

**UNIVERSITÉ 8 Mai 1945 - Guelma**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
*Département de Génie Mécanique*



## **Mémoire de Fin d'Etudes**

Présenté par: **KAHALERRAS Amira**

**Master 2**

**Option: Construction Mécanique**

---

# **Simulation de l'Extension d'un Système d'Approvisionnement-Distribution d'Eau en Milieu Urbain**

---

Sous la Direction de  
**Pr. S. BOUTABBA**  
**Pr. A. HADDAD**

Année universitaire 2019/2020

**A**

**Dieu tout puissant pour tous ses bienfaits.**

**Je dédie ce travail :**

**A mon cher père**

**A ma chère mère**

**A mes neveux « Med Iskander, Taym Allah Adib»**

**A ma nièce «Aridj»**

**A mes deux frères et leurs épouses**

**A toute la famille KAHALERRAS et AMIROUCHE**

**A tous mes amis, spécialement Hanane, Asma et Nesrine ainsi qu'à tous mes collègues en particulier Khawla et Bouthayna.**

## REMERCIEMENTS

**Tout d'abord, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, patience, santé et volonté tout au long de nos études.**

**J'exprime mes profonds remerciements à mon encadreur, monsieur le professeur A. HADDAD pour l'aide compétente qu'il m'a apporté, pour sa patience et son encouragement. Son regard critique m'a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différentes sections. Je veux vraiment vous remercier car j'ai eu beaucoup de chance de vous avoir comme encadreur.**

**D'autre part et à ce propos, j'exprime de ma profonde gratitude à H. BOUMAZA qui a mis sa confiance dans le développement de ce travail et a suivi de près ma démarche scientifique pour mener à bien ce travail.**

**Je remercie sincèrement aussi les membres du jury qui m'ont honoré par l'acceptation de l'évaluation de la thèse de ce Master.**

**Sans oublier tous les enseignants du Département de Génie Mécanique.**

# SOMMAIRE

<b>Dédicace</b>	<b>2</b>
<b>Remerciements</b>	<b>3</b>
<b>Sommaire</b>	<b>4</b>
<b>Liste des Figures</b>	<b>7</b>
<b>Liste des Tableaux</b>	<b>9</b>
<b>Liste des Notations</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>11</b>
<b>Chapitre 1 : PROPRIETES DES FLUIDES ET LEURS ECOULEMENTS</b>	<b>13</b>
<b>1.1: Introduction</b>	<b>13</b>
<b>1.2: Les fluides</b>	<b>13</b>
<b>1.3: Système d'unité</b>	<b>13</b>
<b>1.4: Propriétés des fluides</b>	<b>14</b>
1.4.1: La pression	14
1.4.2: La masse volumique	14
1.4.3: La densité	14
1.4.4: Le poids spécifique et le poids volumique	14
1.4.5: La compressibilité	14
1.4.6: La viscosité	15
<b>1.5: Classification des fluides</b>	<b>16</b>
1.5.1: Les fluides newtoniens	16
1.5.2: Les fluides non newtoniens	16
<b>1.6: Classification des écoulements</b>	<b>16</b>
1.6.1: Ecoulement stationnaire et écoulement instationnaire	16
1.6.2: Ecoulement parfaits réels	17
1.6.3: Ecoulement compressibles et incompressibles	17
1.6.4: Ecoulement laminaire et turbulent	17
1.6.5: Expérience de Reynolds	18
1.6.6: Ecoulement en charge ou écoulement à surface libre	19
1.6.7: Effets de la viscosité au sein des écoulements internes	19
<b>1.7: Equations de conservation</b>	<b>20</b>
1.7.1: Equation de la conservation de la masse ou de la continuité	21
1.7.2: Equation de conservation de la quantité de mouvement	21

1.7.3: Equation d'Euler	22
1.7.4: Equation de conservation de l'énergie	22
1.7.5: Equation de Bernoulli pour fluide parfait	23
<b>Chapitre 2 : PERTES DE CHARGE-FORMULATION</b>	<b>24</b>
2.1: Introduction	24
2.2: Les pertes de charge de charge-équation de Bernoulli	24
2.3: Les différents types de pertes de charge	25
2.3.1: Le coefficient de frottement en écoulement laminaire	26
2.3.2: Le coefficient de frottement en écoulement turbulent	26
2.4: Les pertes de charge majeures ou régulières	28
2.4.1: Equation de Hazen-Williams	28
2.4.2: Equation de Darcy-Weisbach	28
2.4.3: Equation de Manning	29
2.5: Les pertes de charge mineures ou singulières	29
<b>Chapitre 3 : PERTES DE CHARGE-APPLICATION AUX RESEAUX AEP</b>	<b>34</b>
3.1: Introduction	34
3.2: Description d'un réseau d'AEP	34
3.3: Le réseau de distribution	35
3.3.1: Définition	35
3.3.2: Classification des réseaux d'AEP	35
3.4: Choix du matériau des conduites	36
3.4.1: Assemblages	36
3.4.2: Accessoires de réseau	37
3.5: Les méthodes d'analyse des réseaux	38
3.6: Modélisation des réseaux AEP	38
3.6.1: Définition	38
3.6.2: Modélisation des réseaux d'AEP	39
3.7: Les logiciels de modélisation de réseaux d'AEP	39
3.7.1: Aquis	39
3.7.2: Aquadapt	39
3.7.3: EauSynergie	39
3.7.4: ElyxAqua	40
3.7.5: Epanet	40
3.7.6: Resodo	40
3.7.7: WaterCAD	40
3.7.8: Piccolo	40
3.7.9: Porteau	40
<b>Chapitre 4 : SCENARIO D'EXTENSION DU RESEAU AEP SUD-GUELMA</b>	<b>41</b>
4.1: Introduction	41
4.2: Le logiciel de simulation 'EPANET'	41
4.2.1: Définition	41

4.2.2: Objectifs	41
<b>4.3: Equipements de la zone d'étude</b>	<b>43</b>
4.3.1:Habitat	43
4.3.2: Equipements	43
<b>4.4: Moyens utilisés</b>	<b>43</b>
<b>4.5: Modélisation et simulation</b>	<b>43</b>
4.5.1: Résultats et analyse-Dimensions initiales- Extension-Sud	44
<b>4.6: Présentation du site (campus universitaire)</b>	<b>49</b>
4.6.1: Résultats et analyse-Dimensions initiales- Extension-Sud+ Univ.	50
<b>4.7: Comparaison réseau initial et ajouté au site universitaire</b>	<b>55</b>
4.7.1:La pression aux nœuds	55
4.7.2: Les vitesses dans les conduites	55
4.7.3: Les débits dans les conduites	56
4.7.4: Les pertes de charge dans les conduites	56
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>59</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>62</b>
ANNEXE A:	62
ANNEXE B:	63
ANNEXE C:	64
ANNEXE D:	65
ANNEXE E:	67
ANNEXE F:	69
ANNEXE G:	73

---

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.1</b>	Relation contrainte de cisaillement-taux de cisaillement pour divers fluides	<b>16</b>
<b>Figure 1.2</b>	Force d'interaction entre un fluide et le milieu extérieur	<b>17</b>
<b>Figure 1.3</b>	Profils des vitesses au sein d'écoulements laminaire et turbulent	<b>17</b>
<b>Figure 1.4</b>	Expérience de Reynolds et représentation laminaire et turbulent	<b>18</b>
<b>Figure 1.5</b>	Divers régimes d'écoulement et Reynolds critique	<b>19</b>
<b>Figure 1.6</b>	Profil de la vitesse dans une conduite de section droite circulaire	<b>19</b>
<b>Figure 1.7</b>	Écoulement laminaire à l'entrée d'une conduite-Etablissement du profil de la vitesse	<b>20</b>
<b>Figure 2.1</b>	Equation de Bernoulli pour un fluide parfait exprimé en termes de pression	<b>24</b>
<b>Figure 2.2</b>	Écoulement entre deux réservoirs à travers une pompe et une turbine	<b>25</b>
<b>Figure 2.3</b>	Diagramme de Moody	<b>27</b>
<b>Figure 3.1</b>	Schéma descriptif d'un système d'AEP	<b>34</b>
<b>Figure 3.2</b>	Schéma d'un réseau de distribution type ramifié	<b>35</b>
<b>Figure 3.3</b>	Réseau de distribution type maillé	<b>35</b>
<b>Figure 3.4</b>	Les matériaux des tuyaux	<b>36</b>
<b>Figure 3.5</b>	Les pièces de raccord	<b>37</b>
<b>Figure 4.1</b>	Position de l'extension Sud de la ville de Guelma	<b>42</b>
<b>Figure 4.2</b>	Frontière de l'extension-Sud	<b>42</b>
<b>Figure 4.3</b>	Numérisation du Réseau AEP-Google Earth	<b>44</b>
<b>Figure 4.4</b>	Distribution de la pression aux nœuds	<b>45</b>
<b>Figure 4.5</b>	Pression aux nœuds	<b>46</b>
<b>Figure 4.6</b>	Distribution des vitesses dans les conduites	<b>46</b>
<b>Figure 4.7</b>	Pression dans les conduites	<b>47</b>
<b>Figure 4.8</b>	Distribution des débits dans les conduites	<b>47</b>
<b>Figure 4.9</b>	Débits dans les conduites	<b>48</b>
<b>Figure 4.10</b>	Distribution des pertes de charge dans les conduites	<b>48</b>
<b>Figure 4.11</b>	Pertes de charge dans les conduites	<b>49</b>
<b>Figure 4.12</b>	Numérisation du campus Université-Google Earth	<b>49</b>
<b>Figure 4.13</b>	Réseau de distribution d'eau du campus Université	<b>50</b>
<b>Figure 4.14</b>	Distribution de la pression aux nœuds	<b>51</b>

<b>Figure 4.15</b>	Pression aux nœuds	<b>51</b>
<b>Figure 4.16</b>	Distribution des vitesses dans les conduites	<b>52</b>
<b>Figure 4.17</b>	Vitesse dans les conduites	<b>52</b>
<b>Figure 4.18</b>	Distribution des débits dans les conduites	<b>53</b>
<b>Figure 4.19</b>	Débits dans les conduites	<b>53</b>
<b>Figure 4.20</b>	Distribution des pertes de charge dans les conduites	<b>54</b>
<b>Figure 4.21</b>	Pertes des charge les conduites	<b>54</b>
<b>Figure 4.22</b>	Pression aux nœuds	<b>55</b>
<b>Figure 4.23</b>	Vitesse dans les conduites	<b>55</b>
<b>Figure 4.24</b>	Débit dans les conduites	<b>56</b>
<b>Figure 4.25</b>	Perte de charge dans les conduites	<b>56</b>

---



# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.1</b>	Principales unités dans le système international (SI)	<b>13</b>
<b>Tableau 2.1</b>	Rugosité de surfaces équivalente de divers matériaux	<b>27</b>
<b>Tableau 2.2</b>	Valeurs du coefficient de Manning pour différents matériaux	<b>29</b>
<b>Tableau 2.3</b>	Coefficients de pertes de charges mineures	<b>30</b>
<b>Tableau 4.1</b>	Nombre d'habitats dans la zone d'étude	<b>43</b>
<b>Tableau 4.2</b>	Nombre et types d'habitat dans la zone d'étude	<b>43</b>
<b>Tableau 4.3</b>	Dimensions de conduites du réseau de distribution	<b>45</b>
<b>Tableau 4.4</b>	Dimensions du réseau de distribution	<b>50</b>

---

# LISTE DES NOTATIONS

Sauf indication contraire, les notations appliquées sont les suivantes:

$C_{HW}$	: [-]	: Coefficient de Hazen-Williams
$d$	: [-]	: Densité
$D$	: [m]	: Diamètre
$D_H$	: [m]	: Diamètre hydraulique
$E$	: [J]	: Energie
$F$	: [N]	: Force
$f$	: [-]	: Coefficient de frottement
$g$	: [m/s <sup>2</sup> ]	: Accélération de la pesanteur
$h$	: [m]	: Altitude
$h_m$	: [-]	: Perte de charge singulière
$h_f$	: [m]	: Perte de charge par frottement
$h_{pertezs}$	[m]	: Pertes de charge totales (frottements et singularités)
$h_{pompe}$	[m]	: Charge fournie par la pompe
$h_{turbine}$	[m]	: Charge récupéré par la turbine
$K$	: [-]	: Coefficient de perte de charge singulière
$L$	: [m]	: Longueur
$M$	: [kg]	: Masse
$N$	: [-]	: Coefficient de rugosité de Manning
$P$	: [Pa ou N/m <sup>2</sup> ]	: Pression
$Q$	: [m <sup>3</sup> /s]	: Débit
$Re$	: [-]	: Nombre de Reynold
$S$	: [m <sup>2</sup> ]	: Surface
$T$	: [K]	: Température
$\vartheta$	: [m <sup>3</sup> ]	: Vitesse moyenne
$V$	: [m/s]	: Vitesse
$u, v, w$	: [m/s]	: Composantes de la vitesse
$x, y, z$	: [m]	: Coordonnées cartésiennes
$\gamma$	: [N/m <sup>3</sup> ]	: Poids spécifique
$\delta$	: [m]	: Epaisseur de la couche limite laminaire
$\varepsilon$	: [m]	: Rugosité
$\mu$	: [Ns/m <sup>2</sup> ]	: Viscosité dynamique
$\nu$	: [m <sup>2</sup> /s]	: Viscosité cinématique
$\rho$	: [kg/m <sup>3</sup> ]	: Masse volumique
$\tau$	: [N/m <sup>2</sup> ou kg/ms]	: Contrainte de cisaillement
$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + h_{pompe} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_{turbine} + h_{pertezs}$		

# INTRODUCTION

L'une des issues les plus importants de l'histoire de l'humanité a été de fournir suffisamment d'eau aux qualités et quantités appropriées. La plupart des premières civilisations se sont installées auprès des sources d'eau courantes (telles les rivières). A mesure que les populations augmentaient, le défi de répondre aux demandes des utilisateurs en eau potable augmentait également. Le transport de l'eau de sa source vers les communautés lointaines a ainsi commencé. Par exemple, les Romains ont construit des aqueducs pour fournir de l'eau de sources éloignées à leurs communautés.

Aujourd'hui, un système d'approvisionnement et de distribution d'eau consiste en une infrastructure qui non seulement collecte, traite, stocke mais distribue aussi l'eau entre ses sources d'eau et les consommateurs. Son but est de fournir de l'eau au consommateur avec une qualité, une quantité et une pression appropriées. Plusieurs exigences doivent être respectées pour atteindre un bon système de distribution. Ainsi:

- La qualité de l'eau ne doit pas se détériorer dans les conduites de distribution,
- Le système doit être capable de fournir de l'eau à tous les nœuds prévus avec une hauteur de pression suffisante,
- La quantité d'eau requise pendant les luttes contre les incendies doit aussi être prise en compte,
- Le système de canalisations doit être assez étanche afin de minimiser les pertes dues aux fuites.

De nombreux efforts de développement ont été consentis afin de développer des systèmes d'approvisionnement en eau capables d'assurer un approvisionnement durable. Cependant, la complexité de tels systèmes en a limité l'application aux premières tentatives. De nombreuses études ont été réalisées afin de permettre aux décideurs d'atteindre des conceptions fiables mais aussi durables en termes d'exploitation à long terme. Ceci n'a pas été aisé au vu des augmentations des pressions de la demande en eau sur les systèmes d'approvisionnement existants. C'est dans ce contexte général que s'inscrit le travail réalisé. Il vise en effet à contribuer à l'étude-analyse du réseau d'alimentation en eau potable de l'extension au sud de la ville de Guelma, et à l'étendre à une extension représentée par un campus universitaire intégrant des blocs alloués aux activités académiques et administratives ainsi que d'autres activités cognitives, le tout sur une surface bâtie de 150.000 m<sup>2</sup>. Le réseau de distribution d'eau du campus universitaire, se composant de 29 nœuds de demande et de 30 conduites d'une longueur totale avoisinant les 4 kms (3920, 99 m), sera ajouté à celui de l'extension sud de la ville de Guelma étudié auparavant en prenant en compte les profils topographiques des anciens et des nouveaux nœuds ainsi que l'alimentation générée pour le réseau initial.

La réalisation du présent travail a nécessité l'application du logiciel EPANET, et sa présentation demandé quatre chapitres, dont le premier a traité des diverses propriétés des fluides et leurs écoulements d'une manière générale.

Le second chapitre introduit une formulation des pertes de charge ou pertes de pression occasionnées lors du passage d'un fluide le long de conduites ou à travers les divers composants d'un système de distribution. L'équation de Bernoulli y est exprimée et les expressions des différentes pertes de charge développées. Les expressions de frottement sont énoncées que ce soit en écoulement laminaire ou turbulent, et les relations décrivant les pertes de charge régulières intégrées au logiciel 'EPANET '(représentées par les équations de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach et de Manning) exprimées. Enfin, les coefficients de pertes de charge mineures de la plupart des accessoires utilisés dans les réseaux de distribution sont rapportés.

L'application des différentes formulations introduites au second chapitre est réalisée au chapitre troisième qui s'intéresse aux pertes de charge tenant place dans des conduites cylindriques des réseaux de distribution d'eau potable (AEP). Une définition d'un réseau ainsi qu'une classification des différents types y est présentée. Les approches permettant le calcul des débits sont développées et les méthodes de modélisation explicitées. Enfin, une présentation des divers logiciels disponibles et pertinents à la gestion et optimisation des réseaux est présentée.

Le dernier chapitre s'intéressera à l'application d'EPANET, dans un premier temps, au réseau original dit 'Extension Réseau Sud-Guelma' et ensuite à l'intégration d'un campus universitaire d'une superficie avoisinant les 150 hectares. Les résultats obtenus montreront des pressions plus basses que celles du réseau original (i.e. Sud-Guelma seul) ce qui était tout à fait prévisible. Ces pressions variaient néanmoins entre 10m et 85m, ce qui est tout à fait acceptable.

Une conclusion générale résumant le travail entrepris et les principaux résultats obtenus clôturera le travail réalisé.

## PROPRIETES DES FLUIDES ET LEURS ECOULEMENTS

### 1.1: INTRODUCTION

La matière se présente principalement sous trois états simples: gazeux, liquide et solide. Les liquides et les gaz sont des fluides. Ils ne présentent pas de forme propre, et prennent par conséquent la forme du récipient qui le contient. Ils sont parfaitement déformables même sous l'action de très faibles sollicitations.

Un solide possède une forme propre. A l'état solide, les particules (atomes, molécules ou ions) sont fortement liées entre elles, et ne disposent que de très peu de liberté de mouvement.

### 1.2: LES FLUIDES

Un fluide peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. Un fluide est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Parmi les fluides, on fait souvent la distinction entre liquides et gaz [1].

Les liquides et gaz habituellement étudiés sont isotropes, mobiles et visqueux. La propriété physique qui permet de faire la différence entre les deux est la compressibilité. Alors que l'isotropie assure que les propriétés sont identiques dans toutes les directions de l'espace, la mobilité fait qu'ils n'ont pas de forme propre et qu'ils prennent la forme du récipient qui les contient. Enfin, la viscosité caractérise le fait que tout changement de forme d'un fluide réel s'accompagne d'une résistance (frottements) [1].

### 1.3: SYSTEME D'UNITE

Les unités de mesure utilisées dans ce document sont celles du système international (SI). Les unités principales de ce système sont rassemblées dans le [tableau 1.1](#) ci-dessous [2]:

**Tableau 1.1** : Principales unités dans le système international (SI)

Longueur	Masse	Temps	Pression	Force	Energie	Puissance
mètre ( <i>m</i> )	kilogramme ( <i>kg</i> )	seconde ( <i>s</i> )	Pascal ( <i>Pa</i> )	Newton ( <i>N</i> )	Joule ( <i>J</i> )	Watt ( <i>W</i> )
<i>L</i>	<i>M</i>	<i>T</i>	$ML^{-1}T^{-2}$	$MLT^{-2}$	$ML^2T^{-2}$	$ML^2T^{-3}$

## 1.4: PROPRIETES DES FLUIDES

Les propriétés des fluides sont représentées par l'ensemble des caractéristiques physiques qui conditionnent leur comportement que ce soit au repos ou en mouvement. Des propriétés de base sont généralement utilisées à cette fin [3].

### 1.4.1: la Pression

La pression est l'une des propriétés de base de tout fluide. La pression généralement ( $P$ ) est définie comme le rapport de la force ( $F$ ) exercée par unité de surface ( $S$ ). Son unité est la (*Pascal* ou  $N/m^2$ ) et elle s'exprime:

$$P = \frac{F}{S} \quad [Pa \text{ ou } N/m^2] \quad (1.1)$$

### 1.4.2: la Masse volumique

La masse volumique ( $\rho$ ) d'un fluide est la masse de l'unité de volume de ce fluide. Elle s'exprime donc:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad [kg/m^3] \quad (1.2)$$

### 1.4.3: la Densité

La densité est définie comme le rapport de la masse volumique de la substance à celle du corps de référence à la même température. Elle s'écrit:

$$d = \frac{\rho_{\text{corps}}}{\rho_{\text{référence}}} \quad (1.3)$$

### 1.4.4: le Poids spécifique et le poids volumique

Le poids spécifique ( $\gamma$ ) est le rapport entre le poids du liquide et son volume. Il s'exprime par conséquent en ( $N/m^3$ ) et s'écrit:

$$\gamma = \rho g \quad (1.4)$$

Le volume spécifique ( $\mathcal{G}_s$ ) d'un fluide est le volume par masse du fluide. C'est donc l'inverse de la masse volumique:

$$\mathcal{G}_s = \frac{1}{\rho} \quad (1.5)$$

### 1.4.5: La Compressibilité

La compressibilité des fluides est la propriété qui traduit la diminution du volume en réponse à un accroissement de la pression. Pour un fluide compressible, la masse volumique dépend de la température et de la pression. Ainsi:

$$\rho = f(P, T) \quad (1.6)$$

Les gaz sont des fluides fortement compressibles, mais les fluides incompressibles, tels les liquides, ont la propriété d'avoir leur masse volumique indépendante de toute variation de pression et/ou de température [4].

### 1.4.6: la Viscosité

La Viscosité est une propriété caractéristique des frottements internes du fluide i.e. de sa capacité à s'écouler. Ces frottements représentés par la contrainte de cisaillement apparaissent lors du déplacement d'une couche du fluide relativement à une autre adjacente. Les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement tandis que ceux de faible viscosité s'écoulent plus aisément [5]. Elle permet ainsi de distinguer un fluide parfait d'un fluide réel. Les phénomènes dus à la viscosité des fluides ne se produisent que lorsque ces fluides sont en mouvement [3].

#### 1.4.6.1: La Viscosité dynamique

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force exercée sur un corps lorsqu'il est plongé dans un courant fluide et la variation de la vitesse des couches adjacentes. Elle s'exprime comme le rapport de la contrainte de cisaillement au gradient de la vitesse perpendiculaire à ce plan. Le coefficient de proportionnalité est le coefficient de viscosité dynamique du fluide. Cette loi est celle de Newton, et tout fluide la vérifiant est dit fluide newtonien [5].

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.7)$$

Où:  $\tau$  : est le contrainte de cisaillement ( $N/m^2$  ou  $kg/ms$ ),  
 $\mu$  : est le coefficient de la viscosité dynamique ( $Ns/m^2$ ),  
 $\frac{du}{dy}$  : est le gradient de la vitesse perpendiculaire au plan de cisaillement ( $1/s$ ).

**Remarque :** Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal-seconde ( $Pa \cdot s$ ) ou le Poiseuille ( $Pl$ ) avec  $1Pa \cdot s = 1Pl = 1kg/m \cdot s$ .

#### 1.4.6.2: La Viscosité cinématique

La viscosité cinématique s'exprime comme le rapport de la [viscosité dynamique](#) à la [masse volumique](#) du [fluide](#). Notée ( $\nu$ ), elle s'exprime en ( $m^2/s$ ):

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.8)$$

- Remarques:**
1. L'unité de la viscosité cinématique généralement utilisée est le Stokes (St) avec:  $1St = 10^{-4} m^2/s$ .
  2. Lorsque la température augmente, la viscosité d'un fluide décroît car sa densité diminue.
  3. La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique correspond à la réalité physique du

comportement d'un fluide soumis à une sollicitation et exprime donc la 'rigidité' d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement.

## 1.5: CLASSIFICATION DES FLUIDES

Certains fluides obéissent à la loi de Newton, d'autres pas. Ils peuvent être classés en conséquence. Ils peuvent aussi être classés relativement à leur viscosité qui est une caractéristique physico-chimique qui définit leur frottement interne [6].

### 1.5.1: Les fluides newtoniens

Les fluides newtoniens ont une viscosité ne variant qu'uniquement en fonction de paramètres fonction de la température. L'eau, l'air et la plupart des gaz sont des fluides newtoniens. Leur contrainte de cisaillement est une fonction linéaire du gradient de la vitesse

### 1.5.2: Les fluides non newtoniens

Les fluides non newtoniens ont la particularité d'avoir leur viscosité qui varie en fonction de la vitesse ainsi que des contraintes qu'ils subissent. Les exemples représentatifs de ce genre de fluides sont: le sang, les gels, les boues, les pâtes, les suspensions, les émulsions...etc. La Figure 1.1 représente la variation de leur contrainte de cisaillement en fonction du gradient de la vitesse.

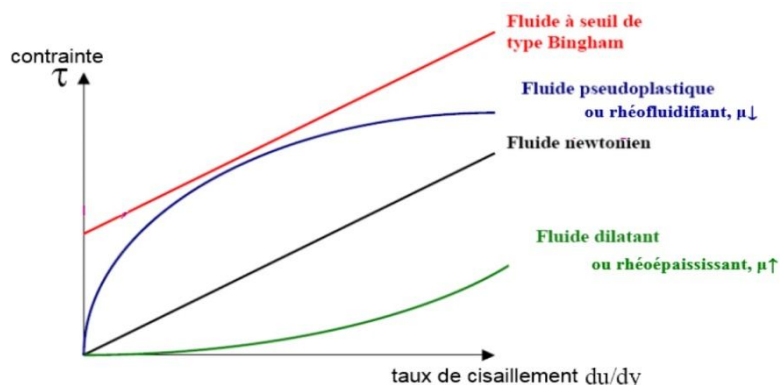


Figure 1.1: Relation contrainte de cisaillement-taux de cisaillement pour divers fluides

## 1.6: CLASSIFICATION DES ECOULEMENTS

L'écoulement d'un fluide est représenté par le mouvement de ce milieu matériel déformable. En effet, un fluide s'écoule tandis qu'un solide se déplace. Plusieurs manières de classement des écoulements fluides sont possibles.

### 1.6.1: Ecoulement stationnaire et écoulement instationnaire

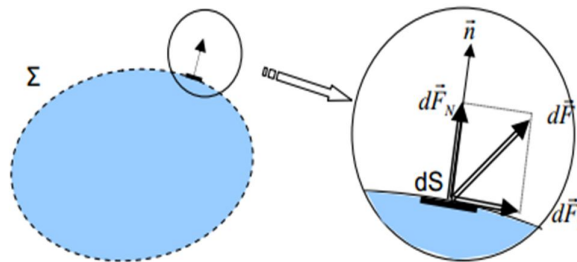
Un régime d'écoulement est dit permanent ou stationnaire si les paramètres qui le caractérisent (pression, température, vitesse, masse volumique ...etc.) sont constants au cours du temps. Un écoulement est dit instationnaire si les variables décrivant le mouvement dépendent du temps [1].



### 1.6.2: Ecoulements parfaits et réels

Un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets des frottements i.e. quand la composante tangentielle ou de cisaillement de la contrainte est nulle. Autrement dit, la force exercée est normale à l'élément de surface ( $dS$ ) de la [figure 1.2](#).

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est en fait qu'un modèle pratiquement inexistant dans la nature pour simplifier les calculs, les forces tangentielles ou de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prises en considération au sein d'un fluide réel. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide [\[5\]](#).



**Figure 1.2:** Force d'interaction entre un fluide et le milieu extérieur

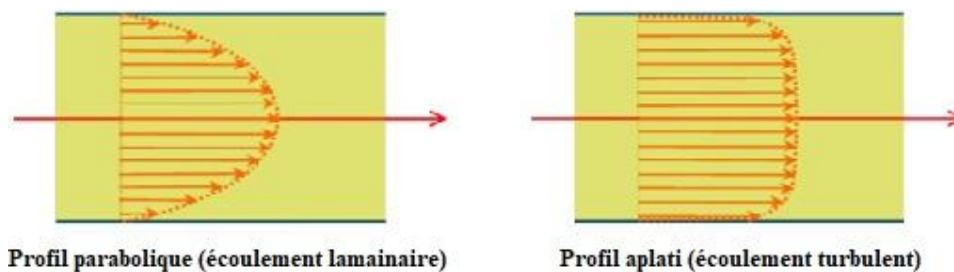
### 1.6.3: Ecoulements compressibles et incompressibles

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Des gaz tels que l'air, l'hydrogène et le méthane à l'état gazeux sont des fluides considérés compressibles.

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Des liquides tels que l'eau ou huile peuvent être considérés comme des fluides incompressibles [\[5\]](#).

### 1.6.4: Ecoulement laminaire et turbulent

On dit qu'un écoulement est laminaire lorsque le mouvement de ses particules fluides se fait de façon régulière et ordonnée. Par contre, l'écoulement est turbulent lorsque ce déplacement est irrégulier et que des fluctuations aléatoires de vitesse se superposent au mouvement moyen du fluide ([Figure 1.3](#)). En régime turbulent, on devra utiliser des relations empiriques généralement déterminées expérimentalement pour exprimer la turbulence [\[7\]](#).



**Figure 1.3:** Profils des vitesses au sein d'écoulements laminaire et turbulent [\[6\]](#)

### 1.6.5: Expérience de Reynolds

L'une des premières analyses de la transition d'un régime laminaire vers un régime turbulent est basée sur des observations d'écoulements dans une conduite cylindrique effectuées par Osborne Reynolds en 1883.

Le montage expérimental schématisé sur la [figure 1.4](#) comporte un réservoir d'eau sous pression débouchant sur un conduit cylindrique. Un tube mince permet l'injection de colorant. Lorsque l'écoulement est laminaire, le filet du colorant reste mince, régulier et parallèle à la paroi du cylindre. En écoulement turbulent, le colorant est rapidement dispersé. Dans cette situation, une mesure de la composante de vitesse axiale montre que celle-ci fluctue de façon aléatoire dans l'espace et dans le temps.

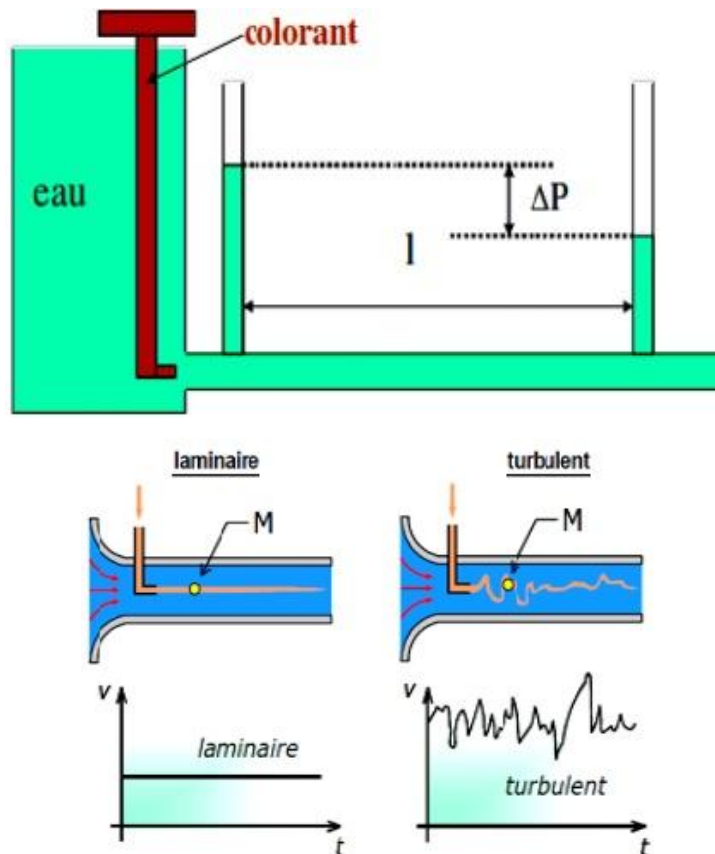


Figure 1.4: Expérience de Reynolds et représentation des écoulements laminaire et turbulent

À partir de ces observations, Reynolds a pu montrer que la transition du régime laminaire au régime turbulent n'est pas uniquement conditionnée par le débit, mais dépend d'un ensemble de paramètres qu'il convient de regrouper pour former une quantité sans dimension qu'on appellera le 'nombre de Reynolds' en son honneur. Ce nombre prend en compte la vitesse moyenne de l'écoulement ( $V$ ), le diamètre ( $D$ ) de la conduite ou tout autre paramètre de longueur caractérisant l'écoulement ainsi que les propriétés intrinsèques du fluide i.e. sa masse volumique ( $\rho$ ) et sa viscosité dynamique ( $\mu$ ) ou cinématique ( $\nu$ ):

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (1.9)$$

## Remarques:

1. Dans la plupart des cas pratiques de conduites fermées, on considère [6]:
  - un écoulement laminaire pour  $Re \leq 2000$  (Reynolds critique, Figure 1.5),
  - un écoulement transitoire pour:  $2000 \leq Re \leq 4000$ ,
  - un écoulement turbulent pour  $Re > 4000$ .
2. Lorsque la conduite est de section non circulaire, c'est le diamètre hydraulique ( $D_H$ ) qui est utilisé. Il s'exprime:

$$D_H = \frac{4 \times \text{section droite de l'écoulement}}{\text{périmètre mouillé}} \quad (1.10)$$

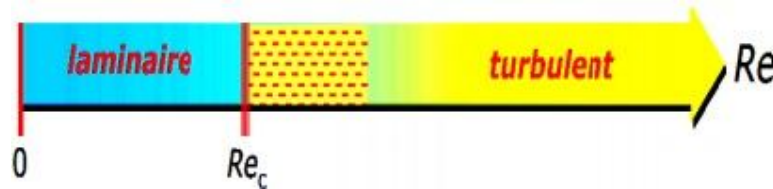


Figure 1.5: divers régimes d'écoulement et Reynolds critique [7]

### 1.6.6: Écoulement en charge ou écoulement à surface libre

Les écoulements en charge (internes) sont ceux dans lesquels le fluide remplit complètement la canalisation, c'est le cas notamment des réseaux d'eau potable. Les écoulements à surface libre (externes) sont représentés par les rivières et des réseaux d'assainissement.

Les écoulements internes sont régis par l'influence de la viscosité au travers du champ d'écoulement. Au sein des écoulements externes, les effets de viscosité sont limités aux couches limites proches des surfaces solides et aux sillages en aval des corps [6].

### 1.6.7: Effets de la viscosité au sein des écoulements internes

Les deux principaux effets sont représentés par la condition de non glissement et les effets d'entrée.

#### 1.6.7.1: La condition de non glissement

Pour décrire l'écoulement d'un fluide dans une situation donnée, il est nécessaire de préciser les conditions aux limites de l'écoulement. L'une des conditions est celle qui consiste à considérer que la vitesse tangentielle à une surface solide est nulle, autrement dit que le fluide ne glisse pas sur la surface solide.

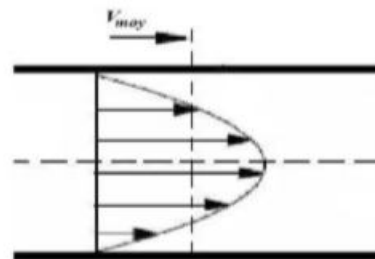


Figure 1.6: Profil de la vitesse dans une conduite de section droite circulaire

Cette hypothèse constitue la condition de non-glissement. La vitesse est donc nulle à la paroi solide entraînant un ‘freinage’ du mouvement du fluide. La vitesse passe donc de zéro à la paroi à une valeur maximale au centre de la conduite (Figure 1.6). En écoulement incompressible, il est pratique de considérer une vitesse moyenne ( $V_{moy.}$ ) constante le long de la section droite d’une conduite.

### 1.6.7.2: Les effets d’entrée

Un écoulement uniforme à l’entrée d’une conduite ‘ressent’ les effets de la condition de non glissement qui se propagent à travers la section droite de la conduite. L’écoulement peut par conséquent être divisé en une couche visqueuse (située près de la paroi) et un noyau. Les particules situées au sein du noyau ne ‘ressentent’ pas la présence de la paroi. Après une distance notée ( $L_e$ ), le noyau disparaît permettant au profil de la vitesse de s’établir et donc de ne plus être altéré (Figure 1.7). La longueur permettant au profil de s’établir dépend principalement de la nature de l’écoulement et s’exprime expérimentalement:

- Pour un écoulement laminaire :  $\frac{L_e}{D} = 0,05 Re$  (1.11)

- Pour un écoulement turbulent :  $\frac{L_e}{D} = 50$  (1.12)

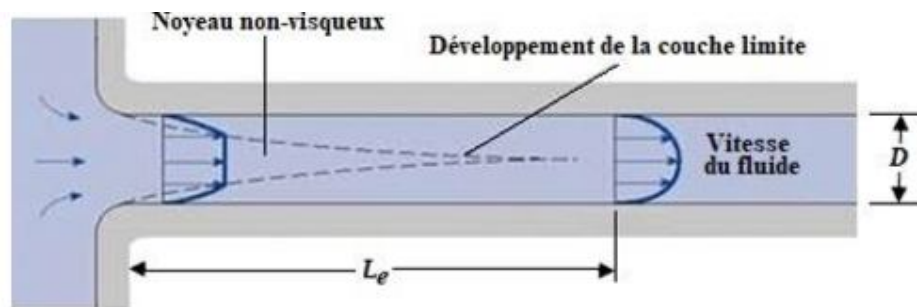


Figure 1.7: Ecoulement laminaire à l’entrée d’une conduite - Etablissement du profil de la vitesse

## 1.7: EQUATIONS DE CONSERVATION

Les forces agissant sur un fluide situé à l’intérieur d’un volume quelconque et limité par une surface fermée sont de deux types:

- Les forces de volume qui représentent en fait les forces de pesanteur et les forces d’inertie (accélération),
- Les forces de surface qui sont les forces dues à la pression et aux frottements.

Afin d’établir les équations du mouvement d’un fluide, il est nécessaire de déterminer la relation entre les différentes forces agissant sur un volume quelconque de fluide. L’application des principes de conservation permet d’exprimer les équations universelles de la mécanique ou équations de conservation. Ces principes traduisent:

- la conservation de la masse,
- la conservation de la quantité de mouvement,
- la conservation de l’énergie.

### 1.7.1: Equation de la conservation de la masse ou équation de la continuité

L'équation de la conservation de la masse ou équation de la continuité permet d'établir une relation entre la caractéristique masse volumique du fluide et la vitesse de son écoulement, et ce indépendamment des causes qui provoquent le mouvement du fluide. En coordonnées cartésiennes, elle s'exprime:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1.13)$$

Pour l'écoulement stationnaire ( $\partial/\partial t = 0$ ) d'un fluide incompressible ( $\rho = \text{constante}$ ), l'équation de la continuité devient :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.14)$$

### 1.7.2: Equation de conservation de la quantité de mouvement

C'est une équation vectorielle. Elle est dérivée de la seconde loi de Newton qui s'énonce 'le produit de la masse d'un corps et de son accélération est égale à la somme des forces extérieures qui s'exercent sur ce corps'. Elle s'exprime:

$$M \vec{\gamma} = \sum \vec{\text{Forces extérieures}} \quad (1.15)$$

$$\rho \vec{\gamma} = \rho \vec{g} - \text{grad} \vec{P} + \vec{F}_V \quad (1.16)$$

où:  $\rho \vec{\gamma}$  : Force d'inertie,  
 $\rho \vec{g}$  : Force de volume,  
 $\text{grad} \vec{P}$  : Gradient de la pression,  
 $\vec{F}_V$  : Force de frottement (Pour un écoulement permanent d'un fluide incompressible, elle s'exprime:  $\vec{F}_V = \mu \Delta \vec{V}$ ):

$$\text{et: } \vec{F}_V = \begin{vmatrix} \mu \Delta u \\ \mu \Delta v \\ \mu \Delta w \end{vmatrix} ; \quad \vec{\gamma} = \begin{vmatrix} du/dt \\ dv/dt \\ dw/dt \end{vmatrix} ; \quad \text{grad} \vec{P} = \begin{vmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial v / \partial y \\ \partial w / \partial z \end{vmatrix} ; \quad \vec{g} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{vmatrix}$$

La manipulation et l'arrangement des équations précédentes aboutissent à la forme des équations de Navier-Stokes qui s'expriment:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \Delta u \\ \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \Delta v \\ \frac{dw}{dt} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \Delta w \end{cases} \quad (1.17)$$

### 1.7.3: Équation d'Euler

L'équation d'Euler découle de l'équation de Navier-Stokes le cas des fluides non-visqueux, et peut s'exprimer donc:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{dv}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \\ \frac{dw}{dt} = Z - g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \end{cases} \quad (1.18)$$

En introduisant les expressions des composantes de l'accélération pour un écoulement tridimensionnel, les équations (1.18) s'écrivent sous la forme :

$$\begin{cases} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \end{cases} \quad (1.19)$$

### 1.7.4: Equation de conservation de l'énergie

L'équation de la conservation de l'énergie est dérivée du premier principe de la thermodynamique qui est essentiellement un principe de conservation qui peut s'énoncer: 'En considérant un élément de volume ( $d\mathcal{V} = dx dy dz$ ) possédant une masse ( $\rho d\mathcal{V}$ ), la quantité de chaleur ( $dQ$ ) gagnée par le volume ( $d\mathcal{V}$ ) pendant le temps ( $dt$ ) sert à augmenter son énergie interne d'une quantité ( $dE_i$ ) et à fournir un travail ( $dW$ ). Ceci se traduit par:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dE_i}{dt} + \frac{dW}{dt} \quad (1.20)$$

En exprimant la quantité de chaleur, l'énergie interne ainsi que le travail par leurs relations respectives et en arrangeant, on aboutit à l'équation de conservation de l'énergie:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q' \quad (1.22)$$

où :

- $c$  : est le coefficient de capacité calorifique,
- $k$  : est le coefficient du transfert de la chaleur par conduction ou conductibilité thermique,
- $Q'$  : est la source de chaleur.

### 1.7.5: Equation de Bernoulli pour un fluide parfait

C'est une forme simplifiée de l'équation de la conservation de l'énergie car considérant un fluide parfait en mouvement. Elle prend en compte l'énergie due à la pression, celle due à la vitesse et enfin celle due à l'énergie potentielle. Pour un fluide incompressible, elle s'exprime le long d'une ligne de courant comme [6]:

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = Cste \quad (1.23)$$

Appliquée entre deux positions (1) et (2) au sein de l'écoulement, elle s'exprime:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (1.24)$$

---

# Chapitre2: PERTES DE CHARGE-FORMULATION

## 2.1: INTRODUCTION

La perte de charge (ou perte de pression) représente la réduction de la hauteur (somme des hauteurs dues à l'élévation, à la vitesse et à la pression) ou de la pression totale du fluide lorsqu'il s'écoule dans une conduite ou système hydraulique. Elle représente également l'énergie nécessaire pour vaincre les frottements causés par les parois des conduites ainsi que par d'autres équipements technologiques.

La perte de charge est inévitable dans les écoulements réels des fluides. Elle dépend essentiellement de la vitesse d'écoulement, du diamètre et de la longueur de la conduite ainsi que d'un facteur de frottement basé sur la rugosité de la conduite et du nombre de Reynolds de l'écoulement.

La perte de charge au sein d'un système hydraulique est essentiellement divisée en deux catégories: (1) les pertes de charge majeures ou linéaires ou régulières causées par les frottements le long des conduites droites et (2) les pertes de charge mineures ou singulières dues aux divers composants tels que les coudes, les vannes et les élargissements et rétrécissements.

## 2.2: LES PERTES DE CHARGE-EQUATION DE BERNOULLI

L'équation de Bernoulli résulte de l'application de celles de la conservation de l'énergie et de la première loi de la thermodynamique à un système à écoulement stationnaire au sein lequel aucun travail n'est effectué ni aucune chaleur transférée. L'énergie interne est aussi assumée constante (i.e. pas de changement de température). Dans ces conditions, l'équation de l'énergie se simplifie pour s'écrire (cf. Equation 1.24 et Figure 2.1):

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} + h_2 \quad (2.1)$$

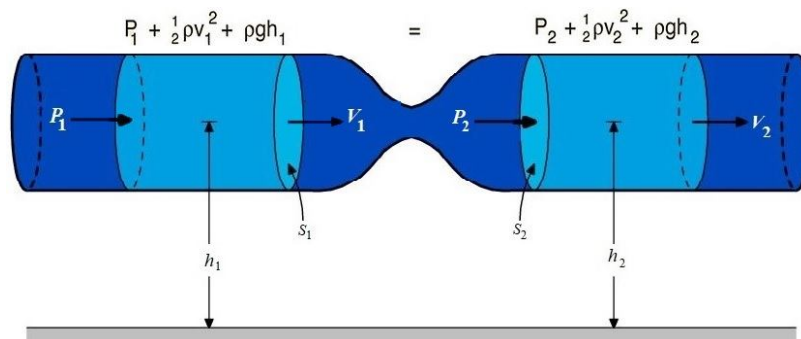


Figure 2.1: Equation de Bernoulli pour un fluide parfait exprimée en termes de pression



L'application de l'équation (2.1) aux données présentées en Figure 2.1 montre que, dans ce cas les altitudes ( $h_1 = h_2$ ).

Si on applique l'équation de la conservation de la masse qui s'exprime dans ce cas particulier ( $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \rho V_1 S_1 = \rho V_2 S_2$ ) et puisque ( $S_1 = S_2$ ), il s'en suit que ( $P_1 = P_2$ ). Cette dernière égalité montre que l'écoulement est statique, ce qui contredit la réalité. Ce résultat provient du fait que l'énergie perdue à cause des frottements n'a pas été prise en compte. En exprimant cette perte d'énergie en terme de hauteur du fluide et en la notant ( $h_i$ ), l'équation (2.1) se traduira en:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_{pertes} \quad (2.2)$$

Ce résultat peut être généralisé en introduisant l'énergie ajoutée au système par l'intégration d'une pompe, ou celles retranchées par l'introduction d'une turbine et d'accessoires (cf. Figure 2.2):

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + h_{pompe} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_{turbine} + h_{pertes} \quad (2.3)$$

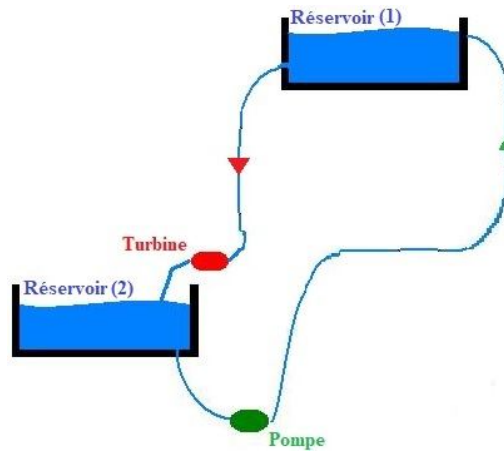


Figure 2.2: Ecoulement entre deux réservoirs à travers une pompe et une turbine

### 2.3: LES DIFFERENTE TYPES DE PERTES DE CHARGE

Les pertes de charge au sein des conduites fermées sont représentées par:

- les pertes d'énergie causées par les frottements (pertes de charge majeures ou régulières),
- les pertes d'énergie dues aux diverses altérations géométriques qui se tiennent le long d'une conduite (pertes de charge mineures ou singulières).

Les pertes de charge exprimées dans l'équation précédente (2.3) et notées ( $h_{pertes}$ ) représentent en fait la somme des pertes de charge régulières et singulières entre les points (1) et (2) du réseau. Ainsi:

$$h_{pertes} = \sum_{\text{le long de la conduite}} h_{régulières} + \sum_{\text{le long de la conduite}} h_{singulières} \quad (2.4)$$

Les pertes de charge majeures au sein des conduites fermées sont représentées par les pertes d'énergie dues au frottement du fluide dans le conduit ayant une section constante. Elles sont exprimées en hauteurs de fluide (mètres) ou en Pascals, et s'écrivent:

$$h_{\text{régulières}} = h_{\text{par frottement}} = h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (2.5)$$

J. Weisbach et H.P.G. Darcy réussirent à exprimer la perte de charge par frottement en fonction d'un paramètre appelé le coefficient de frottement [8-9]. Connue depuis comme la relation Darcy-Weisbach, elle exprime la perte d'énergie (ou perte de charge) à l'intérieur des conduites comme:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.6)$$

Le coefficient de frottement ( $f$ ) de l'équation (2.6) dépend de la nature de l'écoulement.

### 2.3.1: Le coefficient de frottement en écoulement laminaire

En écoulement laminaire, il est possible d'utiliser l'équation de Hagen-Poiseuille [10] pour développer une expression analytique pour le coefficient de frottement le long d'une conduite cylindrique qui ne dépend, en ce régime, que du nombre de Reynolds. Il vient:

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.7)$$

**Remarque:** Pour une conduite non-cylindrique, il peut être montré que le coefficient de frottement s'exprimera:  $f = 96/\text{Re}$ .

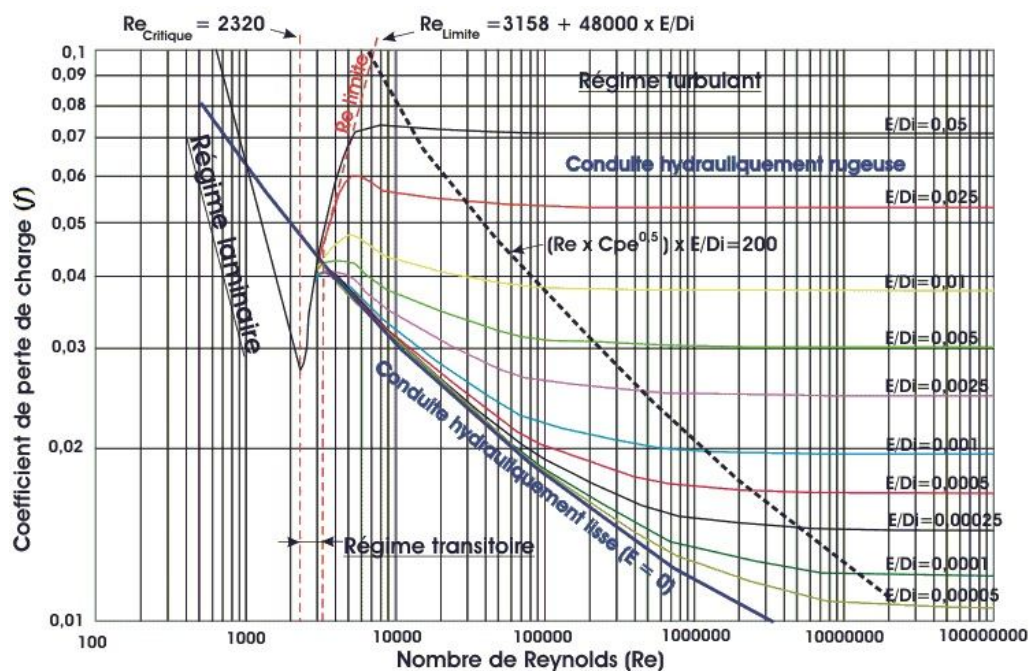
### 2.3.2: Le coefficient de frottement en écoulement turbulent

Dans le cas d'un écoulement turbulent, Le coefficient de frottement dépend non seulement de la nature de l'écoulement représentée par le nombre de Reynolds, mais aussi de l'état de surface de la conduite représenté par la hauteur relative des protubérances notée ( $\varepsilon/D$ ). Cette hauteur des protubérances ou rugosité est généralement fournie par les fabricants par les conduites pour divers matériaux usuels (Tableau 2.1).

Lewis Ferry Moody [10], un ingénieur américain devenu le premier professeur d'hydraulique de l'Ecole d'Ingénieurs de Princeton, développa un diagramme pratique représentant les variations de ( $f$ ) en fonction du nombre de Reynolds ( $Re$ ) et de la rugosité relative ( $\varepsilon/D$ ). Ce diagramme, depuis connu sous le nom de 'diagramme de Moody' donne la valeur du coefficient de frottement pour un large spectre de valeurs du Reynolds pour des écoulements laminaires lisses, transitoires et turbulents rugueux lorsque la détermination graphique du coefficient de frottement est acceptable (Figure 2.3).

**Tableau 2.1:** Rugosité de Surface équivalente de divers matériaux

Type de Conduit	Valeurs moyenne [ε (mm)]	Valeurs de Conception [ε (mm)]
Fer coulé non revêtu	0,226	0,25
Fer coulé revêtu	0,102	0,125
Fer revêtu nettoyé	0,056	0,05
Fer galvanisé	0,102	0,125
Fer forgé	0,050	0,05
Acier non revêtu	0,028	0,04
Acier armé	0,056	0,05
Ciment d'amiante non revêtu	0,028	0,04
Ciment d'amiante revêtu	Virtuellement lisse	Conduit lisse
Ciment produit de degré 1	Conduit lisse	Conduit lisse
Ciment produit de degré 2	0,380	0,40
Bitume produite de degré 1	Conduit lisse	Conduit lisse
Bitume produite de degré 2	0,120	0,125
Conduit lisse	Conduit lisse	Conduit lisse
Conduit en PVC	0,030	0,04
Conduit en béton armé (Freysinnet)	0,030	0,04
Conduit en béton (Bonna et Socoman)	0,200	0,25
Conduit refaits avec mortier en ciment (Processus de Tate)	0,510	0,500
Divers bétons		
Scobey	5,10	5,00
Classe 1 - CS = 0,27	1,27	1,25
Classe 2 - CS = 0,31	0,41	0,50
Classe 3 - CS = 0,345	0,18	0,25
Classe 4 - CS = 0,37	0,102	0,125



**Figure 2.3:** Diagramme de Moody

Néanmoins, le principe de la rugosité de surface équivalente sur lequel il se base présente certaines limitations. C'est à cet effet que diverses relations implicites [11], explicites [12-13], explicites en régime turbulent lisse [14-15], explicites en régime turbulent transitoire [15-16-17-18-19-20] ont été développées pour exprimer le coefficient de frottement. Ce dernier d'écoulement étant celui que l'on trouve le plus souvent dans les conduites de distribution, un grand nombre de relations a été proposé pour la détermination du coefficient de frottement pour ce cas. Néanmoins, une relation assez complexe, car essayant de prendre en compte tous les régimes d'écoulement cités ci-dessus, a été proposée par Churchill [18]. Elle s'exprime:

$$f = 8 \left[ \left( \frac{8}{R_e} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{3/2}} \right]^{\frac{1}{12}} \quad (2.8)$$

$$\text{où: } A = \left\{ 2,457 \ln \left[ \frac{1}{(7/R_e)^{0,9} + (0,27\varepsilon)/D} \right] \right\}^{16} \quad \text{et} \quad B = \left( \frac{37,53}{R_e} \right)^{16}$$

## 2.4: LES PERTES DE CHARGE MAJEURES OU REGULIERES

Les pertes de charge majeures ou régulières, associées à la perte d'énergie par frottement par longueur de conduit, dépendent de la vitesse d'écoulement, de la longueur du conduit et de son diamètre et enfin du facteur de frottement basé sur la rugosité de la conduite et du régime de l'écoulement (§ 2.2.1). Un certain nombre de relations a été développé où la perte de charge est exprimée d'une manière assez simple. Trois sont citées car utilisées par le logiciel de simulation 'Epanet' appliqué dans cette étude.

### 2.4.1: Equation de Hazen-Williams

Largement utilisée aux usa, elle est essentiellement utilisée dans les systèmes de distribution d'eau. Elle s'exprime:

$$h_L = \frac{10,674 L}{C_{HW}^{1,852} D^{4,871}} Q^{1,852} \quad (2.9)$$

Dans la pratique, une valeur ( $C_{HW}=140$ ) indique que le conduit est neuf et très lisse. Un vieux conduit en bon état possédera une valeur de ( $C_{HW}$ ) comprise dans l'intervalle 100-120 tandis que pour un conduit usé, cette valeur sera comprise entre 40 et 80.

### 2.4.2: Equation de Darcy-Weisbach

Théoriquement la plus correcte, elle est largement utilisée en Europe et s'applique pratiquement à tous les régimes d'écoulement et à tous les liquides. Elle s'exprime:

$$h_L = f \frac{L}{12,1 D^5} Q^2 \quad (2.10)$$

$$\text{où: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left\{ \frac{\varepsilon}{3,7D} - \frac{5,02}{R_e} \log \left[ \frac{\varepsilon}{3,7D} - \frac{5,02}{R_e} \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{13}{R_e} \right) \right] \right\}$$

### 2.4.3: Equation de Manning

La relation de Chezy-Manning est généralement appliquée aux conduites de grands diamètres. Elle s'exprime:

$$h_L = \frac{10,294 N^2 L}{D^{16/3}} Q^2 \quad (2.11)$$

où ( $N$ ) est le coefficient de Manning qui dépend du matériau de la conduite utilisée (cf. [Tableau 2.2](#)).

**Tableau 2.2:** Valeurs du coefficient de Manning pour différents Matériaux

Matériau du Conduit	Coefficient de Manning, ( $N$ )
PVC	0,008 - 0,011
Laiton, cuivre, plomb, béton armé	0,009 - 0,012
Béton	0,010 - 0,017
Bois trompé	0,011 - 0,013
Acier soudé	0,012 - 0,013
Fonte revêtue	0,012 - 0,014
Fonte non-revêtue	0,013 - 0,015
Fer galvanisé, acier riveté	0,015 - 0,017

### 2.5: LES PERTES DE CHARGE MINEURES OU SINGULIERES

La plupart des réseaux de canalisations comportent, en sus des conduits droits le long desquels des pertes d'énergie par frottement prennent place, des composants supplémentaires au travers desquels d'autres pertes d'énergie sont constatées. Ces pertes sont généralement qualifiées de pertes mineures, leur nom impliquant que ces dernières sont moins importantes que les pertes dues aux frottements. Dans de nombreux cas, cela est vrai. Néanmoins et dans certains cas, les pertes mineures ou locales ou encore singulières sont supérieures aux pertes majeures. Les pertes mineures ou singulières peuvent être dues à:

- une entrée ou sortie d'un conduit,
- un élargissement ou contraction soudaines ou graduelles,
- des coudes, des tés et autres raccords,
- des vannes ouvertes ou partiellement fermées,
- ... etc.

Les pertes sont couramment mesurées expérimentalement. Les données, en particulier pour les vannes, dépendent quelque peu de la conception particulière du fabricant. La méthode la plus couramment utilisée pour déterminer ces pertes de charge ou ces chutes de pression se base sur leur expression en fonction d'une constante particulière au type de la composante dont la valeur est fournie par le fabricant:

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho g} = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.12)$$

Les coefficients de perte de charge pour divers accessoires sont donnés dans le [Tableau 3.8 \[21\]](#).

**Tableau 2.3:** Coefficients de pertes de charge mineures [21]

Type d'accessoire		Coefficient de perte de charge(*)						
<b>1. Elargissement brusque</b>		$\left( h_{eb} = K_{eb} \frac{V_1^2}{2g} \right)$						
D <sub>1</sub> : D <sub>2</sub>		Intervalle de V <sub>1</sub> : 0,6 m/s-13 m/s						
1 : 1,2		0,11 - 0,08						
1 : 1,4		0,26 - 0,20						
1 : 1,6		0,40 - 0,32						
1 : 1,8		0,51 - 0,40						
1 : 2		0,60 - 0,47						
1 : 2,5		0,74 - 0,58						
1 : 3		0,83 - 0,65						
1 : 4		0,92 - 0,72						
1 : 5		0,96 - 0,75						
<b>2. Elargissement progressif</b>		$\left( h_{ep} = K_{ep} \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \right)$						
$\theta$	2°	4°	6°	8°	10°	12°	15°	
K <sub>ep</sub>	0,033	0,039	0,046	0,055	0,078	0,10	0,16	
$\theta$	20°	30°	40°	50°	60°	55°	90°	
K <sub>ep</sub>	0,31	0,49	0,60	0,67	0,72	0,72	0,67	
<b>3. Sortie</b>		$\left( h_s = K_s \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \right)$						
‘Bell – mouthed’		0,1						
‘Coin pointu’		1						
Conduit dans une distillerie d’eau ou d’air (débit libre)		1 (V <sub>2</sub> =0)						
<b>4. Rétrécissement brusque</b>		$\left( h_{rb} = K_{rb} \frac{V_2^2}{2g} \right)$						
D <sub>1</sub> : D <sub>2</sub>		Intervalle de V <sub>1</sub> : 0,6 m/s-13 m/s						
1,2 : 1		0,07 - 0,11						
1,4 : 1		0,17 - 0,20						
1,6 : 1		0,26 - 0,24						
1,8 : 1		0,34 - 0,27						
2 : 1		0,38 - 0,29						
2,5 : 1		0,42 - 0,31						
3 : 1		0,44 - 0,33						
4 : 1		0,47 - 0,34						
5 : 1		0,48 - 0,35						

**Tableau 2.3:** Coefficients de pertes de charge mineures [21]  
(suite-1)

Type d'accessoire	Coefficient de perte de charge(*)
<b>5. Rétrécissement progressif</b> $\left( h_{rp} = K_{rp} \frac{V_2^2}{2g} \right)$	
Ordinaire	0,25
'Bell - mouthed'	0,10
Aérodynamique	0,04
<b>6. Entrée</b> $\left( h_{en} = K_{en} \frac{V^2}{2g} \right)$	
'Bell - mouthed'	0,04
Légèrement arrondie	0,23
Tranchant pointu	0,5
Ré-entrée	1,0
Epurateur et Valve à pied	2,5
<b>7- Coudes</b> $\left( h_c = K_c \frac{V_2^2}{2g} \right)$	
<b>a- Coudes - 45°</b>	Intervalle de $V_2$ : 0,6 m/s-13 m/s
A rebord – régulier	0,20 - 0,30
A rebord - long rayon	0,18 - 0,20
Vissés – régulier	0,30 - 0,42
<b>b- Coudes - 90°</b>	
A rebord - régulier	0,21 - 0,30
A rebord - long rayon	0,18 - 0,20
Intersection de deux cylindres (Conduits soudés non arrondis)	1,25 – 1,8
A rebord - rayon court	0,9
A rebord - rayon moyen	0,75
A rebord - rayon long	0,6
<b>c- Coudes en onglet</b>	
Angle du coude, $\theta$	
5°	0,016 - 0,024
10°	0,034 - 0,044
15°	0,042 - 0,062
22,5°	0,066 - 0,154
30°	0,130 - 0,165
45°	0,236 - 0,320
60°	0,471 - 0,684
90°	0,129 - 0,265
<b>d- Coudes de retour (90°)</b>	
A rebord - régulier	0,38
A rebord - long rayon	0,25
Vissés	2,2

**Tableau 2.3:** Coefficients de pertes de charge mineures [21]  
(suite-2)

<b>8- Tees</b>		$\left( h_t = K_t \frac{V_2^2}{2g} \right)$	
Standard - à deux branches			1,5 - 1,8
Standard - tour de 90°			1,8
Standard - exécution du tee			0,6
Réduction - exécution du tee (en termes de vitesse en l'extrémité faible			
2 : 1			0,9
4 : 1			0,75
<b>9- Engorgement</b>			
Rapport surface du conduit à la surface du débit à l'engorgement			
1,1			0,21
1,4			1,15
1,6			2,40
2,0			5,55
3,0			15,0
4,0			27,3
5,0			42,0
6,0			57,0
7,0			72,5
10,0			121,0
<b>10- Compteurs de courant</b>		$\left( h_{cc} = K_{cc} \frac{V^2}{2g} \right)$	
<b>a- Tubes de Venturi</b>			1,5 - 1,8
Rapport gorge au diamètre d'arrivée	Tube long	Tube court	
1 : 3	1,0 - 1,2	2,43	
1 : 2	0,44 - 0,52	0,72	
2 : 3	0,25 - 0,30	0,32	
3 : 4	0,20 - 0,23	0,24	
<b>b- Compteurs à orifices</b>			
Rapport orifice-diamètre du conduit			
1 : 4	4,8		
1 : 3	2,5		
1 : 2	1,0		
2 : 3	0,4		
3 : 4	0,24		
<b>11- Valves</b>		$\left( h_v = K_v \frac{V^2}{2g} \right)$	
<b>a- Valves à vannes</b>			
Entièrement ouverte			0,19
ouverte à ¾			1,15
ouverte à ½			5,6
ouverte à ¼			24,0



**Tableau 2.3:** Coefficients de pertes de charge mineures [21]  
(suite-3)

<b>b- Valves à papillon</b>	
Angle de fermeture, $\theta$	
0° (entièrement ouverte)	0,3
10°	0,46
20°	1,38
30°	3,6
40°	10
50°	31
60°	94
<b>c- Valves à diaphragme</b>	
Entièrement ouverte	2,3
ouverte à $\frac{3}{4}$	2,6
ouverte à $\frac{1}{2}$	4,3
ouverte à $\frac{1}{4}$	21,0
<b>d- Valves d'arrêt</b>	
Entièrement ouverte	4,0
ouverte à $\frac{3}{4}$	4,6
ouverte à $\frac{1}{2}$	6,4
ouverte à $\frac{1}{4}$	780,0
<b>e- Valves de contrôle (retour)</b>	
contrôle 'swing' (entièrement ouverte)	2,5
Type à boule (entièrement ouverte)	2,5 – 3,5
Type soulèvement horizontal	8 – 12
<b>f- Valves à pied avec épurateur</b>	2,5
<b>g- Valves de réduction de pression</b>	10,0

(\*) les indices 1 et 2 représentent les extrémités de début et de fin respectivement

# Chapitre3:

## PERTES DE CHARGE: APPLICATION AUX RESEAUX AEP

### 3.1: INTRODUCTION

Le présent paragraphe traite du phénomène des pertes de charge qui se produisent au sein de conduites essentiellement cylindriques, de sa formulation ainsi que de leur application aux réseaux de distribution d'eau potable (AEP). La détermination des diverses pertes de charge (ou de pression ou encore d'énergie) permettra de déterminer la quantité d'énergie nécessaire à l'acheminement du fluide de la source aux consommateurs. Les réseaux AEP y sont définis et leurs différents types et approches d'analyse présentés.

### 3.2: DESCRIPTION D'UN RESEAU D'AEP

Un réseau AEP a pour fonction principale de desservir en eau potable un ensemble de points tels que les compteurs d'abonnés, les bouches de lavage et poteaux d'incendie. Il conditionne l'activité et le développement des agglomérations. C'est donc un ensemble de circuits hydrauliques permettant de véhiculer le fluide (l'eau potable dans ce cas) depuis le réservoir jusqu'aux abonnés. Ce circuit peut comporter essentiellement (Figure 3.1):

- des réservoir(s),
- des conduites de différents diamètres et nature,
- des accessoires et pièces spécifiques telles que des vannes, des tés, des coudes, des cônes de réduction ... etc.,
- des branchements,
- des ouvrages annexes (regards, bouches à clé etc...).

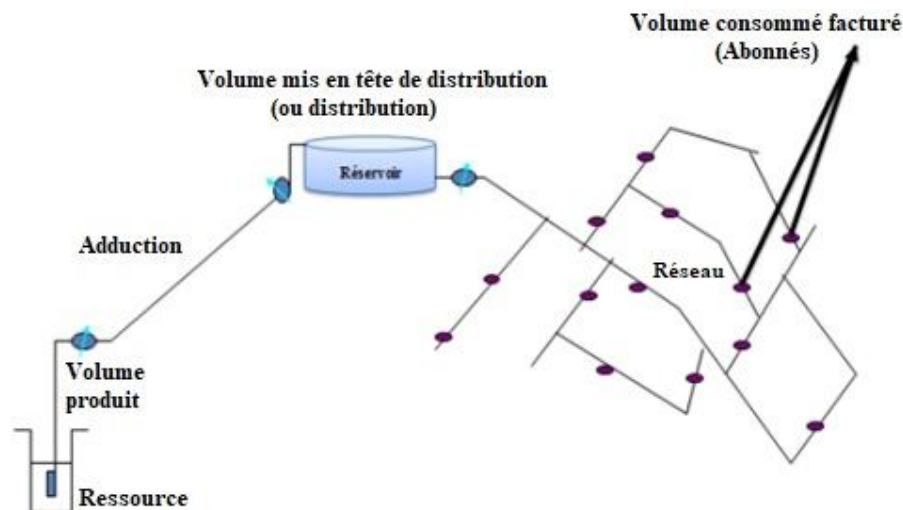


Figure3.1: Schéma descriptif d'un système d'AEP [22]

### 3.3: LE RESEAU DE DESTRIIBUTION

#### 3.3.1: Définition

Du réservoir de stockage sort une conduite principale de gros diamètre. Celle-ci, en se prolongeant le long des rues de l'agglomération, forme un ensemble de conduites maîtresses. Sur chacune de ces dernières sont branchées des conduites de diamètres moindres dites conduites secondaires, tertiaires, etc. L'ensemble de toutes ces différentes canalisations avec l'ensemble des équipements qui les accompagnent forment le réseau de distribution. C'est l'infrastructure la plus importante du réseau global car il s'étend sur toute la surface de l'agglomération [23].

#### 3.3.2: Classification des réseaux d'AEP

Les réseaux de distribution sont multiples et répondent chacun à des missions spécifiques. Ils sont généralement classés en cinq catégories.

##### 3.3.2.1: Les réseaux ramifiés

Le réseau ramifié, dans lequel les conduites ne comportent aucune alimentation en retour, présente l'avantage d'être économique mais manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture. Un accident sur la conduite principale prive d'eau tous les abonnés en aval. Ce type de réseau est généralement appliqué aux zones rurales (cf. Figure 3.2).

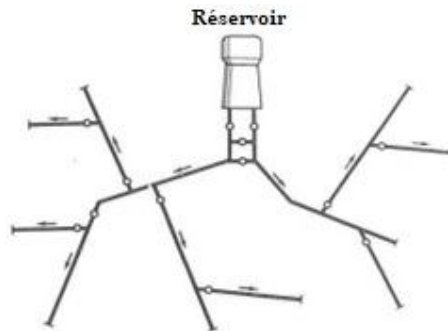


Figure3.2: Schéma d'un réseau de distribution type ramifié [24].

##### 3.3.2.2: Les réseaux maillés

Le réseau maillé, tel que celui représenté en Figure 3.3) est constitué principalement d'une série de canalisations qui forme des boucles fermées permettant ainsi l'alimentation en retour. Une simple manœuvre de robinet permet d'isoler le tronçon accidenté et poursuivre néanmoins l'alimentation des abonnés en aval. Ce type de réseau est utilisé en général dans les zones urbaines pratiquement plates, et tend à se généraliser dans les agglomérations rurales sous forme associée aux réseaux ramifiés [24].

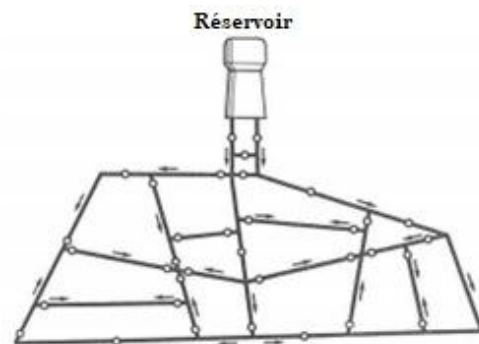


Figure3.3: Réseau de distribution type maillé [25].

### 3.3.2.3: Les réseaux étagés

Conseillés dans les cas d'agglomérations présentant des différences de niveaux importantes, le réseau étagé permet d'éviter les problèmes importants posés par les fortes pressions pour assurer une pression de service acceptable. La maintenance de ses équipements de sectionnement est néanmoins fréquente [25].

### 3.3.2.4: Les réseaux à alimentation distincte

Constitué généralement de deux réseaux: l'un pour la distribution de l'eau potable destinée à tous les besoins domestiques, et l'autre pour la distribution de l'eau non potable réservée aux usagés industriels. Ce type de réseau ne se justifie que dans les installations extrêmement importantes [24].

### 3.3.2.5: Les réseaux mixtes

Un réseau est dit combiné (ramifié et maillé) lorsqu'il est constitué d'une partie ramifiée et une autre maillée. Ce type de schéma est utilisé pour desservir les quartiers en périphérie de la ville par les ramifications issues des mailles utilisées dans le centre-ville [24].

## 3.4: CHOIX DU MATERIAU DES CONDUITES

Le choix du matériau utilisé se réalise est en fonction de la pression, l'agressivité due aux eaux et au sol et les couts ainsi bien sûr que la bonne jonction de la conduite avec les équipements auxiliaires (joints, coudes, vannes ... etc.). Parmi les matériaux à utiliser (Figure 3.3) se trouvent notamment l'acier, la fonte ductile, le PVC (polyvinyle de chlorure) et le PE (polyéthylène) [24].



Figure3.4: Les matériaux des tuyaux [27].

### 3.4.1: Assemblage

Il est généralement réalisé à l'aide de joints en caoutchouc (dans le cas de la fonte ou du PVC) ou encore par soudure dans le cas particulier de l'acier. Enfin et dans le cas du polyéthylène, l'assemblage est réalisé par électro soudage [27].

Outre les tuyaux droits, on utilise aussi des pièces de raccord permettant d'adapter la conduite au tracé prévu (cf. Figure 3.4).

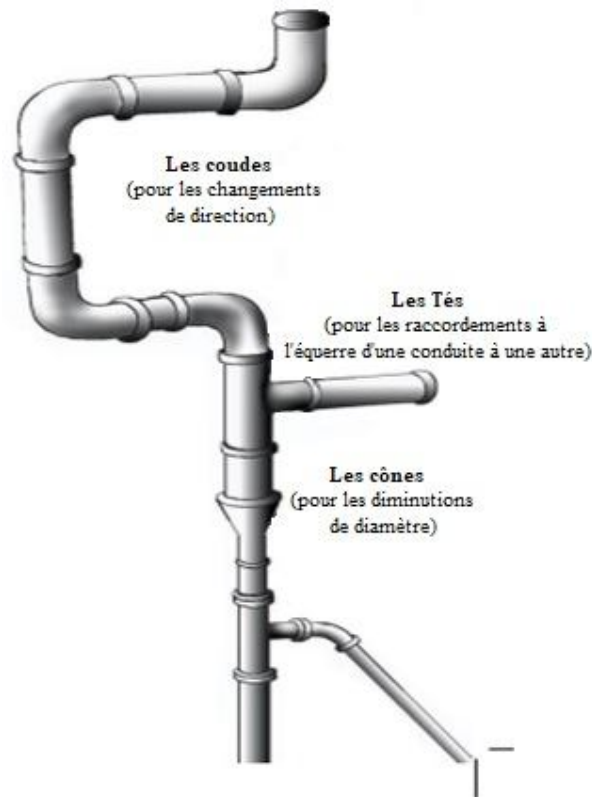


Figure3.5: les pièces de raccord [27]

### 3.4.2: Accessoires de réseau

Les réseaux de distribution d'eau potable comportent des accessoires qui assurent la régulation de certains paramètres tels le débit, la pression et la charge, et facilitent la maintenance et l'entretien. Ils permettent aussi de disposer de points de puisage sur le réseau. Les accessoires les plus utilisés sont:

- **Les robinets-vannes:** Appareils de sectionnement pour isoler un tronçon de conduite.
- **Les robinets à papillon:** Appareils de réglage de débit et de sectionnement utilisés pour les gros diamètres (> 300 mm).
- **Les ventouses:** Placées sur les points hauts du réseau, elles assurent l'évacuation automatique de l'air contenu dans les conduites.
- **Les régulateurs:** de pression, de débit ou de niveau qui permettent de réduire ou stabiliser une pression, limiter un débit ou encore contrôler le niveau d'eau dans un réservoir.
- **Les poteaux et bouches d'incendie:** Ils sont au service de la lutte contre les incendies et ils permettent aussi de puiser de l'eau du réseau.
- **Les clapets anti-retour:** Placés sur une canalisation, ils n'autorisent le passage de l'eau que dans une direction unique.
- **Les purges:** Placées au point bas, elles permettent la vidange des conduites.
- **Les compteurs d'eau:** En comptabilisant l'eau, ils assurent une surveillance des débits dans les réseaux [27].

### 3.5: LES MÉTHODES D'ANALYSE DES RÉSEAUX

De nombreuses méthodes ont été appliquées dans le but de déterminer les débits des écoulements au sein des réseaux de conduites. Ces méthodes intègrent celles graphiques à celles utilisant des analogies physiques et enfin celles appliquant de modèles mathématiques. Les plus importantes incluent:

- la méthode Hardy Cross,
- la méthode du nœud simultané,
- la méthode de la boucle simultanée
- la méthode linéaire (méthode des conduites simultanées),
- la méthode du gradient (méthode du réseau simultané).

L'histoire des modèles numériques utilisés dans l'analyse des réseaux peut être divisée en trois périodes principales allant de la période 'pré-informatique' à celle des approches numériques appliquant les capacités informatiques de plus en plus importantes en passant par celles qui avaient été appliquées avec l'avènement des premiers ordinateurs [28]. La période 'pré-informatique' débuta avec le développement d'une méthode mathématique capable de réaliser des analyses de distribution de moments pour des structures déterminées statiquement [29] qui s'avéra capable de résoudre les problèmes de pression ou de débit dans les systèmes de distribution d'eau en circuit fermé. la première approche impliquant un ajustement aux mailles a été trouvée plus rapide à converger et fut adoptée en tant que 'la méthode Hardy-Cross'.

Ce n'est que deux décennies plus tard et avec l'introduction des ordinateurs, que l'approche de Hardy-Cross fut appliquée numériquement: c'est la période informatique. Ce fut Hoag et Weinberg [30] qui l'adaptèrent pour résoudre le problème de distribution d'eau au sein de la ville de Palo Alto en Californie, usa.

Avec l'avènement d'ordinateurs de plus en plus sophistiqués (dénommée la période des méthodes numériques avancées), la méthode de Hardy Cross devient très intéressante pour le calcul des débits et des pressions dans les systèmes de distribution d'eau. Cependant, cette méthode pouvait prendre parfois de longues périodes pour converger vers une solution et pouvait ne pas l'atteindre dans certains cas comme elle ne pouvait pas simuler explicitement le comportement des composants d'un réseau tels que les vannes, les pompes, etc. Ces limitations ont dirigé la recherche de nouvelles formulations mathématiques du problème d'analyse de réseaux qui pourraient mieux profiter des possibilités offertes par les calculs à grande vitesse. Parmi celles-ci, la méthode du nœud simultané, celle de la boucle simultanée, des conduites simultanées et la méthode composée [28]. L'une des méthodes les plus performantes est celle dite du gradient [31] qui combine les équations aux conduites à celles aux nœuds et fournir ainsi une solution simultanée en termes de débits aux conduites et de charges aux nœuds. C'est la méthode intégrée au logiciel 'Epanet' appliqué dans ce travail.

### 3.6: MODELISATION DES RESEAUX AEP

#### 3.6.1: Définition

La modélisation d'un réseau AEP est en fait la simulation de son comportement dans un contexte donné. Le modèle représentant le fonctionnement du système est exprimé à l'aide

de relations mathématiques décrivant les différents évènements et actions relatives à son comportement [32].

### **3.6.2: Modélisation des réseaux d'AEP**

Le développement des capacités informatiques a largement contribué aux efforts de développement des modèles mathématiques décrivant ou simulant la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable. C'est démarche d'investigation non destructive qui, lorsqu'elle est menée dans de bonnes conditions, permet:

- dans le cadre d'une étude diagnostique, de connaître le fonctionnement hydraulique du réseau en situation actuelle et prochaine afin de déterminer ses points faibles et de planifier les renforcements nécessaires à court terme.
- de coordonner et valider, par les responsables de la distribution, les petits travaux en vérifiant son adéquation.
- du point de vue de l'exploitation, d'étudier les situations critiques liées à l'indisponibilité d'une ressource, d'ouvrages de pompage ou de stockage, ou d'une canalisation maîtresse, ou de rechercher les dispositions les mieux adaptées pour parvenir à un contrôle adéquat de la pression de distribution tout en réduisant les coûts d'exploitation.
- de concevoir, dimensionner et planifier les aménagements rendus nécessaires par l'évolution des consommations ou de la réglementation en matière de sécurité.

## **3.7: LES LOGICIELS DE MODELISATION DE RESEAUX D'AEP**

De nos jours, les outils de modélisation sont devenus incontournables à la gestion des réseaux d'eau potable. Une bonne et rapide conception, gestion et prévention de l'évolution des ouvrages hydrauliques et la qualité de l'eau distribuée nécessite de se doter d'outils de modélisation. A cet effet, plusieurs logiciels spécifiques à la modélisation et la gestion des eaux sont disponibles dont les plus appliqués sont cités ci-dessous [32].

### **3.7.1: Aquis**

'Aquis' [32] est un outil pour la modélisation et la gestion l'eau. C'est un programme capable de simuler mais également de concevoir et optimiser un réseau AEP. Il intègre des modules de calibrage et est capable de travailler en temps réel et en ligne ([www.7t.dk/aquis](http://www.7t.dk/aquis)).

### **3.7.2: Aquadapt**

Il permet l'optimisation de l'énergie pour l'ensemble d'un réseau AEP. ([www.derceto.com/Products-Services/Derceto-Aquadapt](http://www.derceto.com/Products-Services/Derceto-Aquadapt)).

### **3.7.3: EauSynergiee**

Le logiciel 'EauSynergiee' est le successeur 'SynergieeStoner' développé à l'origine pour le gaz, l'électricité et bien sur l'eau. C'est une famille avancée de modélisation des réseaux et des leurs applications offerte en format modulaire. (<http://www.advantica.biz>).

### **3.7.4: ElyxAqua**

‘ElyxAqua’ est une application logicielle de gestion cartographique des réseaux dédiée aux métiers de l'eau et de l'assainissement.

(<http://www.star-apic.com>).

### **3.7.5: Epanet**

Né suite à une initiative du Congrès des USA qui visaient à protéger les ressources naturelles du pays, le Logiciel ‘Epanet’ a été développé afin de mieux appréhender les écoulements et les transformations de l'eau dans un réseau d'adduction d'eau potable [3.1].

([www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html](http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html)).

### **3.7.6: Resodo**

‘Resodo’ permet de modéliser aussi bien des réseaux ruraux qu'urbains avec la possibilité de prise en compte d'une large gamme d'équipements tels les réservoirs, les pompes, les vannes régulatrices .. etc. Il intègre aussi des facilités telles que les calculs des pressions résiduelles, celles de défense contre les incendies, ‘estimation des fuites, les calculs de bilans ... etc. IL utilise par contre le moteur de calcul de ‘Epanet’ pour effectuer ses calculs hydrauliques et de qualité [22].

(<http://www.softeau.com/>).

### **3.7.7: WaterCAD**

C'est une application hautement conviviale permettant la modélisation du comportement hydraulique et la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution. Très utilisé par les services publics, municipaux et bureaux d'étude, c'est un outil fiable et économique qui facilite la prise de décision [22].

<http://www.bentley.com/fr-FR/Products/WaterCAD/Product-Overview.htm>.

### **3.7.8: Piccolo**

‘Piccolo’ est un logiciel de modélisation des réseaux d'eau potable. Développé en 1986, il constitue un outil général de simulation des écoulements en charge dans les réseaux maillés en y calculant les vitesses, les pressions, les débits, l'évolution des niveaux de réservoirs aussi bien en régime statique que dynamique [22].

(<http://www.safe.fr/fr/innovation/modelisation/piccolo>).

### **3.7.9: Porteau**

‘Porteau’ est un logiciel de simulation hydraulique et cinétique adapté aux réseaux d'eau sous pression. Développé en 2001, il permet une schématisation du réseau ainsi que la représentation de son fonctionnement en pointe sur un horizon de plusieurs heures ou jours, la modélisation de la qualité avec temps de séjour, cinétique et traçage de provenances. Il est utile comme outil de gestion et d'aide au dimensionnement [22].

(<http://porteau.irstea.fr/>).



# Chapitre4:

## SCENARIO D'EXTENSION DU RESEAU AEP SUD-GUELMA

### 4.1: INTRODUCTION

La satisfaction de la demande en eau d'une agglomération urbaine en croissance nécessite non seulement l'assurance de la disponibilité d'eau suffisante aux utilisateurs en qualité, mais aussi la planification des extensions nécessaires aux nouveaux venus dans le réseau initial.

Le présent travail s'applique à simuler l'extension d'un réseau urbain de conduites analysé lors d'études précédentes [6] en se basant sur les demandes estimées et allouées, et de l'étendre à une extension en prenant en compte les profils topographiques des nouveaux nœuds ainsi que l'alimentation générée pour le réseau initial.

### 4.2: LE LOGICIEL DE SIMULATION 'EPANET'

#### 4.2.1: Définition

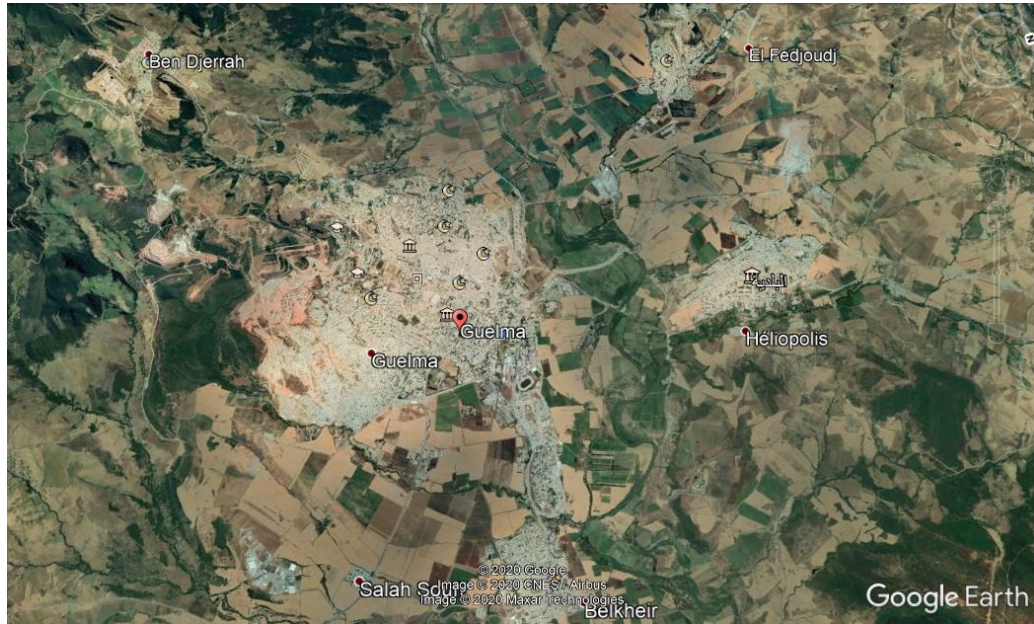
EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Lors d'une simulation qui peut être divisée en plusieurs étapes, EPANET calcule le débit dans chaque conduite, la pression en chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau. Il est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau [34].

#### 4.2.2: Objectifs

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution tels que la définition d'un programme de prélèvement d'échantillons, le calage d'un modèle hydraulique, la simulation du chlore résiduel, et l'estimation de l'exposition de la population à une substance.

EPANET offre aussi une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau. En effet, il peut contribuer à:

- l'utilisation en alternance des différentes ressources du système,
- une modification du régime de pompage ou de marnage des réservoirs,
- préciser l'usage des stations de recoloration (ou autres retraitements) en réseau,
- une planification de l'entretien et au remplacement de certaines canalisations [34].



**Figure 4.1:** Position de l'Extension Sud de la ville de Guelma

Le territoire De l'Extension Sud est limité (cf. [Figure 4.2](#)):

- au Nord par le Pos UC1,
- à l'Est et au Sud-Est par Oued-EL-Maïz,
- au Sud et au Sud-Ouest par Djebel-Hallouf,
- à l'Ouest et au Nord-Ouest par de futures extensions qui se dirigeraient vers la commune de Ben-Djerrah.



**Figure 4.2 :** Frontières de L'Extension-Sud

### 4.3: EQUIPEMENTS DE LA ZONE D'ETUDE

Les équipements de la zone d'étude intègrent L'habitat avec sa nature collective et celle de service ainsi que les différentes institutions d'accompagnement.

#### 4.3.1: Habitat

**Tableau 4.1:** Nombre d'habitats dans la zone d'étude

Nature	Nombre d'unités
Habitat Collectif	2328
Habitat & Services	2264

#### 4.3.2: Equipements

**Tableau 4.2:** Nombre et types d'habitat dans la zone d'étude

Nature	Nombre d'unités
Ecole primaires	2
Crèche	1
Hôtel	1
Salle d'exposition	1
Centre culturel	1
Siège Daïra	1
Direction antenne adm. et PTT	1
CEM	1
Sureté urbaine	1
Lycée	1
Mosquée	1
Extension université	/
Centre de formation professionnelle	1

### 4.4: MOYENS UTILISES

Les moyens utilisés incluent

- le plan d'occupation de sol 'Extension-Sud-Guelma' (cf. [Annexe A](#)),
- les paramètres de distribution d'eau tels que la demande en eau à chaque nœud,
- les paramètres du réseau de distribution tels que les élévations des nœuds, les longueurs et diamètres des conduites, la rugosité de matériau utilisée,
- le logiciel EPANET.

### 4.5: MODELISATION ET SIMULATION

Le fichier du plan d'occupation de sol 'Extension-Sud-Guelma' (extension: dwg) est converti en fichier image (extension: bmp) et utilisé comme toile de fond dans le logiciel

EPANET. Ceci facilita l'attribution des préfixes aux nœuds et aux conduites permettant ainsi l'obtention du modèle de fonctionnement du système de distribution d'eau dans EPANET (voir [Figure 4.3](#)). Le système de distribution d'eau est de type mixte. Il contient:

- quatre vingt deux (82) nœuds de demande,
- cent (100) conduites en matériau uniforme de différentes longueurs et diamètres. La longueur totale des conduites est de (11.1677, 7 m),
- un réservoir d'une capacité de (5000 m<sup>3</sup>) utilisé comme source de distribution d'eau à l'ensemble du réseau exclusivement par gravité.

Une fois le modèle du système généré dans EPANET, l'affectation des données aux nœuds ainsi que les caractéristiques des conduites peut être entreprise. Toutes les conduites sont en Polyéthylène Haute Densité (PEHD) menant à choisir la valeur adéquate du coefficient de rugosité de Hazen-Williams ( $C_{HW}=140$ ).

Une fois les données du réservoir intégrées, la simulation hydraulique peut être réalisée. Elle sera effectuée sur une période instantanée.

L'approche appliquée pour le calcul des pertes de charge est celle de Hazen-Williams et les pertes de charge singulières sont négligées.



**Figure 4.3 :** Numérisation du Réseau AEP - Google Earth

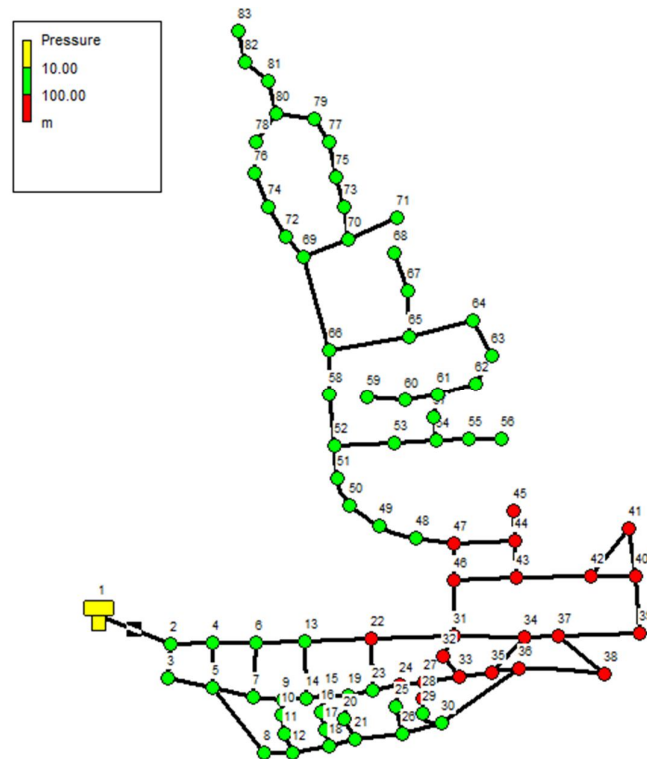
#### 4.5.1 Résultats et analyse-Dimensions initiales- Extension-Sud

Après la numérisation de réseau sur Epanet (cf. [Annexe B](#)) et la saisie de ses données dont les longueurs totales pour chaque diamètre de conduit sont représentées au [Tableau 4.3](#) et présentées en [Annexe D](#), la simulation hydraulique peut être lancée. Les résultats obtenus sont présentés en [Annexe E](#).

**Tableau 4.3:** Dimensions des conduites du réseau de distribution

Diamètre (mm)	Longueur totale des conduites (mm)
40	184.1
63	1428.87
90	2347.75
110	592.19
125	165.7
160	2308.94
200	1948.18
250	1191.97
315	/
400	/
500	1000
630	/

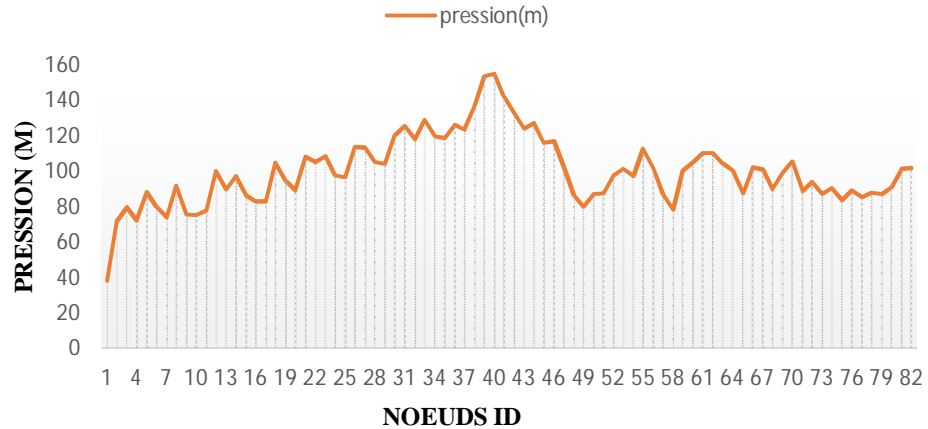
#### 4.5.1.1: Les pressions aux nœuds



**Figure 4.4:** Distribution de la pression aux nœuds

Sur le nombre total de 82 nœuds, 63 (i.e. 77%) ont développé une pression comprise entre 10m et 100m tandis que 23% c'est-à-dire 19 nœuds ont été trouvés avoir une pression supérieure à 100m.

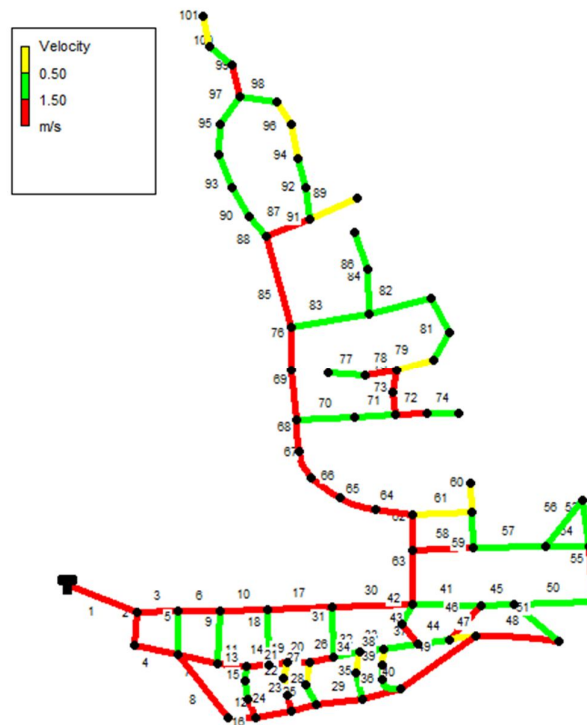
## Pression aux noeuds



**Figure 4.5:** Pressions aux noeuds

La [Figure 4.5](#) représentant la distribution des pressions aux noeuds montre que la valeur la plus élevée est de 153,77m et la valeur plus basse 35.74m.

### 4.5.1.2: Les vitesses dans les conduites

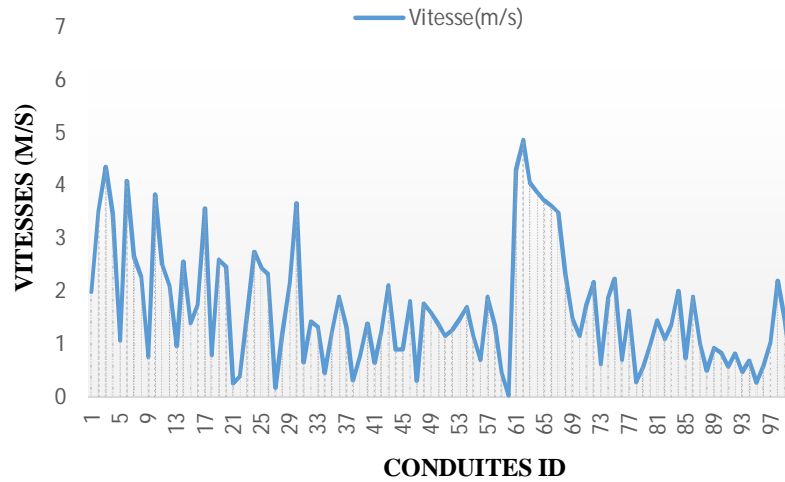


**Figure 4.6:** Distribution des vitesses dans les conduites

Sur le nombre total des conduites du réseau initial Extension Sud-Guelma:

- 45% ont obtenu des vitesses entre 0,5m/s et 1,5 m/s,
- 44% ont des vitesses supérieures à 1,5 m/s, et
- 11% ont des vitesses inférieures à 0,5 m/s.

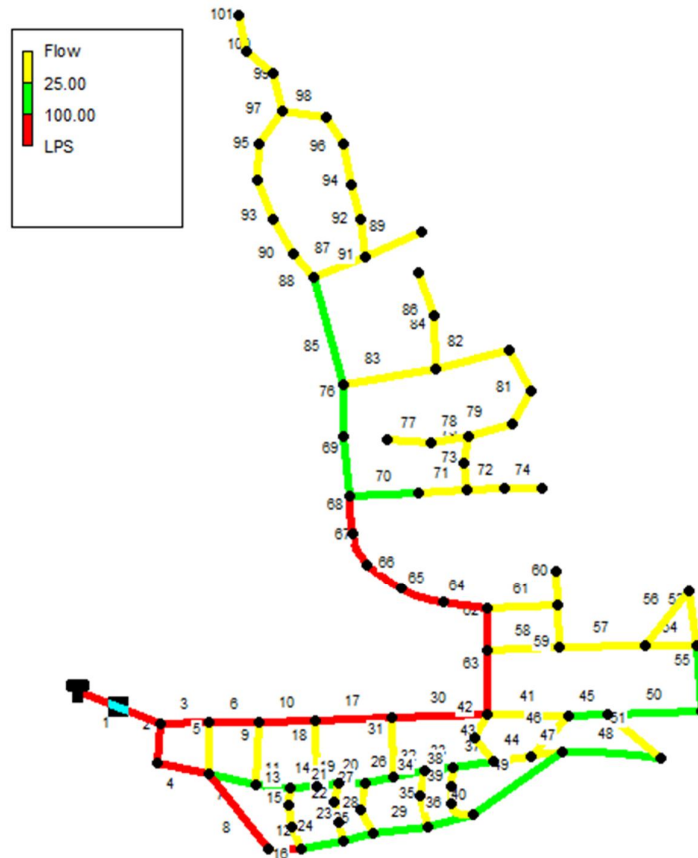
### Vitesse dans les conduites



**Figure 4.7:** Vitesses dans les conduites

Les résultats en termes de vitesses au sein des conduites ont montré une valeur maximale de 4,86 m/s et une valeur minimale égale à 0,02 m/s.

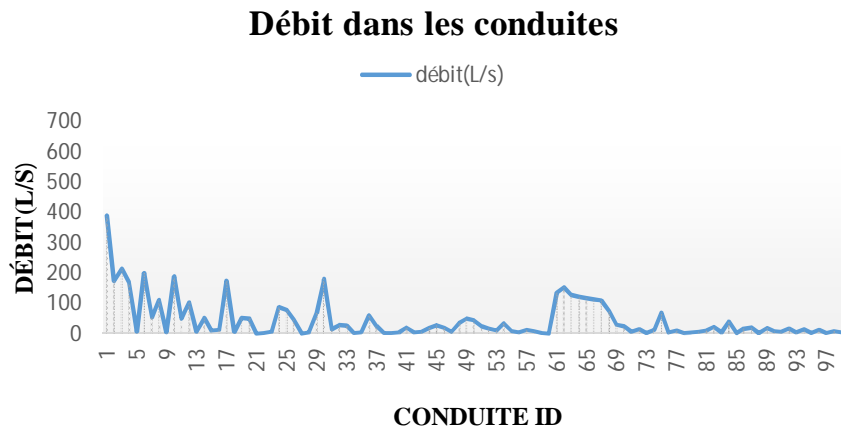
#### 4.5.1.3: Les débits dans les conduites



**Figure 4. 8:** Distribution des débits dans les conduites

Concernant les débits au sein des conduites du réseau, ils sont trouvés:

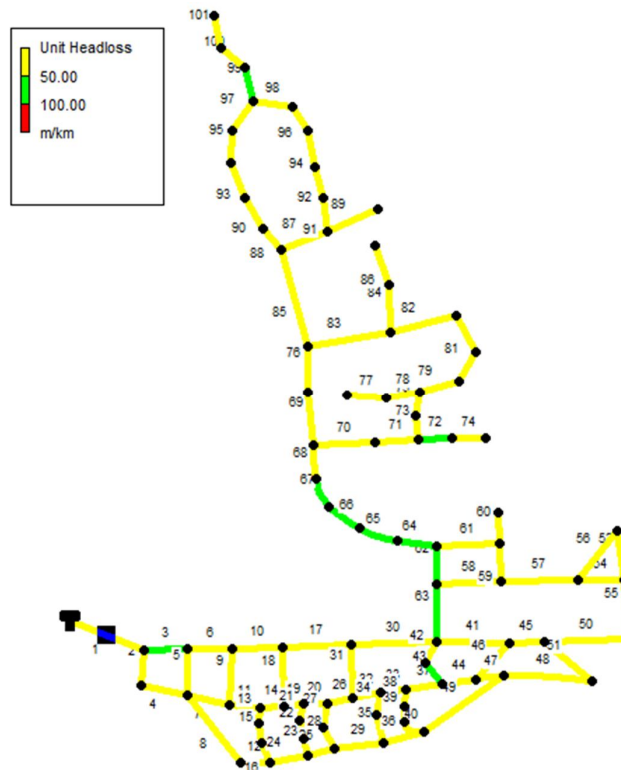
- inférieurs à 25 l/s pour 65% des conduites,
- compris entre 25 l/s et 100 l/s pour 18% des conduites, et
- supérieurs à 100 l/s pour 17% des conduites.



**Figure 4.9:** Débits dans les conduites

Les résultats en termes de débits montrent l'atteinte d'une valeur maximale à 388,58 litres/seconde, et un minimum à 0,16 litres/seconde.

#### 4.5.1.4: Les pertes de charge dans les conduites



**Figure 4.10:** Distribution des pertes de charge dans les conduites



Sur le nombre total des conduites du réseau:

- 85% ont généré des pertes de charge inférieures à 50 m/km,
- 13% génèrent des pertes de charge comprises entre 50 m/km et 100 m/km,
- 2% génèrent des pertes de charge supérieures à 100 m/km.

### Perte de charge dans les conduites

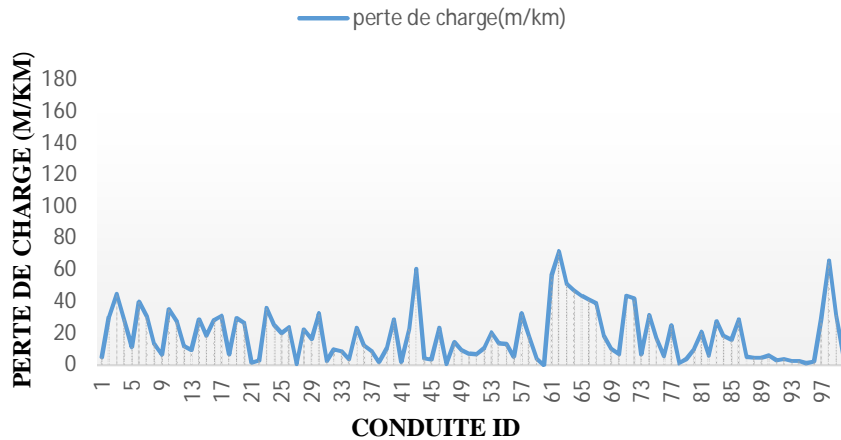


Figure 4.11: Pertes de charge dans les conduites

En termes de pertes de charge, les optima atteints ont été trouvés égaux à 71,58 m/km et 0 m/km.

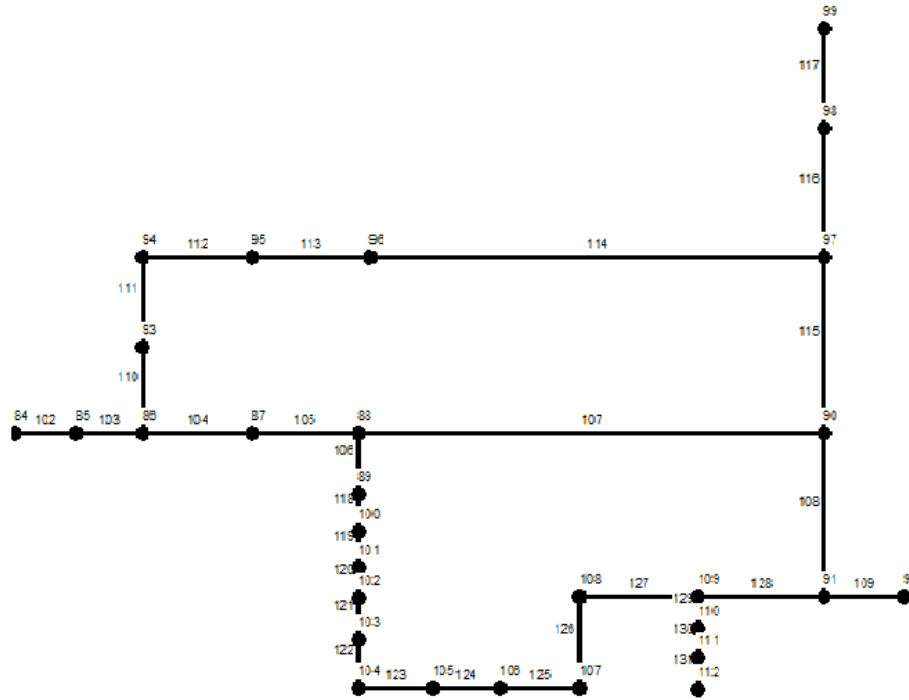
#### 4.6: PRESENTATION DU SITE (Campus universitaire)

Le campus de l'université considérée dispose d'un réseau de 30 blocs pour les activités académiques et administratives, et est bâti sur une superficie de plus de 150000 m<sup>2</sup> (cf. Figure 4.12).



Figure 4.12: Numérisation du campus universitaire dans Google Earth

Le réseau de distribution d'eau du campus universitaire illustrée en [figure 4.13](#) se compose de (29) nœuds de demande, (30) conduites en matériau uniforme ayant un diamètre de 250 mm. La longueur totale des conduites est de (3920, 99 m).



**Figure 4.13 :** Réseau de distribution d'eau du campus universitaire

#### 4.6.1 Résultats et analyse-Dimensions initiales- Extension-Sud+ Université

Le travail consistant à intégrer le campus universitaire en tant que réseau de distribution d'eau au réseau Sud-Guelma, un nouveau réseau a été ainsi créé sur Epanet (représenté en [Annexe C](#)). Ses données représentées par les longueurs totales pour chaque diamètre de conduit sont représentées au [Tableau 4.4](#) et présentées en [Annexe F](#). Sur cette base, la simulation hydraulique a été lancée. Les résultats obtenus sont présentés dans [l'Annexe G](#).

**Tableau 4.4:** Dimensions des conduites du réseau de distribution total

Diamètre (mm)	Longueur totale des conduites (mm)
40	184.1
63	1428.87
90	2347.75
110	592.19
125	165.7
160	2308.94
200	1948.18
250	5111,96
315	/
400	/
500	1000
630	/

#### 4.6.1.1: Les pressions aux nœuds

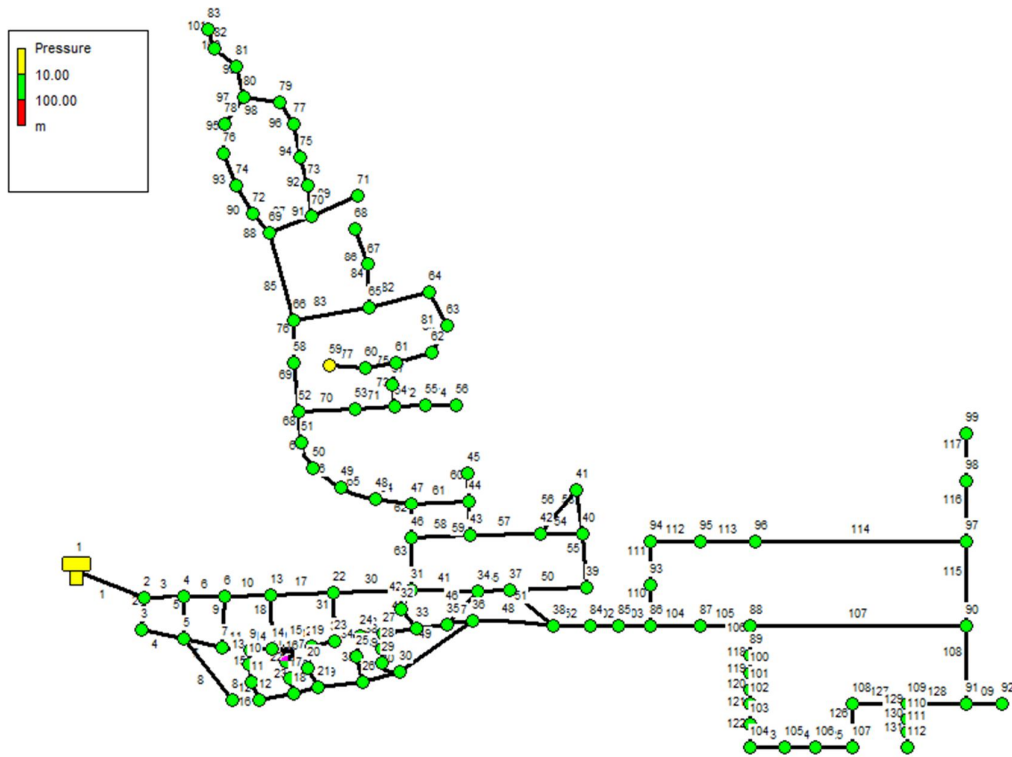


Figure 4.14: Distribution de la pression aux nœuds

Les pressions comprises entre 10m et 100m représentent 99.10% des nœuds tandis que celles possédant une pression inférieure à 10m sont inférieures à 1% (ils représentent en fait exactement 0.90% du nombre total des nœuds).

#### Pression aux nœuds

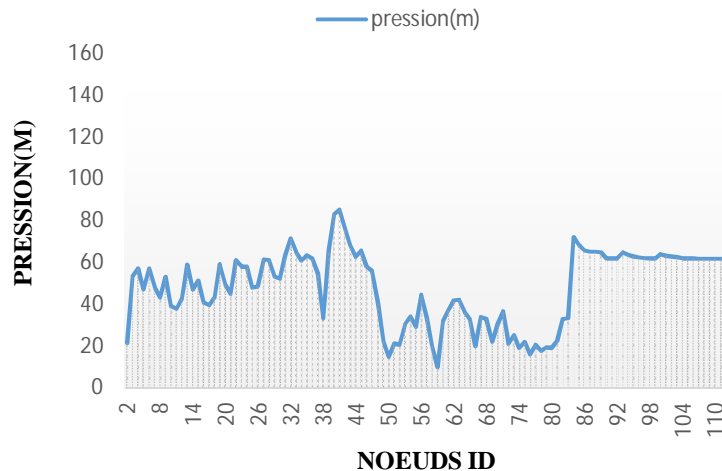


Figure 4.15: Pressions aux nœuds

En termes de pression, la valeur maximale atteinte a été trouvée égale à 85,10m tandis que la pression minimale n'a atteint que 9,75m.

#### 4.6.1.2: Les vitesses dans les conduites

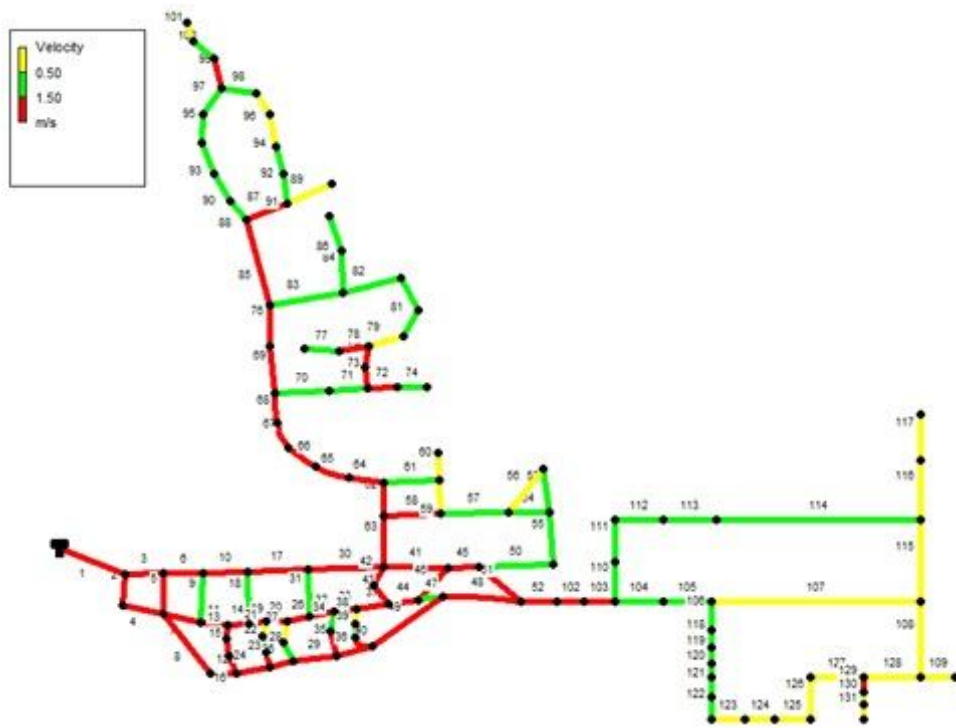


Figure 4.16: Distribution des vitesses dans les conduites

Sur le nombre total des conduites du réseau:

- 44.29% ont des vitesses supérieures à 1.5 m/s,
- 35.87% ont obtenu des vitesses entre 0.5m/s et 1.5 m/s, et
- 19.84% ont des vitesses inférieures à 0.5 m/s.

#### Vitesse dans les conduites

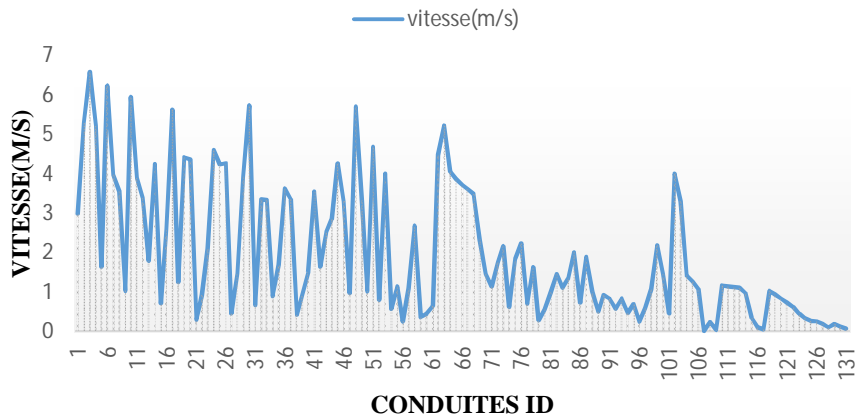


Figure 4.17: Vitesses dans les conduites

Les résultats en termes de vitesses au sein des conduites ont montré une valeur maximale de 6,58 m/s et une valeur minimale égale à 0,09 m/s.

### 4.6.1.3: Les débits dans les conduites

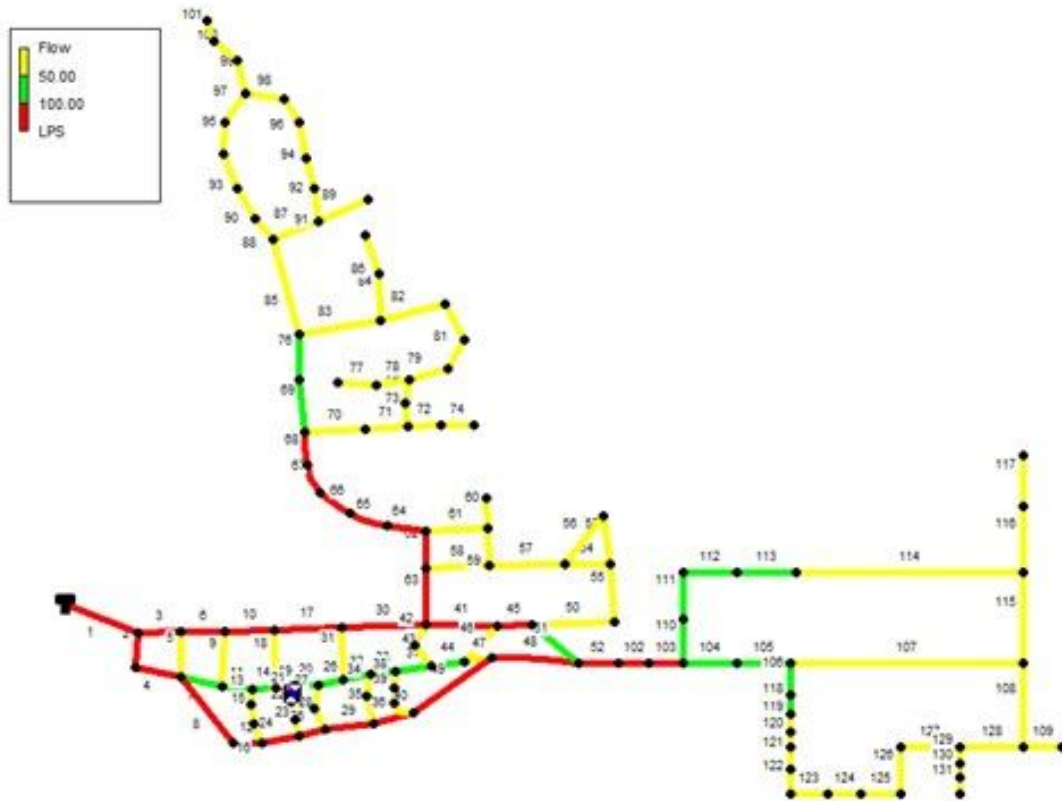


Figure 4.18: Distribution des débits dans les conduites

Concernant les débits au sein des conduites du réseau, ils sont trouvés:

- inférieurs à 25 l/s pour 62.6% des conduites,
- compris entre 25 l/s et 100 l/s pour 16% des conduites, et
- supérieurs à 100 l/s pour 21.4% des conduites.

### Débit dans les conduites

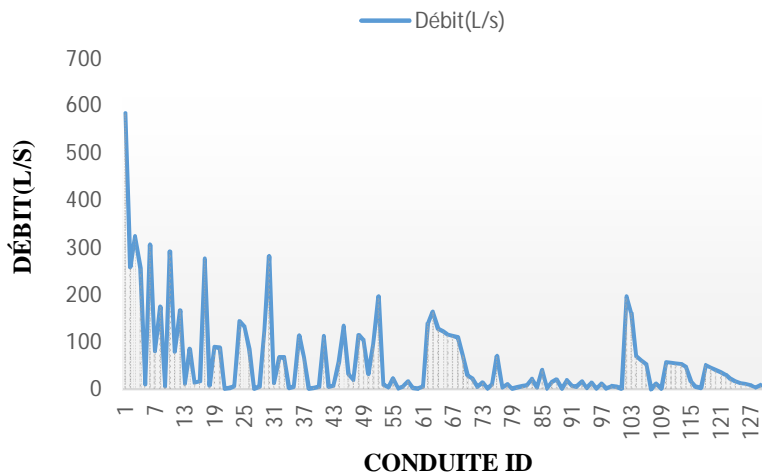
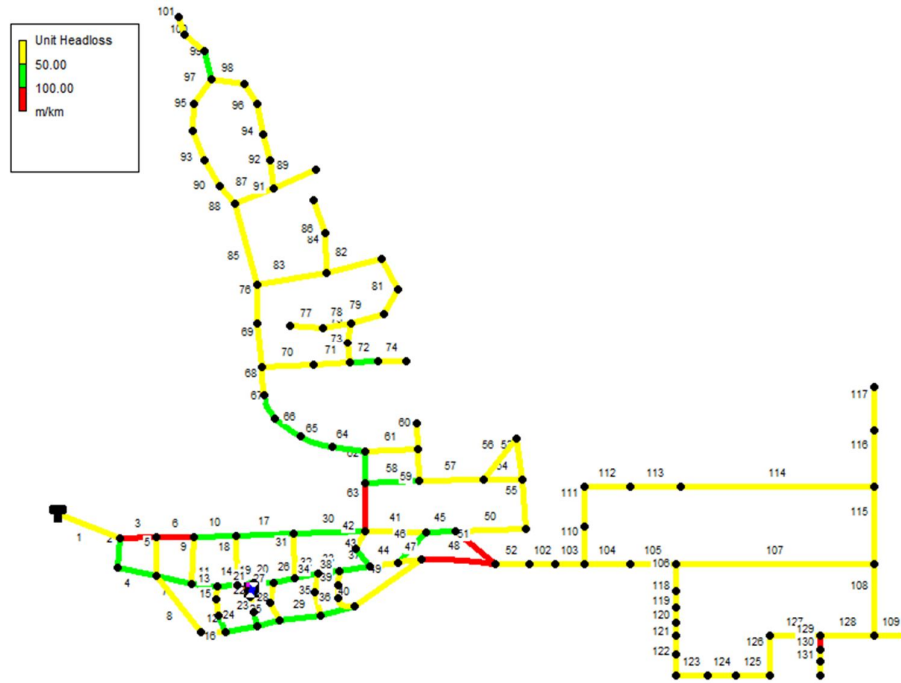


Figure 4.19: Débits dans les conduites

#### 4.6.1.4: Les pertes de charge dans les conduites

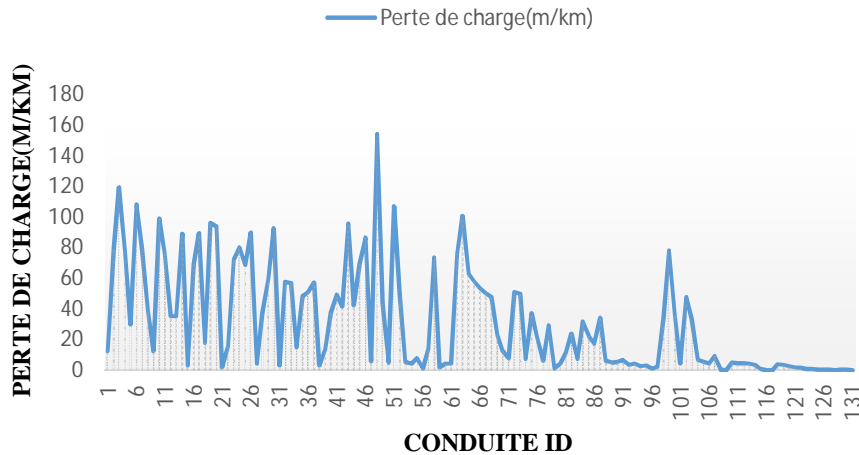


**Figure 4.20:** Distribution des pertes de charge dans les conduites

Sur le nombre total des conduites du réseau:

- 72,51% ont généré des pertes de charge inférieures   50 m/km,
- 23,66% g n r ent des pertes de charge comprises entre 50 m/km et 100 m/km,
- 3,82% g n r ent des pertes de charge supérieures   100 m/km.

#### Perte de charge dans les conduites



**Figure 4.21:** Pertes de charge dans les conduites

En termes de perte de charge dans les conduites du réseau, Les optima ont été trouvées égales   154,24 m/km et 0,02 m/km.

## 4.7.: COMPARAISON RESEAU INITIAL ET AJOUTÉ AU SITE UNIVERSITAIRE

Une extension du réseau public de distribution d'eau est généralement nécessaire et devrait être prévue. Dans le cas présent, l'étude s'est intéressée à la possibilité de l'extension du réseau sud-Guelma afin d'intégrer un site universitaire. A cet effet, deux études ont été entreprises: (1) une étude du réseau initial sud-Guelma seul et (2) une autre étude du réseau sud-Guelma intégré à un campus universitaire intégrant toutes les facilités. Le paragraphe actuel s'intéresse à comparer les résultats des deux études (cf. paragraphes 4.5 et 4.6).

### 4.7.1: la pression aux nœuds

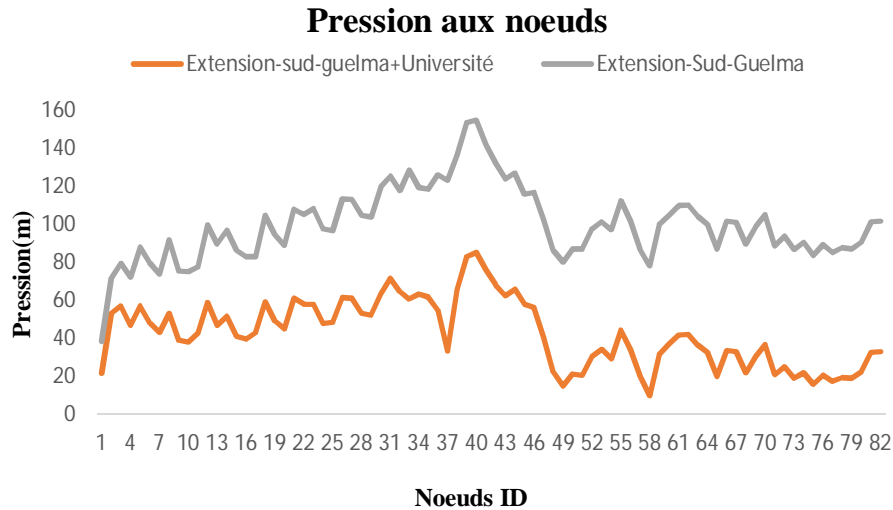


Figure 4.22: Pressions aux nœuds

L'adjonction du réseau de l'université a permis une diminution des pressions permettant à la totalité des nœuds d'avoir des pressions comprises entre 10 m et 100 m.

### 4.7.2: les vitesses dans les conduites

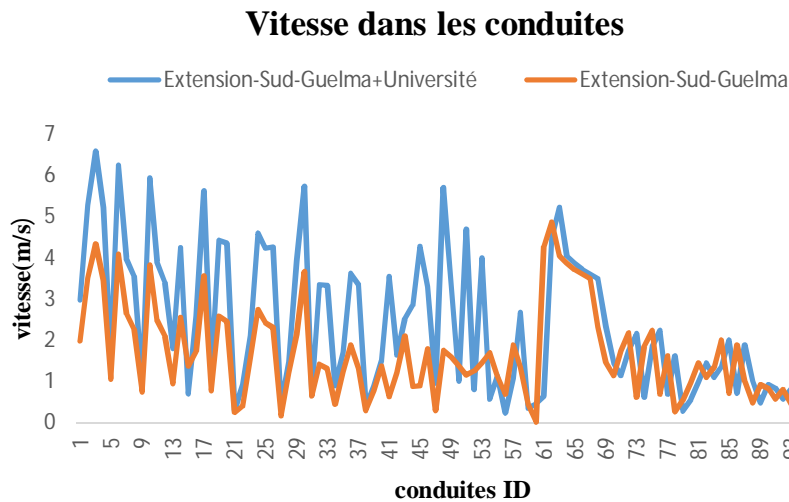


Figure 4.23: Vitesse dans les conduites

Les vitesses du réseau final, après l'extension à l'université, sont trouvées plus élevées que celles du réseau initial. La valeur maximale de 4,86 m/s du réseau initial est passée à 6,58m/s tandis que la valeur minimale du réseau initial qui était égale à 0.02 m/s a augmenté pour atteindre 0,09 m/s.

#### 4.7.3: Les débits dans les conduites

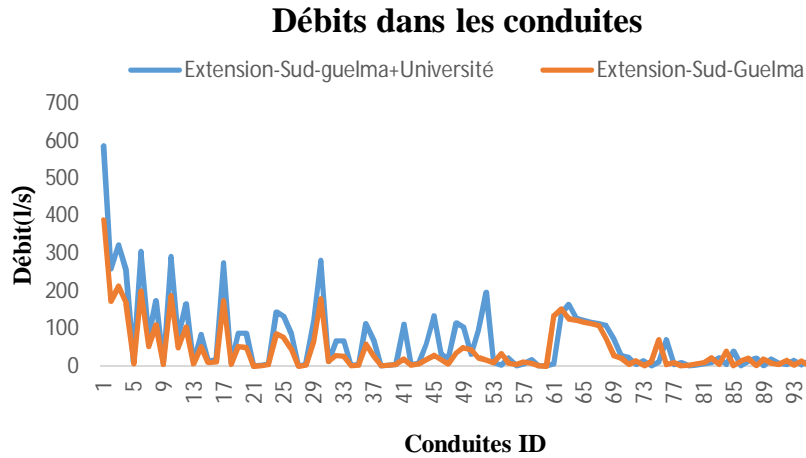


Figure 4.24: Débits dans les conduites

Les résultats concernant les débits au sein des conduites montrent des valeurs assez proches dans le cas des deux réseaux (Figure 4.24).

#### 4.7.4: Les pertes de charge dans les conduites

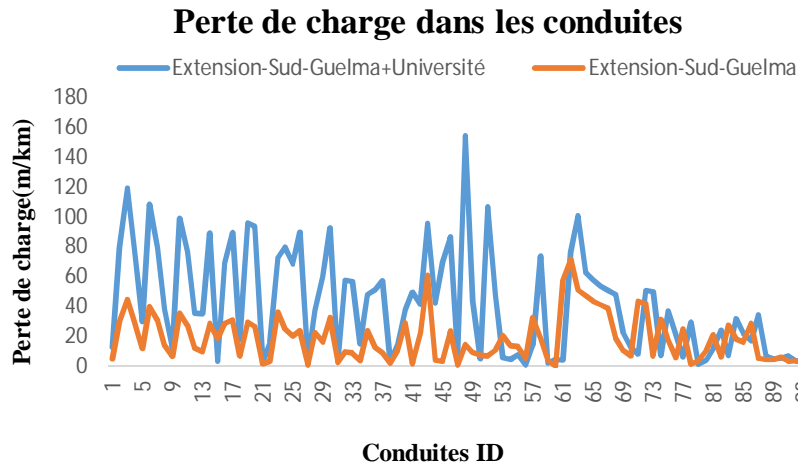


Figure 4.25: Perte de charge dans les conduites

Les pertes de charge dans les conduites de l'extension initiale sont très élevées que de l'extension de réseau final. Il commence à diminuer inférieur à 50 m/km.



# CONCLUSIONS

Les populations aussi bien rurales qu'urbaines dépendent de l'eau pour boire, cuisiner, se laver ... et autres besoins domestiques. Les systèmes d'approvisionnement en eau doivent y répondre mais doivent aussi répondre aux exigences des activités publiques, commerciales et industrielles. Les réseaux de distribution d'eau acheminent l'eau potable depuis l'usine de traitement centralisée ou des puits vers les robinets des consommateurs. Ces systèmes se composent de conduites, pompes, vannes, réservoirs de stockage, réservoirs, compteurs, raccords et autres accessoires hydrauliques. Ils s'étendent sur des kilomètres, les systèmes de distribution représentant la grande majorité des infrastructures physiques d'approvisionnement en eau constituant ainsi le principal défi de gestion d'un point de vue opérationnel et de santé publique.

La complexité de tels systèmes a entraîné la réalisation de nombreuses études ont été réalisées afin de permettre d'atteindre des conceptions fiables mais aussi durables. Ceci n'a pas été aisé au vu des augmentations des pressions de la demande en eau sur les systèmes d'approvisionnement existants et la nécessité d'y intégrer des systèmes adjacents.

C'est dans ce contexte que la présente étude a été conçue, la vision étant d'étendre un réseau de conduites existant (sud-Guelma) à un autre réseau représenté par un campus universitaire complet intégrant des sites administratifs et éducationnels, des laboratoires et des habitations. Le travail réalisé a permis d'atteindre les conclusions suivantes:

1. Le réseau original a montré des pressions aux nœuds assez élevées comprises entre 153,77m et 35,74m (Figure 4.5). Ceci est assez important et encourage en fait l'intégration d'un autre réseau qui va utiliser ces fortes pressions. Les vitesses au sein des différentes conduites ont aussi été trouvées assez importantes avec une moyenne avoisinant les 1,5m/s (cf. Figure 4.7).
2. L'adjonction au réseau principal du réseau de l'université qui intègre 30 conduites de même diamètre a entraîné une diminution des pressions, et 99,10% des nœuds développeront des pressions comprises entre 10m et 100m (Figure 4.15) ce qui est très acceptable.
3. Les mêmes constatations ont été faites concernant les autres paramètres tels les débits (Figure 4.18) et les pertes de charge (Figure 4.20).

Enfin, la comparaison des deux réseaux a été entreprise en termes de pressions aux nœuds, vitesses, débits et pertes de charge dans les conduites. Elle montre une adéquation des résultats obtenus. En effet:

1. En termes de pressions aux nœuds, celles-ci ont été trouvées comprises entre 10m et 80m (Figure 4.22).

2. En termes de vitesses, celles-ci se sont élevées pour atteindre un maximum de 6,58m/s au lieu des 4,86 m/s précédents permettant ainsi d'éviter les dépôts d'une manière plus conséquente.
3. En termes de débits par contre, ceux-ci ont montré des valeurs assez proches entre les deux cas (Figure 4.24). La raison peut être trouvée dans le fait des diamètres assez importants des conduites du site universitaire ajoutées et qui sont égales à 250mm .
4. L'intégration di site additionnel a entrainé une diminution des pertes de charge (Figure 4.25) trouvés inférieurs à 50m/km.

Il peut être conclu que l'extension du réseau initial (sud-Guelma) u site universitaire a montré de bons résultats. La raison peut être trouvée dans le fait que le site original développait des pressions aux nœuds assez importantes (nécessitant l'intégration d'un réservoir tampon et des vannes de réduction de pression aux endroits sensibles) dont a profité le réseau additionnel.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Amiroudine, S et Battaglia J.L. (2017) 'Mécanique des Fluides', 3<sup>ème</sup> Edition, Dunod.
- [2] Monavon, A. (2014) 'Manuel de Mécanique des Fluides', 2<sup>ème</sup> Edition, Dunod.
- [3] Chassaing, P. (2010) 'Mécanique des Fluides - Eléments d'un premier parcours', 3<sup>ème</sup> Edition, Cépaduès.
- [4] Youcefi, S. (2016) 'Mécanique des Fluides - Cours et Applications', Université des Sciences et de la Technologie Mmohamed Boudiaf Oran, Algérie.
- [5] Benhamouda, R. (2008) "Notions de mécanique des fluides", Office des Publications Universitaire, Tunisie. ISBN : 978-9973-37-494-3.
- [6] Boumaza H. (2019) 'Analyse du Fonctionnement d'un Réseau d'Alimentation en Eau Potable et Contribution à sa Gestion', Master-2, Faculté des Sciences et de la Technologie, Université 8 mai 1945, Guelma, Algérie.
- [7] Elaziouti, A. (2015) 'Dynamique des fluides réels', Université Dr Moulay Tahar, Saida, Algérie.
- [8] Darcy, H. (1857) "Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux", Mallet-Bachelier, atlas, Paris, France.
- [9] Weisbach, J. (1845) "Lehrbuch der Ingenieur-und Maschinen-Mechanik", vol. 1, Theoretische Mechanik, Vieweg und Sohn, Braunschweig, Germany.
- [10] Moody, L.F. (1944) "Friction Factors for Pipe Flow", Trans. American Society of Mechanical Engineers, 66, pp 671-684.
- [11] Chen J.J.J. (1985) "Systematic explicit solutions of the Prandtl and Colebrook-White equation for pipe flow", Proc. Inst. of Civil Engrs., pp. 383-389.
- [12] Wood, D.J., Dorsch, R. et Lightner, C. (1966) "Wave Analysis of Unsteady Flow in Conduits", Journal of Hydraulics Division ASCE, March, Vol 92. No HY2. pp 83, 220
- [13] Swamee, P. K. et Jain, A. K. (1976) "Explicit equations for pipe-flow problems" J. Hydraulics Division, ASCE, 102(5), 657-664.
- [14] Techo, R., Tichner, R.R. et James, R.E. (1965) "An Accurate Equation for the Computation of Friction Factor for Smooth Pipes from the Reynolds Number", J. of Applied Mechanics, 32, pp 443.
- [15] Chen J.J.J. (1984) "A Simple Explicit Formula for the Estimation of Pipe Friction Factor", Proc. Inst. of Civil Engrs., 77 (2), pp 49-55.
- [16] Moody, L.F. (1944) "Friction Factors for Pipe Flow", Trans. American Society of Mechanical Engineers, 66, pp 671-684.

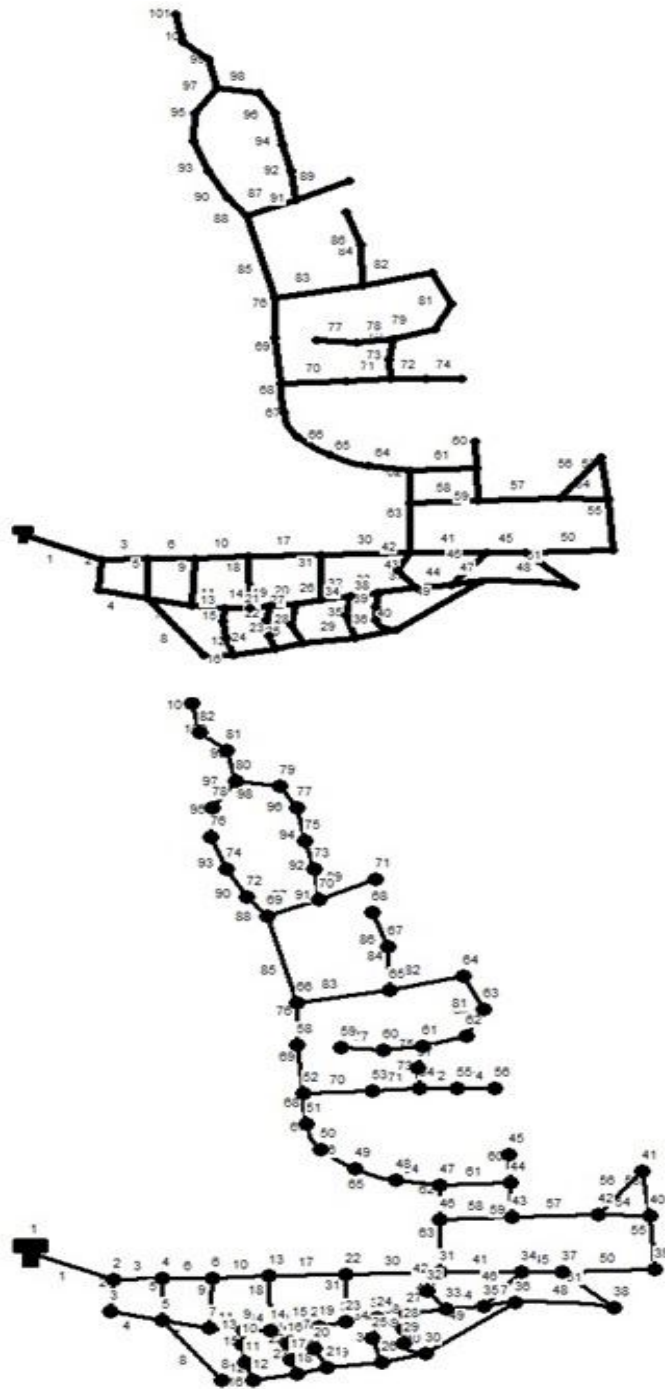
- [17] Barr, D.I.H. (1975) "New Forms of Equation for the correlation of Resistance Data", Proc. Inst. of Civil Engrs., 59 (2), pp 827-835.
- [18] Churchill, S.W. (1977) "Friction Factor Equation Spans All Fluid Flow Regimes", Chemical Engineering, 84, pp 91-92.
- [19] Zigrang D.J. et Syslvester, N.D. (1982) "Explicit approximations to the solution of Colebrook's friction factor equation", J. Am. Inst. of Chemical Engrs., pp. 514-515.
- [20] Haaland S.E. (1983) "Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow", J. fluids Engrs., pp. 89-90.
- [22] Bousalaa S. et Benbekhti F. (2018) "Etude diagnostic d'un réseau d'AEP à l'aide du logiciel Epanet - Cas du chef-lieu de la ville de Hennaya", Master-2, Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.
- [23] Ouellabi, F. et Chettouh, Y. (2015) "Dimensionnement du Réseau d'AEP du Secteur Route Touggourt-ElOued", Master-2, Université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued, Algérie.
- [24] Belaiissa, H. (2019) " Dimensionnement du réseau d'alimentation en eau potable de la nouvelle cité Ghabat Zawache - w. Blida", Licence Pro., Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, Algérie.
- [25] Derras, S.M. et Djedaini, I. (2020) 'Etude de dimensionnement et asservissement des ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable avec mise en place d'une maquette de simulation réduite-Etude du cas d'AEP du Nouveau Quartier de Sidi Djillali-w. Tlemcen', Master-2, Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.
- [26] Blindi, I. (2004) 'Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques', Sciences de l'environnement. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jean Monnet - Saint-Etienne, France.
- [27] Célérier, JL et Chazelon, JC (2005) 'L'alimentation en Eau Potable', Cahier Technique No 19, Office International de l'Eau, 15, rue Edouard Chamberland, 87065 Limoges Cedex, France.
- [28] Ormsbee, LE (2006) 'The History of Water Distribution Network Analysis: The Computer Age', 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio, USA.
- [29] Cross, H. (1936) "Analysis of flow in networks of conduits or conductors", Engineering Experiment Station, University of Illinois, Bulletin No. 286.
- [30] Hoag, L.N.etWeinberg, G. (1957) "Pipeline network analysis by electronic digital computer", Journal of the American Water Works Association, 517-524.
- [31] Todini, E. et Pilati, S. (1987) "A gradient method for the analysis of pipe networks", International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution, Leicester Polytechnic, UK.

- [32] Azzi, L. (2016) 'Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un système d'information géographique. Étude de la rive gauche de la ville de Sidi Aiche', Master-2, Université Mohammed Khider, Biskra, Algérie.
- [33] Coelho, B. et Andrade-Campos, A. (2014) "Efficiency achievements in water supply systems-A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, pp. 59-84.
- [34] Haridi, L. et Abakhti, F. (2018) 'modélisation d'un réseau AEP', Master-2, Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie.
-

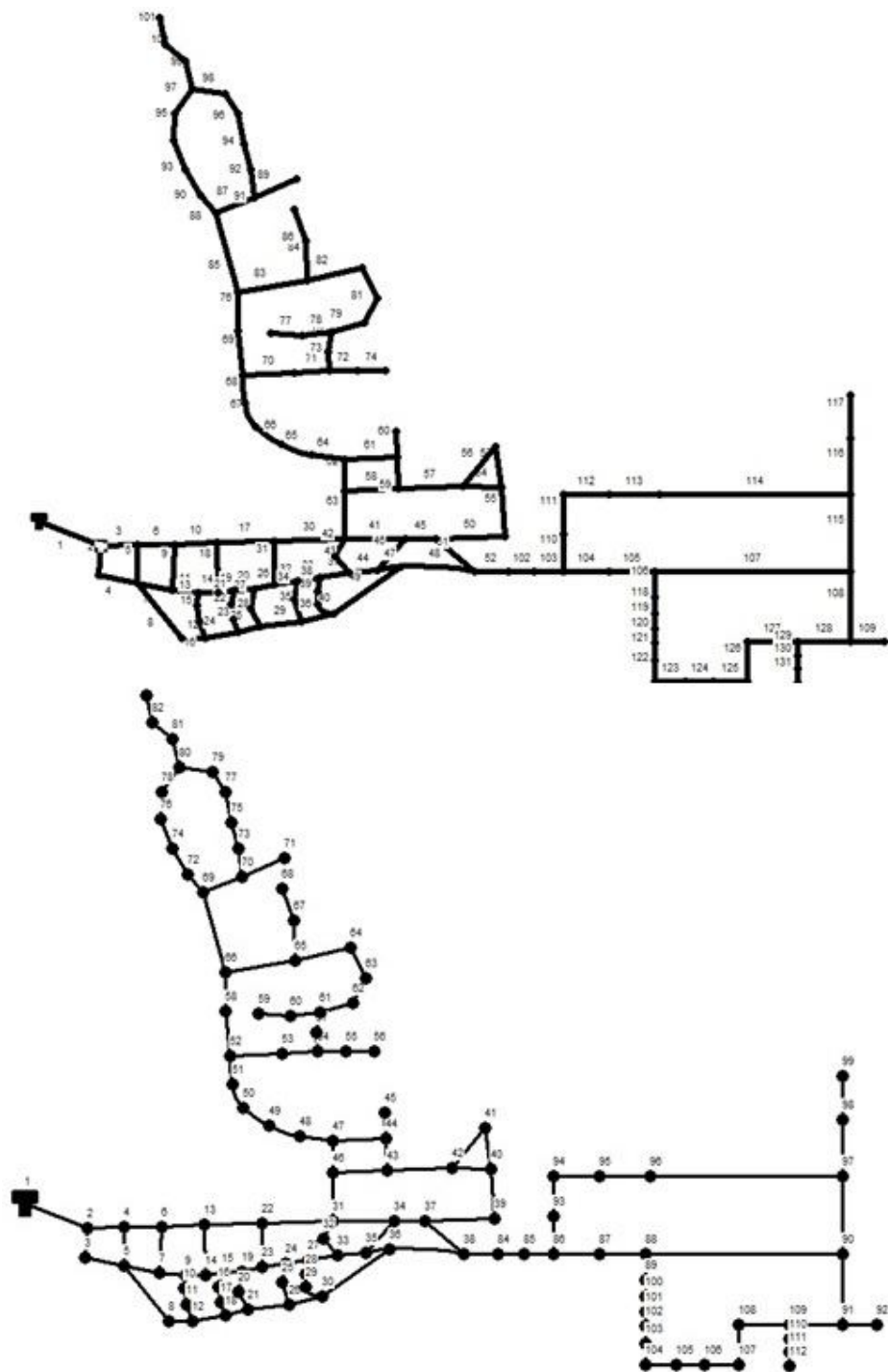
**ANNEXE A:** **PLAN D'OCCUPATION DE SOL**  
**'EXTENSION-SUD-GUELMA'**



**ANNEXE B: NUMERISATION DU RESEAU  
EXTENTION-SUD-GUELMA SUR EPANET**



**ANNEXE C: NUMERISATION DU RESEAU EXTENTION-SUD-  
GUELMA+UNIVERSITE  
SUR EPANET**





**Annexe D: RESEAU INITIAL EXISTANT D'EXTENSION-SUD-GUELMA**  
**D1-Paramètres de données**

Nœud Id	Altitude (m)	Demande de base (l/s)	Nœud Id	Altitude (m)	Demande de base (l/s)
02	537,62	3,15	43	448,16	7,76
03	539,42	3,21	44	453,56	6,99
04	528,59	6,2	45	450	1,41
05	534,57	11,81	46	469,2	6,36
06	515,44	8,04	47	460,56	7,44
07	522,61	8	48	467,85	5,5
08	529,98	7,43	49	476,54	5,16
09	506,98	4,58	50	471,88	3,42
10	524	2,73	51	467,88	3,54
11	525	2,3	52	464,8	7,25
12	524,15	6,11	53	452,15	6,3
13	498,12	7,93	54	447,52	3,76
14	506,98	4,36	55	448	3,53
15	498,5	2,14	56	432	1,9
16	509	1,98	57	445	2,02
17	513	3,68	58	463,25	2,91
18	516,19	4,98	59	463,25	4,41
19	490,78	3,31	60	442,8	5,89
20	501	3,21	61	439,99	3,17
21	508,51	4,95	62	435,01	1,78
22	486,53	7,93	63	434,97	2,66
23	490,87	4,87	64	441,8	3,04
24	486	3,24	65	447,52	8,6
25	497	2,49	66	462	7,96
26	499,52	4,64	67	442,31	3,29
27	480,6	0,98	68	442,32	0,91
28	481	1,51	69	457,74	5,19
29	490	1,88	70	444,28	5,33
30	491	4,82	71	437,61	1,53
31	469,88	10,86	72	458,32	1,71
32	467	2,76	73	449,19	2,48
33	476	2,28	74	459,89	2,13
34	460,64	8,82	75	452,18	2,48
35	473,96	6,49	76	462,83	2,61
36	475,12	8,73	77	453,3	1,33
37	462,92	8,26	78	461,03	2,02
38	466,93	12,16	79	454,67	2,9
39	450,83	9,03	80	459,41	3,61
40	433	9,24	81	453,77	2,31
41	430	8,28	82	441,6	3,14
42	439	12,09	83	441	1,39
			Réservoir1	620	#N/A

**Annexe D: RESEAU INITIAL EXISTANT D'EXTENSION-SUD-GUELMA  
D1-Paramètres de données (Suite)**

Conduit Id	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Conduit Id	Longueur (m)	Diamètre (mm)
01	1000	500	51	164,4	160
02	30,26	250	52	67,76	160
03	79,51	250	53	226,6	90
04	143,3	250	54	165,7	125
05	135	90	55	281,8	90
06	120,6	250	56	105,2	90
07	138,5	160	57	144,6	90
08	221,7	250	58	169,5	90
09	155,6	90	59	76,25	63
10	158,4	250	60	132	110
11	138,7	160	61	137,4	200
12	179,8	250	62	61,87	200
13	79,48	90	63	133	200
14	29,24	160	64	164,6	200
15	68,32	90	65	114,4	200
16	56,05	90	66	70,01	200
17	105,1	250	67	76,71	200
18	165,5	90	68	89,47	200
19	41,34	160	69	225,5	160
20	74,78	160	70	115,4	160
21	0,88	63	71	87,91	63
22	160,9	63	72	56,98	90
23	92,13	63	73	102,8	63
24	94,27	200	74	52,35	90
25	83,1	200	75	67,53	200
26	20,96	160	76	238,4	90
27	83,16	63	77	80,11	90
28	90,16	63	78	38,98	90
29	94,05	200	79	57,02	90
30	153,3	250	80	86,76	90
31	170,6	160	81	77,66	90
32	72,03	160	82	258,8	160
33	32,52	160	83	128,8	63
34	71	63	84	103,7	160
35	63,88	63	85	49,1	40
36	93,53	200	86	142,6	100
37	22,47	160	87	53,23	160
38	0,7	63	88	82,74	63
39	81,84	63	89	61,96	160
40	0,88	63	90	62,76	110
41	240	200	91	71,43	110
42	126,6	63	92	78,98	160
43	22,74	63	93	50,08	90
44	80,24	160	94	30,53	160
45	53,53	200	95	21,76	90
46	183,4	110	96	1,41	160
47	87,99	160	97	135	40
48	237,9	160	98	30,16	63
49	146,3	200	99	49,81	63
50	228,41	200	100	75,53	63

**Annexe E: RESEAU INITIAL EXISTANT D'EXTENSION-SUD-GUELMA**  
**- Résultats -**

<b>Nœud Id</b>	<b>Pression (m)</b>	<b>Nœud Id</b>	<b>Pression (m)</b>
02	38,07	43	123,71
03	71,35	44	126,96
04	79,54	45	115,84
05	72,02	46	116,7
06	87,88	47	102,62
07	79,75	48	86,18
08	73,63	49	79,94
09	91,6	50	86,99
10	75,34	51	87,09
11	74,89	52	97,42
12	77,33	53	101,28
13	99,61	54	96,98
14	89,64	55	112,29
15	96,91	56	101,41
16	86,31	57	86,73
17	82,79	58	78,23
18	82,93	59	99,97
19	104,61	60	104,77
20	94,45	61	109,79
21	88,95	62	110,04
22	107,95	63	104,08
23	104,89	64	99,97
24	108,18	65	87,08
25	97,45	66	101,64
26	96,43	67	100,85
27	113,3	68	89,44
28	112,9	69	98,81
29	104,75	70	105,1
30	103,78	71	88,58
31	119,59	72	93,53
32	125,33	73	86,73
33	117,71	74	90,33
34	128,41	75	83,51
35	119,42	76	89,07
36	118,31	77	85,23
37	125,96	78	87,68
38	123,05	79	86,85
39	136,44	80	90,5
40	153,35	81	101,1
41	154,59	82	101,41
42	141,91		

**Annexe E: RESEAU INITIAL EXISTANT D'EXTENSION-SUD-GUELMA  
E1- Résultats (Suite)**

Conduit Id	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)	Conduit Id	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)
01	388,58	1,98	4,69	51	23,17	1,15	6,74
02	172,27	3,51	30,25	52	15,49	1,26	10,67
03	213,16	4,34	44,73	53	9,24	1,45	20,43
04	169,06	3,44	29,22	54	33,97	1,69	13,47
05	6,75	1,06	11,45	55	7,21	1,13	13,06
06	200,21	4,08	39,87	56	4,36	0,69	5,31
07	53,24	2,65	30,53	57	11,95	1,88	32,44
08	110,75	2,26	13,45	58	8,56	1,34	18,2
09	4,76	0,75	6,21	59	1,41	0,45	4
10	187,42	3,82	35,31	60	0,16	0,02	0
11	50	2,49	27,22	61	134,44	4,28	56,59
12	103,32	2,1	11,84	62	152,76	4,86	71,58
13	6,06	0,95	9,56	63	127,16	4,05	51,07
14	51,48	2,56	28,71	64	121,66	3,87	47,08
15	8,79	1,38	18,65	65	116,5	3,71	43,48
16	11,09	1,74	28,36	66	113,08	3,6	41,16
17	174,51	3,56	30,97	67	109,54	3,49	38,83
18	4,98	0,78	6,71	68	73,02	2,32	18,48
19	52,1	2,59	29,33	69	29,27	1,46	10,28
20	49,19	2,45	26,43	70	22,97	1,14	6,63
21	0,77	0,25	1,38	71	5,43	1,74	43,55
22	1,21	0,39	3,03	72	13,78	2,17	42,02
23	4,89	1,57	36,13	73	1,9	0,61	6,68
24	86,12	2,74	24,99	74	11,76	1,85	31,54
25	76,25	2,43	20	75	70,11	2,23	17,16
26	46,42	2,31	23,76	76	4,41	0,69	5,42
27	0,53	0,17	0,72	77	10,3	1,62	24,83
28	3,74	1,2	22,35	78	1,71	0,27	1,01
29	67,55	2,15	16,03	79	3,49	0,55	3,63
30	179,66	3,66	32,67	80	6,15	0,97	10,03
31	13,08	0,65	2,41	81	9,19	1,44	20,79
32	28,46	1,42	9,77	82	21,99	1,09	6,13
33	26,59	1,32	8,63	83	4,2	1,35	27,46
34	1,37	0,44	3,73	84	40,16	2	18,26
35	3,86	1,24	23,55	85	0,91	0,72	15,9
36	59,06	1,88	12,55	86	14,77	1,88	28,69
37	26,54	1,32	8,6	87	20,2	1	5,26
38	0,93	0,3	1,86	88	1,53	0,49	4,56
39	2,44	0,78	10,38	89	18,49	0,92	4,48
40	4,32	1,38	28,79	90	7,91	0,83	5,9
41	19,83	0,63	1,74	91	5,43	0,57	3,01
42	3,79	1,22	22,6	92	16,36	0,81	3,59
43	6,55	2,1	60,68	93	2,95	0,46	2,66
44	17,71	0,88	4,15	94	13,75	0,68	2,63
45	28,1	0,89	3,26	95	1,62	0,26	0,93
46	17,08	1,8	23,58	96	11,73	0,58	1,98
47	5,86	0,29	0,57	97	1,28	1,02	28,93
48	35,33	1,76	14,47	98	6,84	2,19	66,03
49	49,92	1,59	9,24	99	4,53	1,45	31,45
50	43	1,37	7,05	100	1,39	0,45	3,85

**Annexe F: RESEAU INITIAL EXISTANT: EXTENSION-SUD-GUELMA + UNIVERSITE  
- Paramètres de données -**

<b>Nœud Id</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Demande de base (l/s)</b>	<b>Nœud Id</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Demande de base (l/s)</b>
2	573,62	3,15	46	469,2	6,36
3	539,42	3,21	47	460,56	7,44
4	528,59	6,2	48	467,85	5,5
5	534,57	11,81	49	476,54	5,16
6	515,44	8,04	50	477,81	3,42
7	522,61	8	51	467,88	3,54
8	529,98	7,43	52	464,8	7,25
9	506,98	4,58	53	452,15	6,3
10	524	2,73	54	447,52	3,76
11	525	2,3	55	448	3,53
12	524,15	6,11	56	432	1,9
13	498,12	7,93	57	445	2,02
14	506,98	4,36	58	463,5	2,91
15	498,5	2,14	59	463,25	4,41
16	509	1,98	60	442,8	5,89
17	513	3,68	61	439,99	3,17
18	516,19	4,98	62	435,01	1,78
19	490,78	3,31	63	434,97	2,66
20	501	3,21	64	441,8	3,04
21	508,51	4,95	65	447,52	8,6
22	486,53	7,93	66	462	7,96
23	490	4,87	67	442,31	3,29
24	486	3,24	68	442,32	0,91
25	497	2,49	69	457,74	5,19
26	499,52	4,64	70	444,28	5,33
27	480,6	0,98	71	437,61	1,53
28	481	1,51	72	458,32	1,71
29	490	1,88	73	449,19	2,48
30	491	4,82	74	459,89	2,13
31	469,88	10,86	75	452,18	2,48
32	467	2,76	76	462,83	2,61
33	476	2,28	77	453,3	1,33
34	460,64	8,82	78	461,03	2,02
35	473,96	6,49	79	454,67	2,9
36	475,12	8,73	80	459,41	3,61
37	462,92	8,26	81	453,77	2,31
38	466,93	12,16	82	441,6	3,14
39	450,83	9,03	83	441	1,39
40	433	9,24	84	428	0
41	430	8,28	85	427,86	34,52
42	439	12,09	86	427,86	34,52
43	448,16	7,76	87	427,818	9,08
44	453,56	6,99	88	427,8	9,08
45	450	1,41	89	427,796	1,25

**Annexe F: RESEAU INITIAL EXISTANT: EXTENSION-SUD-GUELMA + UNIVERSITE**  
**- Paramètres de données -**  
**(Suite-1)**

<b>Nœud Id</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Demande de base (l/s)</b>	<b>Nœud Id</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Demande de base (l/s)</b>
90	427,793	5,68	102	427,812	5,45
91	427,793	5,68	103	427,81	5,22
92	427,777	1,6	104	427,912	8,29
93	427,836	1,7	105	427,822	5,45
94	427,85	0,91	106	427,84	3,07
95	427,857	0,91	107	427,847	1,6
96	427,852	6,81	108	427,814	2,84
97	427,809	25,21	109	427,808	3,97
98	427,846	2,5	110	427,801	3,07
99	427,822	2,5	111	427,787	3,07
100	427,798	4,09	112	427,832	3,07
101	427,78	5,45	Tank 1	620	#N/A

**Annexe F: RESEAU INITIAL EXISTANT: EXTENSION-SUD-GUELMA + UNIVERSITE**  
**- F1: Paramètres de données -**  
**(Suite-2)**

Conduit Id	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Conduit Id	Longueur (m)	Diamètre (mm)
01	1000	500	69	89,47	200
02	30,26	250	70	225,5	160
03	79,51	250	71	115,4	160
04	143,3	250	72	87,91	63
05	135	90	73	56,98	90
06	120,6	250	74	102,8	63
07	138,5	160	75	52,35	90
08	221,7	250	76	67,53	200
09	155,6	90	77	238,4	90
10	158,4	250	78	80,11	90
11	138,7	160	79	38,98	90
12	179,8	250	80	57,02	90
13	79,48	90	81	86,76	90
14	29,24	160	82	77,66	90
15	68,32	90	83	258,8	160
16	56,05	90	84	128,8	63
17	105,1	250	85	103,7	160
18	165,5	90	86	49,1	40
19	41,34	160	87	142,6	100
20	74,78	160	88	53,23	160
21	0,88	63	89	82,74	63
22	160,9	63	90	61,96	160
23	92,13	63	91	62,76	110
24	94,27	200	92	71,43	110
25	83,1	200	93	78,98	160
26	20,96	160	94	50,08	90
27	83,16	63	95	30,53	160
28	90,16	63	96	21,76	90
29	94,05	200	97	1,41	160
30	153,3	250	98	135	40
31	170,6	160	99	30,16	63
32	72,03	160	100	49,81	63
33	32,52	160	101	75,53	63
36	93,53	200	102	85	250
37	22,47	160	103	75	250
38	0,7	63	104	70	250
39	81,84	63	105	45	250
40	0,88	63	106	30	250
41	240	200	107	342	250
42	126,6	63	108	170	250
43	22,74	63	109	126	250
44	80,24	160	110	196,13	250
45	53,53	200	111	194,76	250

**Annexe F: RESEAU INITIAL EXISTANT: EXTENSION-SUD-GUELMA + UNIVERSITE**  
**- F1: Paramètres de données -**  
**(Suite-4)**

Conduit Id	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Conduit Id	Longueur (m)	Diamètre (mm)
46	183,4	110	112	193,4	250
47	87,99	160	113	145,37	250
48	237,9	160	114	141,62	250
49	146,3	200	115	123,56	250
50	228,41	200	116	14,31	250
53	165,5	125	117	8,18	250
54	266,6	90	118	235,6	250
55	67,76	160	119	227,77	250
56	281,8	90	120	125,33	250
57	105,2	90	121	207,16	250
58	144,6	90	122	202,55	250
59	169,5	90	123	200,15	250
60	76,25	63	124	195,89	250
61	132	110	125	189,94	250
62	137,4	200	126	185,33	250
63	61,87	200	127	1	250
64	133	200	128	161,63	250
65	164,6	200	129	14,49	250
66	114,4	200	130	9,21	250
67	70,01	200	131	4,61	250
68	76,71	200			



**Annexe G: RESEAU INITIAL EXISTANT: EXTENSION-SUD-GUELMA + UNIVERSITE**  
**- Résultats -**

Nœud Id	Pression (m)	Nœud Id	Pression (m)	Nœud Id	Pression (m)
2	21,39	39	65,69	76	15,71
3	53,19	40	83	77	20,58
4	56,93	41	85,1	78	17,42
5	46,93	42	75,85	79	19,19
6	57,02	43	68,14	80	19,03
7	47,92	44	62,43	81	22,32
8	43,06	45	65,67	82	32,68
9	52,95	46	57,77	83	32,97
10	38,73	47	55,97	84	72
11	37,82	48	40,31	85	68,09
12	42,56	49	22,06	86	65,59
13	58,67	50	14,66	87	65,14
14	46,86	51	21,04	88	64,91
15	51,37	52	20,46	89	64,79
16	41,01	53	30,34	90	61,78
17	39,53	54	34,07	91	61,74
18	42,99	55	29,12	92	61,75
19	59,01	56	44,37	93	64,66
20	49,13	57	33,75	94	63,75
21	44,98	58	19,74	95	62,88
22	60,88	59	9,75	96	62,26
23	57,91	60	31,66	97	61,83
24	57,77	61	36,81	98	61,79
25	47,81	62	41,84	99	61,81
26	48,36	63	42,11	100	63,89
27	61,32	64	36,28	101	63,16
28	60,93	65	32,42	102	62,8
29	53,07	66	19,82	103	62,39
30	52,11	67	33,56	104	61,98
31	63,33	68	32,71	105	61,91
32	71,47	69	21,79	106	61,8
33	64,64	70	30,4	107	61,73
34	60,7	71	36,67	108	61,71
35	63,28	72	20,88	109	61,72
36	61,62	73	25,07	110	61,72
37	54,7	74	18,98	111	61,73
38	31,11	75	21,84		

**Annexe G: RESEAU INITIAL EXISTANT: EXTENSION-SUD-GUELMA + UNIVERSITE  
G1- Résultats (Suite-1)**

Conduit Id	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)	Conduit Id	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)
01	585,17	2,98	12,27	46	31,32	3,3	86,66
02	259,1	5,28	79,38	47	19,27	0,96	5,67
03	322,92	6,58	119,38	48	114,64	5,7	154,24
04	255,89	5,21	77,57	49	104,09	3,31	43,51
05	10,41	1,64	29,82	50	31,76	1,01	4,83
06	306,31	6,24	108,27	51	94,11	4,68	106,92
07	79,99	3,98	79,18	52	196,59	0,8	47,63
08	174,5	3,55	38,17	53	9,83	4	5,44
09	6,49	1,02	12,44	54	3,66	0,57	4,32
10	291,78	5,94	98,95	55	22,73	1,13	7,71
11	78,48	3,9	76,42	56	1,55	0,24	0,89
12	167,07	3,4	35,21	57	6,88	1,08	13,84
13	11,36	1,79	35,19	58	16,96	2,67	73,78
14	85,26	4,24	89,11	59	2,32	0,36	1,86
15	14,09	0,7	3,18	60	1,41	0,45	4,19
16	16,39	2,58	69,36	61	6,08	0,64	4,15
17	275,97	5,62	89,26	62	140,68	4,48	75,96
18	7,88	1,24	17,82	63	164	5,22	100,91
19	88,78	4,42	96,03	64	127,16	4,05	63
20	87,54	4,35	93,57	65	121,66	3,87	58,05
21	0,89	0,29	1,81	66	116,5	3,71	53,57
22	2,87	0,92	15,69	67	113,08	3,6	50,69
23	6,55	2,1	72,16	68	109,54	3,49	47,79
24	144,56	4,6	79,85	69	73,08	2,33	22,58
25	133,03	4,23	68,45	70	29,21	1,45	12,26
26	85,6	4,26	89,78	71	22,91	1,14	7,82
27	1,38	0,44	4,04	72	5,43	1,74	50,89
28	4,59	1,47	37,33	73	13,72	2,16	49,88
29	123,5	3,93	59,63	74	1,9	0,61	7,28
30	281,4	5,73	92,6	75	11,7	1,84	37,14
31	13,36	0,66	2,92	76	70,17	2,23	20,95
32	67,38	3,35	57,46	77	4,41	0,69	6,09
33	66,91	3,33	56,73	78	10,3	1,62	29,31
34	2,77	0,89	14,68	79	1,77	0,28	1,12
35	5,26	1,69	48,07	80	3,55	0,56	4,07
36	113,59	3,62	51,08	81	6,21	0,98	11,47
37	67,22	3,34	57,07	82	9,25	1,45	24
38	1,29	0,41	3,03	83	22,05	1,1	7,28
39	2,8	0,9	14	84	4,2	1,35	31,63
40	4,68	1,5	37,25	85	40,16	2	22,1
41	111,64	3,55	49,46	86	0,91	0,72	17,02
42	5,1	1,63	41,5	87	14,73	1,88	34,03
43	7,86	2,52	95,59	88	20,24	1,01	6,21
44	57,08	2,84	42,42	89	1,53	0,49	4,87
45	134,14	4,27	69,53	90	18,53	0,92	5,28

**Annexe G: RESEAU INITIAL EXISTANT: EXTENSION-SUD-GUELMA + UNIVERSITE  
G1- Résultats (Suite-2)**

Conduit Id	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)	Conduit Id	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m/km)
91	7,87	0,83	6,7	112	54,67	1,11	4,46
92	5,39	0,57	3,32	113	53,76	1,1	4,32
93	16,4	0,82	4,21	114	46,95	0,96	3,37
94	2,91	0,46	2,82	115	16,74	0,34	0,5
95	13,79	0,69	3,05	116	5	0,1	0,05
96	1,58	0,25	0,91	117	2,5	0,05	0,01
97	11,77	0,59	2,3	118	50,41	1,03	3,84
98	1,32	1,05	33,96	119	46,32	0,94	3,28
99	6,84	2,19	78,04	120	40,87	0,83	2,6
100	4,53	1,45	36,38	121	35,42	0,72	2
101	1,39	0,45	4,08	122	30,2	0,62	1,49
102	196,59	4	47,61	123	21,91	0,45	0,82
103	162,07	3,3	33,3	124	16,46	0,34	0,49
104	70,27	1,43	7,07	125	13,39	0,27	0,33
105	61,19	1,25	5,47	126	11,79	0,24	0,26
106	51,66	1,05	4,02	127	8,95	0,18	0,15
107	0,45	0,01	9,18	128	4,23	0,09	0,04
108	11,51	0,23	0,25	129	9,21	0,19	0,16
109	1,6	0,03	0,01	130	6,14	0,13	0,08
110	57,28	1,17	4,86	131	3,07	0,06	0,02
111	55,58	1,13	4,6				



**KAHALERRAS, A. ; M2, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019-2020.**

**Titre: 'Simulation de l'extension d'un Système d'Approvisionnement-Distribution d'Eau en Milieu Urbain'**

**ملخص:**

إن من المهام الحيوية في تاريخ البشرية توفير ما يكفي من المياه بالنوعية والكميات المناسبة. ولقد استقرت معظم الحضارات الأولى بالقرب من مصادر المياه. وقد ساهم النمو السكاني في ارتفاع سقف التحدي المتمثل في تلبية طلبات المستخدمين للحصول على مياه نظيفة. وهكذا بدأ نقل المياه من مصادرها وبيئتها إلى المجتمعات البعيدة. ولقد تم في هذا الصدد بذل العديد من الدراسات لتطوير أنظمة إمدادات المياه لضمان إستدامتها ولتمكين صانعي القرار من تحقيق تصاميم موثوقة ومستدامة من حيث إمدادات المياه على الأمد البعيد. لم يكن هذا سهلاً نظراً للطلبات المتزايدة وما تحمله من ارتفاع في ضغط الأنابيب وكذا على أنظمة الإمداد الموجودة. ولقد تم في هذا السياق مباشرة الدراسة الحالية التي تهدف إلى المساهمة في دراسة وتحليل شبكة إمدادات مياه الشرب في جنوب مدينة قالمة، وتوسيعها لكي تشمل حرماً جامعياً يدمج البناءات المخصصة للأنشطة الأكاديمية والإدارية وكل ذلك على مساحة تبلغ 150.000 متر مربع. شبكة توزيع مياه الحرم الجامعي هذه تتكون من 29 نقطة تقاطع (للطلب) و 30 أنبوباً بطول إجمالي يبلغ حوالي 4 كيلومترات (3921 متراً) ستُضاف إلى الخط الجنوبي لمدينة قالمة الذي تم دراسته مسبقاً مع الأخذ بعين الاعتبار الملامح الطبوغرافية لنقاط التقاطع القديمة والجديدة بالإضافة إلى الطاقة المولدة للشبكة الأولية.

**Résumé:**

L'une des issues les plus importants de l'histoire de l'humanité a été de fournir suffisamment d'eau aux qualités et quantités appropriées. La plupart des premières civilisations se sont installées auprès des sources d'eau et à mesure que les populations augmentaient, le défi de répondre aux demandes des utilisateurs en eau potable augmentait également. Le transport de l'eau de sa source vers les communautés lointaines a ainsi commencé, et de nombreux efforts ont été consentis afin de développer des systèmes d'approvisionnement capable d'en assurer un approvisionnement durable, et de nombreuses études réalisées afin de permettre aux décideurs d'atteindre des conceptions fiables et durables en termes d'exploitation à long terme. Ceci n'a pas été aisé au vu des augmentations des pressions de la demande en eau sur les systèmes d'approvisionnement existants.

C'est dans ce contexte général que s'inscrit le présent travail qui vise à contribuer à l'étude-analyse du réseau d'alimentation en eau potable du sud de la ville de Guelma, et à l'étendre afin d'y intégrer un campus universitaire avec ses blocs académiques et administratifs ainsi que d'autres activités cognitives, le tout sur une surface bâtie de 150.000 m<sup>2</sup>. Ce réseau de distribution d'eau du campus universitaire, se composant de 29 nœuds de demande et de 30 conduites d'une longueur totale avoisinant les 4 kms (3921 mètres), sera ajouté à celui de l'extension sud de la ville de Guelma étudié auparavant en prenant en compte des profils topographiques des anciens et des nouveaux nœuds ainsi que l'alimentation générée pour le réseau initial.

**Abstract:**

One of the most important issues in human history has been the provision of enough water qualitatively and in sufficient quantities. Most of the early civilizations settled near water sources and as populations grew up so did the challenge of meeting the users' demands for drinking water. The transport of water from its sources to distant communities has thus started, and many efforts have been carried out in order to develop supply systems capable of ensuring sustainable supplies, and allowing decision-makers to achieve reliable and durable designs in terms of long-term operation. This has not been easy given the increasing water demand in terms of pressures on the already existing supply systems.

The present investigation aims to investigating the water supply network in the south of the city of Guelma, and to extend it by integrating a university campus with its academic and administrative blocks as well as other cognitive activities, all on a built surface of 150,000 m<sup>2</sup>. The university campus water distribution network, comprising 29 demand nodes and 30 pipes with a total length of around 4 km (3,921 meters), will be added to that of the southern extension of the city of Guelma previously studied by taking into account the topographic profiles of the ancient and new nodes as well as the supply generated for the initial network.