,01682079        | 0,016815336       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,01782           | 0,02487385 | 0,01782084        | 0,026542575       | 0,022373782       | 0,01782084        | 0,01781535        |
| 0,13 | 0,00769         | 0,01823           | 0,02602486 | 0,01823086        | 0,027198914       | 0,022885589       | 0,01823086        | 0,018225357       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,01864           | 0,0272019  | 0,01864088        | 0,027856427       | 0,023397396       | 0,01864088        | 0,018635366       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02005           | 0,03144842 | 0,02005095        | 0,030126258       | 0,02515749        | 0,02005095        | 0,020045397       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,0209            | 0,0341571  | 0,02090099        | 0,031500799       | 0,026218534       | 0,02090099        | 0,02089542        |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02138           | 0,03573612 | 0,02138101        | 0,032278981       | 0,026817704       | 0,02138101        | 0,021375431       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02207           | 0,03806846 | 0,02207105        | 0,033400048       | 0,02767901        | 0,02207105        | 0,022065449       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02272           | 0,04033302 | 0,02272108        | 0,034458679       | 0,028490382       | 0,02272108        | 0,022715466       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02274           | 0,04040375 | 0,02274108        | 0,034491298       | 0,028515352       | 0,02274108        | 0,022735471       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02354           | 0,04328318 | 0,02354112        | 0,035797622       | 0,02951396        | 0,02354112        | 0,023535493       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02392           | 0,04468562 | 0,02392114        | 0,03641937        | 0,029988296       | 0,02392114        | 0,023915504       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02494           | 0,04856062 | 0,02494118        | 0,038092134       | 0,031261514       | 0,02494118        | 0,024935536       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02641           | 0,05442855 | 0,02641126        | 0,040512429       | 0,03309644        | 0,02641126        | 0,026405586       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02744           | 0,05873941 | 0,0274413         | 0,042214709       | 0,034382123       | 0,0274413         | 0,027435617       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,02825           | 0,06224491 | 0,02825135        | 0,043556994       | 0,035393199       | 0,02825135        | 0,028245649       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,0293            | 0,06694025 | 0,0293014         | 0,045301542       | 0,036703845       | 0,0293014         | 0,029295687       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03024           | 0,0712885  | 0,03024144        | 0,04686756        | 0,03787718        | 0,03024144        | 0,03023572        |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03114           | 0,07557992 | 0,03114149        | 0,04837058        | 0,039000584       | 0,03114149        | 0,031135753       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03194           | 0,07949981 | 0,03194153        | 0,049709514       | 0,039999167       | 0,03194153        | 0,031935785       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03226           | 0,0810955  | 0,03226154        | 0,050245836       | 0,040398597       | 0,03226154        | 0,032255796       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03311           | 0,08541107 | 0,03311158        | 0,0516725         | 0,041459588       | 0,03311158        | 0,033105831       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03446           | 0,09249511 | 0,03446165        | 0,05394435        | 0,043144684       | 0,03446165        | 0,034455882       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03541           | 0,09764933 | 0,03541169        | 0,055547336       | 0,04433049        | 0,03541169        | 0,03540592        |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03743           | 0,10907327 | 0,03743179        | 0,058967094       | 0,046851885       | 0,03743179        | 0,037426002       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,0383            | 0,11418812 | 0,03830183        | 0,060444547       | 0,047937829       | 0,03830183        | 0,038296038       |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03909           | 0,11893416 | 0,03909187        | 0,061788464       | 0,048923915       | 0,03909187        | 0,03908607        |
| 0,13 | 0,00769         | 0,03999           | 0,12445881 | 0,03999192        | 0,063322153       | 0,050047308       | 0,03999192        | 0,03998611        |

## Annexes

|      |         |         |            |            |             |             |            |             |
|------|---------|---------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 0,13 | 0,00769 | 0,04088 | 0,13004537 | 0,04088196 | 0,064841503 | 0,051158211 | 0,04088196 | 0,040876145 |
| 0,13 | 0,00769 | 0,04192 | 0,1367289  | 0,04192201 | 0,066620272 | 0,052456349 | 0,04192201 | 0,041916191 |
| 0,13 | 0,00769 | 0,04265 | 0,14152023 | 0,04265205 | 0,067870935 | 0,053367538 | 0,04265205 | 0,04264622  |
| 0,13 | 0,00769 | 0,04342 | 0,14666352 | 0,04342208 | 0,069191981 | 0,054328655 | 0,04342208 | 0,043416252 |
| 0,13 | 0,00769 | 0,04395 | 0,15025707 | 0,04395211 | 0,070102367 | 0,054990208 | 0,04395211 | 0,043946278 |

**Tableau 2.16 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 86/90$**

| Ecart %   |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 54,29          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 55,59          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 56,99          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 57,14          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 58,14          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 59,55          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 59,76          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 59,76          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 59,96          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 60,89          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 61,06          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 61,55          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 61,86          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 62,83          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 63,45          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 63,57          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 64,23          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 64,54          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 64,74          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 64,93          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,21          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,48          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,74          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,99          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 66,23          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 66,61          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 66,69          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 66,98          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 67,26          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 67,65          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 67,84 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 68,09 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 68,33 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 68,67 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 68,67 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |

**Tableau 2.17 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 49/50$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 66,82          | 0,27              | 0,00  | 0,07            |
| 0,00      | 68,44          | 0,27              | 0,00  | 0,07            |
| 0,00      | 69,54          | 0,26              | 0,00  | 0,07            |
| 0,01      | 71,02          | 0,26              | 0,01  | 0,06            |
| 0,00      | 71,63          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 72,50          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 73,02          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 73,72          | 0,26              | 0,00  | 0,04            |
| 0,01      | 74,28          | 0,26              | 0,01  | 0,05            |
| 0,01      | 74,98          | 0,26              | 0,01  | 0,05            |
| 0,01      | 75,42          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,00      | 76,12          | 0,26              | 0,00  | 0,04            |
| 0,00      | 76,51          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 76,97          | 0,26              | 0,00  | 0,04            |
| 0,00      | 77,79          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 78,24          | 0,26              | 0,00  | 0,04            |
| 0,00      | 78,82          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 79,51          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 79,63          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,01      | 80,10          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,00      | 80,20          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,01      | 80,57          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,00      | 81,42          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 81,62          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 82,00          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 82,36          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,01      | 82,70          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,00      | 83,04          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 83,36          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,01 | 83,50 | 0,26 | 0,01 | 0,02 |
| 0,01 | 83,95 | 0,26 | 0,01 | 0,02 |
| 0,00 | 84,10 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 84,38 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 84,77 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 85,03 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |

**Tableau 2.18 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 60/63$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,01      | 60,32          | 0,26              | 0,01  | 0,06            |
| 0,00      | 61,26          | 0,26              | 0,00  | 0,06            |
| 0,01      | 62,09          | 0,26              | 0,01  | 0,07            |
| 0,00      | 62,80          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 63,47          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 64,07          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 65,12          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,01      | 66,01          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,01      | 67,88          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,01      | 68,19          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,00      | 69,35          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 70,11          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 70,34          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 71,21          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 71,40          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 71,59          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 72,16          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,01      | 72,66          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,00      | 72,83          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,01      | 72,99          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 73,45          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 74,02          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,00      | 74,43          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 74,56          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,01      | 74,80          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 75,17          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 75,40          | 0,26              | 0,01  | 0,01            |
| 0,00      | 75,52          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 75,74 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,01 | 75,84 | 0,26 | 0,01 | 0,01 |
| 0,00 | 75,95 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 76,06 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,01 | 76,26 | 0,26 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 76,45 | 0,26 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 76,65 | 0,26 | 0,01 | 0,01 |
| 0,00 | 77,93 | 0,27 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 79,48 | 0,28 | 0,00 | 0,01 |

**Tableau 2.19 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 69/80$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 62,21          | 0,26              | 0,00  | 0,04            |
| 0,00      | 64,37          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 66,78          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 68,51          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 69,50          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 70,28          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 71,46          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 71,54          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 71,69          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 72,06          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 72,68          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 72,81          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 73,06          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 73,18          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 73,31          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 73,43          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 73,77          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 73,89          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 74,00          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 74,42          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 74,63          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 74,92          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 75,02          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 75,34          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 75,57          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 75,83          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 75,91          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 76,12 | 0,25 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 76,20 | 0,25 | 0,00 | 0,02 |

**Tableau 2.20 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 77/80$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 56,16          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 56,86          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 57,77          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 58,05          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 58,82          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 59,06          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 59,51          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 60,51          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 61,05          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 61,39          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 62,01          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 63,11          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 63,23          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 63,83          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 64,68          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 64,88          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,26          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,53          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,96          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 66,29          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 66,60          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 66,97          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 67,32          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 67,46          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 67,85          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 67,98          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 68,34 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 68,57 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 68,85 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 68,91 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 69,02 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 69,18 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 69,38 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 69,49 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 69,64 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 70,96 | 0,26 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 72,19 | 0,28 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 73,93 | 0,29 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 75,50 | 0,30 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 76,76 | 0,31 | 0,00 | 0,01 |

**Tableau 2.21 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 87/90$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,01      | 52,22          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,01      | 52,22          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,01      | 52,53          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,01      | 53,36          | 0,26              | 0,01  | 0,03            |
| 0,01      | 55,15          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 56,05          | 0,26              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 56,69          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 56,85          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 57,42          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 57,81          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 58,43          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 58,54          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 58,99          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 59,60          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 60,34          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 60,60          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 61,00          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 61,24          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 61,54          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 61,89          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 62,36          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 62,55          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 62,61          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 62,74          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |
| 0,01      | 62,80          | 0,25              | 0,01  | 0,02            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,01 | 63,09 | 0,25 | 0,01 | 0,02 |
| 0,01 | 63,49 | 0,25 | 0,01 | 0,02 |
| 0,01 | 63,96 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 64,31 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 64,45 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 64,82 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 65,09 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 65,22 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 65,34 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 65,59 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 66,89 | 0,26 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 68,15 | 0,28 | 0,01 | 0,01 |

**Tableau 2.22 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 121/125$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,01      | 49,63          | 0,26              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 50,31          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 50,82          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 51,56          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 51,98          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 52,53          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 52,96          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 53,30          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 53,62          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,16          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,22          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,60          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,66          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,87          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 55,27          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 55,53          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 56,08          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |
| 0,01      | 56,46          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |
| 0,01      | 56,71          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |
| 0,01      | 56,96          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |
| 0,01      | 57,32          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |
| 0,01      | 57,53          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |
| 0,01      | 57,76          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,01 | 58,15 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 58,45 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 58,68 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 59,07 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 59,39 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 59,58 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 59,91 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 60,16 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 60,50 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 60,63 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 60,85 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 60,96 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 62,22 | 0,26 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 63,49 | 0,27 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 64,70 | 0,29 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 65,93 | 0,30 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 67,14 | 0,31 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 68,49 | 0,32 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 69,75 | 0,33 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 70,85 | 0,35 | 0,01 | 0,00 |

**Tableau 2.23 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 107/110$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,01      | 48,78          | 0,26              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 49,98          | 0,26              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 51,08          | 0,26              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 52,02          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 52,98          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 53,81          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,00          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,49          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 55,36          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 56,26          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 56,81          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 57,32          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 57,72          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 58,00          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 58,23          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 58,43          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 58,74          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 58,97          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 59,26          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 59,37          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 59,59          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,01 | 59,95 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 60,29 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 60,58 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 60,93 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 61,13 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 61,48 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 61,63 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 61,92 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 62,20 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 62,55 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 62,77 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 63,14 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 63,53 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 63,74 | 0,25 | 0,01 | 0,01 |
| 0,01 | 65,06 | 0,26 | 0,01 | 0,01 |

**Tableau 2.24 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour D 49/50**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 59,74          | 0,27              | 0,00  | 0,13            |
| 0,00      | 60,94          | 0,27              | 0,00  | 0,12            |
| 0,00      | 61,59          | 0,27              | 0,00  | 0,11            |
| 0,00      | 63,32          | 0,27              | 0,00  | 0,10            |
| 0,00      | 63,83          | 0,27              | 0,00  | 0,09            |
| 0,00      | 64,26          | 0,27              | 0,00  | 0,09            |
| 0,00      | 64,69          | 0,27              | 0,00  | 0,09            |
| 0,00      | 66,19          | 0,27              | 0,00  | 0,08            |
| 0,00      | 66,80          | 0,27              | 0,00  | 0,07            |
| 0,00      | 67,12          | 0,27              | 0,00  | 0,07            |
| 0,00      | 67,66          | 0,27              | 0,00  | 0,07            |
| 0,00      | 67,92          | 0,27              | 0,00  | 0,07            |
| 0,00      | 68,18          | 0,27              | 0,00  | 0,07            |
| 0,00      | 68,43          | 0,27              | 0,00  | 0,06            |
| 0,00      | 68,89          | 0,27              | 0,00  | 0,06            |
| 0,00      | 69,54          | 0,26              | 0,00  | 0,06            |
| 0,00      | 70,13          | 0,26              | 0,00  | 0,06            |
| 0,00      | 70,32          | 0,26              | 0,00  | 0,06            |
| 0,00      | 71,94          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 72,08          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |
| 0,00      | 72,36          | 0,26              | 0,00  | 0,05            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 73,00 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 73,26 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 73,95 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 74,58 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 74,68 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 74,77 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 74,86 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 75,44 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 75,62 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 76,35 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 76,44 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 77,24 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 77,32 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 77,65 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 78,90 | 0,27 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 80,28 | 0,29 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 81,60 | 0,30 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 83,29 | 0,31 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 84,66 | 0,32 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 86,08 | 0,33 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 87,33 | 0,35 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 88,58 | 0,36 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 89,96 | 0,37 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 91,32 | 0,38 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 92,80 | 0,39 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 94,11 | 0,41 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 95,45 | 0,42 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 97,67 | 0,43 | 0,00 | 0,02 |

**Tableau 2.25 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour D 56/60**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 54,76          | 0,27              | 0,00  | 0,14            |
| 0,00      | 55,52          | 0,27              | 0,00  | 0,13            |
| 0,00      | 56,13          | 0,27              | 0,00  | 0,12            |
| 0,00      | 56,76          | 0,27              | 0,00  | 0,11            |
| 0,00      | 57,76          | 0,27              | 0,00  | 0,10            |
| 0,00      | 59,04          | 0,27              | 0,00  | 0,09            |
| 0,00      | 61,34          | 0,26              | 0,00  | 0,08            |
| 0,00      | 63,63          | 0,26              | 0,00  | 0,06            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 64,19 | 0,26 | 0,00 | 0,06 |
| 0,00 | 65,02 | 0,26 | 0,00 | 0,05 |
| 0,00 | 66,44 | 0,26 | 0,00 | 0,05 |
| 0,00 | 68,13 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 69,08 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 69,65 | 0,26 | 0,00 | 0,04 |
| 0,00 | 70,97 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 73,00 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 73,48 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 74,16 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 74,38 | 0,26 | 0,00 | 0,03 |
| 0,00 | 75,35 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 76,03 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 77,26 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |
| 0,00 | 79,01 | 0,26 | 0,00 | 0,02 |

**Tableau 2.26 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 86/90$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 51,25          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 52,64          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 54,29          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 56,32          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 57,58          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 58,89          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 59,55          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 60,53          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 61,55          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 62,70          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 63,91          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 64,74          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,12          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 65,57          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |
| 0,00      | 66,31          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 66,98          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 67,59          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 68,03          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |
| 0,00      | 68,45          | 0,25              | 0,00  | 0,00            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 68,83 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 69,20 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 69,66 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 70,17 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 70,73 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 70,90 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 71,52 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |

**Tableau 2.27 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 124/130$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,01      | 51,65          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 52,27          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 52,54          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 52,73          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 53,09          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 53,54          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 53,76          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,02          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,31          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 54,73          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 55,30          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 55,70          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 55,77          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 56,15          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 56,33          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 56,44          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 56,71          | 0,25              | 0,01  | 0,01            |
| 0,01      | 57,19          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |
| 0,01      | 58,22          | 0,25              | 0,01  | 0,00            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,01 | 58,80 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 59,18 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 59,55 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 59,97 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |
| 0,01 | 60,37 | 0,25 | 0,01 | 0,00 |

**Tableau 2.28 ; Valeurs des écarts sur le calcul des débits Pour  $D = 130/140$**

| Ecart     |                |                   |       |                 |
|-----------|----------------|-------------------|-------|-----------------|
| Colébrook | Williams-Hazen | Manning-Strickler | Hager | Achour-Bedjaoui |
| 0,00      | 46,92          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 48,32          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 48,95          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 49,20          | 0,26              | 0,00  | 0,03            |
| 0,00      | 49,44          | 0,26              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 50,26          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 50,72          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 50,98          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 51,34          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 51,67          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 51,68          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 52,07          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 52,25          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 52,74          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 53,40          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 53,84          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 54,18          | 0,25              | 0,00  | 0,02            |
| 0,00      | 54,61          | 0,25              | 0,00  | 0,01            |

## Annexes

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0,00 | 54,99 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 55,33 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 55,63 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 55,75 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 56,06 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 56,54 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 56,87 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 57,54 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 57,82 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 58,07 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 58,34 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 58,61 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 58,92 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 59,13 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 59,36 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |
| 0,00 | 59,50 | 0,25 | 0,00 | 0,01 |