

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المركز الجامعي بلحاج بوشعيب - عين تموشنت-

Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib - Ain-Temouchent-



Institut de Technologie

Département de Génie de l'Eau et de l'Environnement

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Thème :

Simulation du réseau de distribution des eaux de consommation urbaines
par un système d'information géographique : cas du POS SUD EST II de
la ville d'Ain Témouchent

Soutenu : Juin 2018

Par: **SOUFARI Ikram Fatima Zohra**

TAGRI Mokhtaria

Devant le jury composé de

Dr.Guemou Bouabdelah

Président

Mme.Belarbi Halima

Examineur

Mr.Nhari Abderrahmane

Examineur

Mr.Benadda Lotfi

Encadreur

Année Universitaire : 2017/2018

Dédicace

A la mémoire de mon défunt Frère, Mohamed.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, À cette source de tendresse, de patience et de générosité. À ma mère !

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te guérisse et te préserver pour nous.

A mon très cher père, Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon cadeau du ciel, ma très chère sœur Souad,

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, vous étiez pour moi la mère, la sœur la copine, avec toute l'amour que vous m'avais témoigné au cours des années, des paroles d'encouragement, et le soutien extraordinaire que vous m'avais offert.

A mon très cher frère Lakhdar, son épouse Nadia Et leurs petites garçons ; Mohamed et Said, et la petite princesse Ritaje,

Mon cher frère qui m'est le père et la mère, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Mon ange gardien et mon fidèle accompagnant dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

Ma belle -sœur, Nadia , pour tout le soutien et l'amour que tu m'a offert durant tout ces 7ans de mariage avec mon frère , tu été une vrai sœur pour moi,

A mon cher frère, Haddouche, pour toute ta patience, amour et ton soutien que tu ma offert durant toute ma vie,

A le cher Abdelkhader , l'ami et le soutien de notre famille dans tout les moment des joies et de male , que dieu vous protège,

A ma chère copine et mon binôme S.Ikram , pour cette année inoubliable et pour ce modeste travail , que dieu vous protège ma chérie.

A mes copine, B.Wafa , B.Yassmine , En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, vous étiez pour moi les sœurs et les copine.

A mes colléges de section 2017-2018,

TAGRI

Dédicace

À ma mère !

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, À cette source de tendresse, de patience et de générosité.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te guérisse et te préserver pour nous.

A mon très cher père, Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon très cher frère Ahmed et son épouse Ibtissem,

Mon cher frère qui m'est le père et la mère, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Que dieu vous protège.

A mon cher frère, Ismail et ma petite princesse ma petite sœur Rym, pour toute votre patience, amour et votre soutien que vous m'avez offert durant toute ma vie,

A mes chères tentes, Fatiha, Aicha, Zakia et ma grande mère Bakhta,

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, vous étiez m'avez offert plus qu'une famille peut offrir, que dieu vous protège.

A mon cher futur mari, ma future belle mère, En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, vous étiez une famille et un soutien pour moi.

A ma chère copine et mon binôme T.Mokhtaria, pour cette année inoubliable et pour ce modeste travail, que dieu vous protège ma chérie.

A mes collègues de section 2017-2018,

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour terminer ce modeste travail.

Mes remerciements vont en priorité à notre formateur DR. BENADDA LOTFI pour leurs conseils, leur aide et leur patience.

J'exprime également ma gratitude à mon maître de stage M. ABABOU HABIB pour sa confiance manifeste, ses précieux conseils et sa foi dans l'action.

Je tiens à exprimer ma gratitude à M. KADDOUR qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ce travail.

Je remercie également notre chef département et tout notre enseignants pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Je n'oublie bien évidemment pas mes camarades de formation et les remercie chaleureusement pour tous ces agréables moments passés ensemble.

Je tiens enfin à remercier tout particulièrement ma famille qui m'a accordé la liberté d'action et la patience nécessaires pour réaliser ce travail ainsi que toutes les personnes qui m'ont soutenue.

Résumé :

La distribution des eaux domestiques reste un enjeu délicat et souvent complexe pour les techniciens et les gestionnaires de l'eau. Raison pour laquelle nous avons étudié dans ce travail le réseau d'alimentation en eau potable de la zone d'étude de POS SUD EST II, extension Sud/Est de la ville d'Ain Témouchent. Dans ce contexte, nous avons établi un diagnostic du réseau et étudié son dimensionnement par la méthode arbitraire que nous avons comparé avec notre redimensionnement par la méthode de Hardy-Cross. La simulation par Epanet a montré que le dimensionnement par Hardy-Cross est plus fiable que la méthode Arbitraire en matière des conditions d'écoulement. Enfin, nous avons caractérisé le réseau par ArcGIS un logiciel du SIG, où nous avons mis en disposition du gestionnaire un outil de contrôle du réseau que nous avons redimensionné, pour chaque nœuds, tronçon et ouvrage en temps réel.

Mots clés : Pos Sud/Est 2, Dimensionnement, Simulation, SIG, Epanet, Réseau d'AEP.

Abstract:

The distribution of domestic water remains a delicate issue and often complex for water technicians and managers. Reason why we studied in this work the drinking water supply network from the POS SUD EST II study area, South / East extension of the town of Ain Témouchent. In this context, we have established a diagnosis of the network and studied its sizing by the arbitrary method that we compared with our resizing by the Hardy-Cross method. The simulation by Epanet showed that sizing by Hardy-Cross is more reliable than the Arbitrary method in terms of flow conditions. Finally, we characterized the network by ArcGIS a GIS software, where we made available to the manager a network control tool that we have resized, for each node, section and structure in real time.

Keywords: Pos Sud/Est 2, Dimension, Simulation, GIS, Epanet, water supply network.

ملخص:

يبقى توزيع المياه المحلية مسألة حساسة وغالبا ما تكون معقدة لفنيي المياه والمديرين. لهذا السبب درسنا في هذا العمل شبكة تزويد مياه الشرب لمنطقة POS SUD EST II، امتداد جنوب / شرقي لبلدة عين تموشنت. في هذا السياق، أنشأنا تشخيص الشبكة ودرس حجمها من خلال طريقة تعسفية التي قارناها مع طريقة هاردي كروس. محاكاة Epanet أظهرت أن التحجيم من هاردي كروس أكثر موثوقية من الطريقة التعسفية من حيث شروط التدفق. وأخيرا، وصفنا الشبكة بواسطة ArcGIS، برنامج GIS، حيث جعلنا بين يدي المسيرين لشبكات تزويد الماء الشروب أداة التحكم في الشبكة التي قمنا بدراستها، وذلك في كل عقدة من الشبكة، أو قسم أو الهيكل في الوقت الحقيقي.

كلمات مفتاحية : Pos Sud/Est 2، دراسة الشبكة محاكاة، نظام المعلومات الجغرافية، شبكة تزويد المياه.

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

AEP : Alimentation En Potable.

DRE : Direction des Ressources en Eaux.

SIG : Système Informatique Géographique.

Qp : Débit de point.

Kp : Coefficient de point.

P : Débit Aval.

Q : Débit de Tronçon.

Qt : débit total.

DN : Diamètre Normalisé.

Dcal : Diamètre calculé.

Φ : Diamètre.

ΔH : Perte de charge

J : perte de charge linéaire.

V : Vitesse.

m : mètre.

mm : millimètre.

ml : mètre linéaire.

T.O.L : taux d'occupation des habitants par logement

Dot : Dotation.

N : Nombre.

H : Habitant.

L : Litre

S : Seconde

Q_f : Débit de fuite

L_i : Longueur du tronçon

ΔQ : La correction du débit

ΔH : Perte de charge

Re : Nombre de Reynolds

ε : Rugosité

ν : Viscosité dynamique

g : Gravité

Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Liste d'abréviation	
liste des figures	
liste des tableaux	
Introduction generale.....	2
<u>Chapitre 01 : ETUDE BIBLIOGRAPGHIQUE</u>	
1.1. ALIMENTATION EN EAU POTABLE.....	5
1.1.1. INTRODUCTION.....	5
1.1.2. PRODUCTION EN EAU.....	5
1.1.3. TRAITEMENT DES EAUX.....	6
1.1.4. ADDUCTION DE TRANSPORT DES EAUX.....	6
1.1.5. OUVRAGE DE STOCKAGE.....	6
1.1.6. TETE MORTE DU RESEAU.....	6
1.1.7. LE RESEAU DE DISTRIBUTION.....	7
1.1.7.1. LES RESEAUX RAMIFIES.....	7
1.1.7.2. LES RESEAUX MAILLES.....	7
1.1.7.3. LES RESEAUX ETAGES.....	8
1.1.7.4. LES RESEAUX DISTINCTS.....	8
1.1.8. ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UN RESEAU DE D'AEP.....	8
1.1.8.1. LES MATERIAUX DES CANALISATIONS.....	8
1.1.8.2. PIECES SPECIALES SUR LE RESEAU.....	9
1.1.9. CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DANS LES RESEAUX.....	11
1.2. MODELISATION DES ÉCOULEMENTS DANS LES RESEAUX.....	11
1.2.1. INTRODUCTION.....	11
1.2.2. PRINCIPAUX PARAMETRES A MODELISER.....	11
1.2.3. LES SOFTWARES DU SIMULATION DES RESAUX.....	11
1.2.4. LA MODELISATION PAR EPANET.....	12
1.2.4.1. INTERFACE ET COMPOSANTES DU LOGICIEL EPANET.....	13
1.2.4.2. LES ÉTAPES DE L'UTILISATION D'EPANET.....	14
1.2.4.3. COMPOSANTS PHYSIQUES D'UN RESEAU SUR EPANET.....	14
1.2.5. TRACE DE RESEAU PAR AUTOCAD.....	15

1.2.5.1.	PRESENTATION DU LOGICIEL AUTOCAD.....	15
1.2.5.2.	INTERFACE DE L'AUTOCAD	15
1.2.5.3.	OUTILS DE DESSIN SUR LE RUBAN D'AUTOCAD	16
1.3.	GESTION INTEGREE DES SYSTEMES D'A.E.P.....	17
1.3.1.	MODES DE GESTION	17
1.3.1.1.	GESTION DIRECTE.....	17
1.3.1.2.	GESTION DELEGUEE.....	17
1.3.2.	MODELE DE GESTION.....	18
1.3.2.1.	MANAGEMENT DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	18
1.3.2.2.	SYSTEMES INTELLIGENTS DE GESTION DES RESEAUX.....	19
1.4.	SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (S.I.G.).....	20
1.4.2.	LES DONNEES GEOGRAPHIQUES.....	21
1.4.2.1.	MODE DE REPRESENTATION RASTER.....	21
1.4.2.2.	MODE DE REPRESENTATION VECTEUR.....	21
1.4.3.	SAISIE DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	22
1.4.3.1.	ENTREE DES DONNEES SPATIALEMENT	22
1.4.3.2.	ENTREE DES DONNEES DESCRIPTIVES.....	22
1.4.4.	LES BASES DE DONNEES D'UN SIG	23
1.4.4.1.	BASE DE DONNEES.....	23
1.4.4.2.	SYSTEME DE GESTION DE BASE DE DONNEES	24
1.4.5.	LES MODELES DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.....	24
1.4.5.1.	LE MODELE HIERARCHIQUE	24
1.4.5.2.	LE MODELE RESEAU	24
1.4.5.3.	LE MODELE OBJET	24
1.4.5.4.	LE MODELE RELATIONNEL.....	25
1.4.6.	MODELISATION PAR LES MODELES DU S.I.G.....	25
1.4.6.1.	PRESENTATION DE L'ARCGIS	26
1.4.6.2.	OBJECTIFS D'UTILISATION D'ARCGIS	26
1.4.6.3.	ARCCATALOG.....	27
1.4.6.4.	ARCMAP	27
1.4.6.5.	ACRTOOLBOX.....	28
1.4.6.6.	ARCVIEW	28
<u>Chapitre 02 : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE</u>		
2.1.	INTRODUCTION.....	30
2.2.	ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE	30
2.2.1.	SITUATION GEOGRAPHIQUE	30

2.2.2.	SITUATION TOPOGRAPHIQUE	31
2.2.3.	CADRE CLIMATIQUE GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE.....	31
2.2.4.	ESTIMATION DEMOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	31
2.2.5.	BESOIN EN EAU DE LA POPULATION	31
2.2.6.	STRUCTURE URBANISTIQUE DE LA ZONE D'ETUDES	32
2.2.7.	ETAT DE LA RESSOURCE DANS LA ZONE D'ETUDES.....	32
2.3.	PRESENTATION DU RESEAU D'AEP DE LA ZONE D'ETUDES	33
2.3.1.	STRUCTURE DU RESEAU	33
2.3.2.	RESERVOIR DE STOCKAGE	33
2.3.3.	LES RESEAUX	33
2.3.3.1.	PARTIE DU RESEAU RAMIFIE	33
2.3.3.2.	PARTIE DU RESEAU MAILLE.....	34

Chapitre 0 3 : Matériels et méthodes

3.1.	INTRODUCTION.....	36
3.2.	MODE DE DIMENSIONNEMENT DU RESEAU ACTUEL.....	36
3.2.1.	PRINCIPE DE LA METHODE DES DEBITS ARBITRAIRES	36
3.2.2.	CALCUL DES DEBITS	36
3.3.	REDIMENSIONNEMENT PAR LA METHODE DE HARDY CROSS	37
3.3.1.	HYPOTHESES DE LA METHODE	37
3.3.2.	METHODE DE CALCUL DES DEBITS.....	38
3.3.3.	VERIFICATION DES CONDITIONS D'ECOULEMENT	39
3.4.	SIMULATION DES DEUX METHODES PAR EPANET.....	40
3.4.1.	METHODE DES DEBITS ARBITRAIRES.....	40
3.4.2.	METHODE DE HARDY-CROSS	41
3.4.3.	SYNTHESE SUR LES CARACTERISTIQUE HYDRAULIQUE DU RESEAU	41
3.5.	CARACTERISATION DU RESEAU PAR SIG	48
3.5.1.	PREMIERES ETAPES DE PROCEDURE	48
3.5.2.	INSERTION ET GEOREFORENCEMENT DE LA CARTE SUR ARCMAP	50
3.5.3.	CALAGE DU RESEAU ETUDIE	50
3.5.4.	INDTRODUCTION DE LA BASE DES DONNEES	53
3.5.5.	CARACTERISTIQUES DES TRONCONS.....	54
3.5.6.	CARACTERISTIQUES DU RESRVOIR	54
3.5.7.	CARACTERISTIQUE DES NŒUDS	71
3.6.	CONCLUSION	57
	Conclusion générale	59

Liste bibliographique

Annexes

Liste bibliographique

Liste des figures

Chapitre 01 : Etude bibliographique

Figure 1.3. : Schéma d'un réseau maillé	7
Figure 1.4. : Schéma d'un réseau étagé.....	8
Figure 1.5 : Différents types de joints (a- mécanique; b- à emboitement; c- à bride).....	9
Figure 1.6 : Différents types de vannes (a- robinet vanne; b- robinet à papillon; c- à clapet antiretour; d- réduction de pression).....	9
Figure 1.7. : Différents types de ventouse (a- ventouse a petites quantité d'eau; b- à grande quantité d'air; c- ventouse universel)	10
Figure 1.8 : Interface du logiciel Epanet	13
Figure 1.9 : Interface de la barre d'outils du logiciel Epanet	13
Figure 1.10 : récapitulatif des principaux outils et de leur rôle	14
Figure 1.11 : Composants physiques d'un réseau de distribution dans EPANET	14
Figure 1.12 : Interface du logiciel AutoCad	15
Figure 1.13 : Interface du ruban en haut du logiciel AutoCAD	16
Figure 1.14 : Interface de l'icône dessin sur le ruban d'AutoCad	16
Figure 1.15 : Mode de gestion directe	17
Figure 1.16 : Mode de gestion par affermage.....	17
Figure 1.17 : Mode de télégestion dans un réseau.....	19
Figure 1.18 : Structure d'un système d'information géographique	20
Figure 1.19 : Spectre des constituants d'action du SIG	20
Figure 1.20 : Mode de présentation des données géographique.....	21
Figure 1.21 : Acquisition de l'information géographique.....	22
Figure 1.22 : Les composantes informatiques d'un SIG.....	23
Figure 1.23 : Cycle de vie de l'analyse spatiale	25
Figure 1.24 : Présentation du logiciel ArcGis	26
Figure 1.25 : Présentation de l'ArcCatalog.....	27
Figure 1.26 : Présentation de l'ArcMap	28
Figure 1.27: Présentation de l'ArcToolbox.....	28

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

Figure 2.1: Image satellite de la situation géographique du P.O.S.....	30
Figure 2.2 : Réservoir de stockage ITMA	33

Chapitre 03 : Matériels et méthodes

Figure 3. 1 : Simulation du réseau avec la méthode des débits arbitraires.....	40
Figure 3. 2: Simulation du réseau avec la méthode de Hardy-Cross.....	41
Figure 3. 3: Création de l'adduction à partir du réservoir ITMA sur Google Earth	48
Figure 3. 4: conversion du tracé sur global Mapper vers DWG format	49
Figure 3. 5: Traçage de l'adduction sur AutoCad	49
Figure 3. 6: Insertion de la carte d'Ain Témouchent sur ArcMap.....	50
Figure 3. 7: Calage des mailles du POS	51
Figure 3.8 : Calage des ramifications	51
Figure 3.9 : Calage des noeuds.....	52
Figure 3. 10: Calage du réseau complet avec le réservoir ITMA.....	52
Figure 3.11 : Introduction des données au niveau des noeuds	53
Figure3.12 : Introduction des données au niveau des tronçons.....	53
Figure3.13 : Introduction des données au niveau du réservoir.....	54
Figure3.14 : Exemple des caractéristiques hydrauliques d'un tronçon du réseau	54
Figure3.15 : Caractéristiques hydrauliques du réservoir.....	55
Figure 3. 16: Exemple des caractéristiques hydrauliques d'un nœud.....	56

Liste des tableaux :

Tableau 2.1 : Estimation démographique du P.O.S.....	31
Tableau 2.2 : Besoin en eau de la zone d'étude	32
Tableau 3. 1: Comparaison entre diamètres, vitesses et perte de charge.....	42
Tableau 3. 2: Comparaison entre pressions pour les deux méthodes	45
Tableau 3. 3: Caractéristiques hydraulique d'un tronçon sous ArcGis.....	55
Tableau 3. 4: Caractéristiques hydrauliques du réservoir sous ArcGis.....	55
Tableau 3.5 : Caractéristiques hydrauliques d'un noeud sous ArcGis	56

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les usages de l'eau ont connu des évolutions extrêmement progressives au cours de l'histoire. La conquête de l'eau par l'homme a été longue ; depuis toujours, celui-ci c'est préoccupé de la maîtrise de l'eau.

Très tôt il a cherché à conduire l'eau où il en avait besoin. Ceci dit, s'il semble normal aujourd'hui que l'eau coule au robinet, de nombreuses étapes ont été franchies avant d'y parvenir ; on parle ainsi des réseaux d'alimentation en eau potable.

De nos jours, les réseaux d'alimentation en eau potable sont devenus une primordiale nécessité, ils doivent obligatoirement faire partie des infrastructures urbanistiques, ils sont composés de plusieurs organes, tel que les réservoirs, les stations de pompes, les conduites de différents diamètres et matériaux, les pièces spéciales comme les vannes, les clapets, les ventouses ...etc. A ces réseaux, il doit être également assuré une gestion adéquate, amélioration technique continue ...etc.

Toutefois, un réseau d'alimentation en eau potable de haute qualité est un réseau qui est fiable, permettant d'assurer un approvisionnement adéquat et une distribution continue en eau d'une bonne qualité de consommation, tout en assurant les conditions d'écoulement en matière de vitesse d'écoulement et de pression appropriées.

En Algérie, les taux de raccordement des populations aux systèmes d'alimentation en eau potable sont de l'ordre de 93% [1]. Toutefois, la régularité et la continuité de la distribution, objectifs principaux de l'Algérienne des eaux (ADE) gestionnaire des réseaux et équipements de distribution et de traitement, ne sont atteints que dans un nombre restreint des agglomérations, ainsi que les taux de perte sont très importants dus à la vétusté des réseaux, au sous dimensionnement ou encore à une gestion défaillante.

C'est dans ce cadre, où l'importance des réseaux d'alimentation en eau est importante, ainsi que la distribution aux abonnés de la quantité adéquate de bonne qualité, que nous sommes intéressés dans ce travail à l'alimentation en eau.

Ainsi, nous avons traité une partie des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP) de la ville d'Aïn Temouchent, à savoir la zone dite « Poste/Sud-Est 02 ». Cette zone est récemment dotée par un réseau d'AEP, que nous avons dans ce travail, diagnostiqué, ré-étudié et redimensionné.

L'objectif également, dans ce travail est de simuler les conditions d'écoulement dans le réseau dans le but de s'assurer que l'eau est distribuée en condition normale en matière de vitesse et de pression. Ainsi que d'améliorer la qualité de gestion par la notification de toutes les caractéristiques du réseau par l'utilisation d'un système d'information géographique, aujourd'hui considéré comme une utilité de gestion impossible de s'en passer.

Afin d'aboutir à nos objectifs, nous avons collecté les différentes informations utiles auprès de plusieurs organismes, tel que la DRE, l'ADE ...etc., nous avons fait la visite du site, nous avons procédé au diagnostic, nous avons retracé le réseau par l'utilisation de l'AutoCAD, nous avons redimensionné le réseau et nous l'avons simulé par l'EpaNet,

nous avons comparé nos résultats avec ceux existants, enfin nous avons caractérisé le réseau par l'utilisation d'un l'ArcGIS un logiciel d'information géographique.

Ceci dit, notre travail s'est articulé sur trois axes principaux, en l'occurrence :

- Etude bibliographique sur les réseaux d'alimentation en eau potable ; ses différentes composantes, leur dimensionnement, leur simulation par le logiciel numérique EpaNet et leur caractérisation par le un SIG avec comme logiciel d'application l'ArcGIS.
- Présentation de la zone étudiée « Poste Sud-Est 02 », avec diagnostic du réseau destiné à son alimentation en eau potable.
- Redimensionnement du réseau existant, sa simulation, sa comparaison avec le réseau réel et enfin sa caractérisation par l'ArcGIS.
- Enfin, nous avons synthétisé notre point de vue d'évaluation sur le réseau existant, en donnant nos suggestions et nos propositions permettant d'améliorer la distribution en eau dans cette zone et atténuer les problèmes du réseau.

CHAPITRE 01

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. ALIMENTATION EN EAU POTABLE

1.1.1. INTRODUCTION

Un réseau d'A.E.P constitue l'ensemble des moyens et infrastructures dont dispose l'ingénieur pour transporter l'eau depuis la source jusqu'au consommateur. Un réseau d'eau potable doit être fiable et durable pour pouvoir répondre aux exigences des consommateurs (quantité et qualité optimales, dysfonctionnement minimaux).

Le transport de l'eau de la source jusqu'au point de distribution se fait suivant une chaîne composée de quatre maillons principaux présentés dans la figure 1.1. [2]

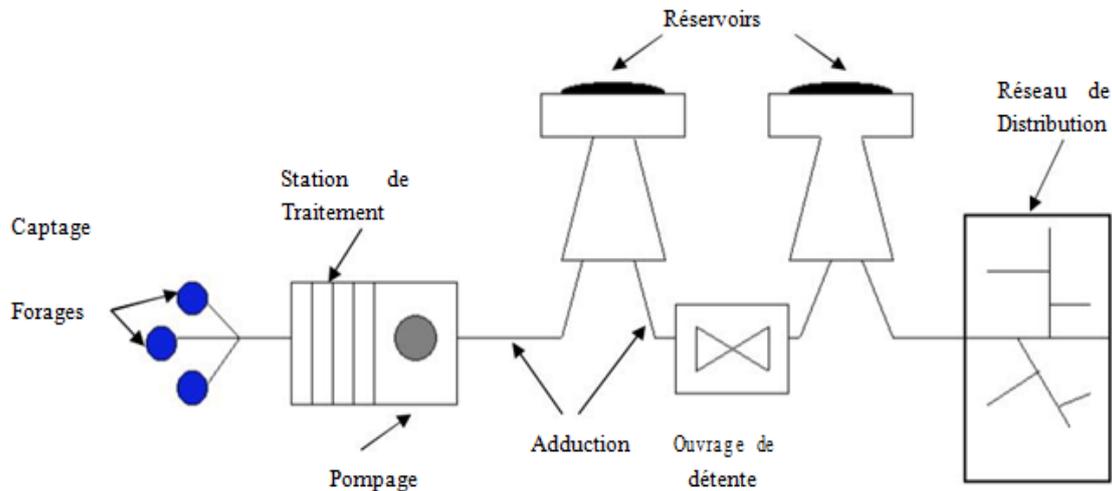


Figure 1.1 : Schéma d'alimentation en eau potable [2]

La ressource est une structure permettant le captage de l'eau. La prise d'eau se fait habituellement par un captage d'eau de surface (rivière, lac, barrage, etc.). En l'absence d'une telle source, ou lorsque l'eau de surface est trop polluée, on procède au captage d'eau souterraine (forage, puits, galeries, sources, ...).

1.1.2. PRODUCTION EN EAU

La production de l'est fonctionnelle des réservoirs de stockage, souvent sous forme de pompage, dont la composition de la station est en général comme suit :

- Bâche d'aspiration,
- Chambre de télé-contrôle et d'automatisation,
- Groupes électropompes,
- Autres équipements en amont et en aval des pompes (vannes, clapets, manomètres, etc.).

Parfois il existe plusieurs pompes, permettant d'un côté, de minimiser la consommation de l'énergie électrique, car le débit produit est réparti sur l'ensemble des pompes, et de l'autre côté, d'assurer la continuité du service en cas de panne de l'une d'elles. [2]

1.1.3. TRAITEMENT DES EAUX

Le traitement de l'eau brute se passe généralement en trois étapes :

- La clarification et la filtration : il s'agit de débarrasser l'eau des particules colloïdales par coagulation floculation, ensuite filtration à travers un massif filtrant.
- La stérilisation : son objectif est de rendre l'eau bactériologiquement pure, en utilisant des oxydants tels que le chlore et l'ozone.
- L'affinage : permet d'éliminer les micropolluants (corps dissous). [2]

1.1.4. ADDUCTION DE TRANSPORT DES EAUX

On définit l'adduction des eaux comme étant le transport des eaux des zones de captage ou des stations de traitement aux zones d'utilisation (réservoirs de distribution, bâches ...etc.).

Dans la plupart des cas, lorsque les distances à parcourir sont assez longues, ces conduites sont construites béton précontraint, en acier, en fonte ou en polyéthylène, elles sont généralement enterrées, et dans des cas particuliers posées sur le sol. Ce mode d'adduction présente les avantages suivants :

- Permet d'avoir des vitesses plus grandes que dans le cas des aqueducs.
- L'eau est isolée du milieu extérieur, donc moins de pertes et pas de risque de contamination. [2]

1.1.5. OUVRAGE DE STOCKAGE

Le réservoir de stockage est un bassin qui se remplit au cours des faibles consommations et qui se vide pendant les périodes de fortes consommations journalières. Le réservoir présente deux utilités (technique et économique) par deux principales fonctions techniques et économiques [3] :

- Fonctions techniques:
 - ❖ La régulation du débit pour tous les ouvrages qui se situent en amont et en aval ;
 - ❖ La régulation de la pression dans le réseau de distribution ;
 - ❖ L'assurance de la continuité de l'approvisionnement en cas de panne dans les ouvrages situés dans la partie amont ;
 - ❖ La participation au traitement (utilisation de réactifs).
- Fonctions économiques :
 - ❖ La réduction des investissements sur tous les autres ouvrages du réseau d'A.E.P.
 - ❖ La réduction des coûts de l'énergie.
 - ❖ La capacité d'un réservoir dépend du mode d'exploitation des ouvrages de la partie amont et de la variabilité de la demande.
 - ❖ L'emplacement d'un réservoir peut être enterré, semi-enterré ou surélevé.

1.1.6. TETE MORTE DU RESEAU

La tête morte est une adduction forcée, parfois dite « conduite maîtresse » alimentant le réseau de distribution à partir du réservoir, sur laquelle il n'existe aucun piquage sauf pour un transfert d'eau, dans le cas des réseaux étagés. [3]

1.1.7. LE RESEAU DE DISTRIBUTION

Il existe plusieurs types de réseaux de distribution en fonction du type de l'agglomération, le relief de la zone étudiée, la population desservie ...etc. On peut citer [3]:

- Les réseaux ramifiés ;
- Les réseaux maillés ;
- Les réseaux étagés et
- Les réseaux distincts.

1.1.7.1. LES RESEAUX RAMIFIES

C'est un réseau dans lequel les conduites ne comportent aucune alimentation en retour. Son avantage est d'être économique, mais il manque de sécurité en cas de rupture : un accident sur la conduite prive d'eau tous les abonnés d'aval. [4]

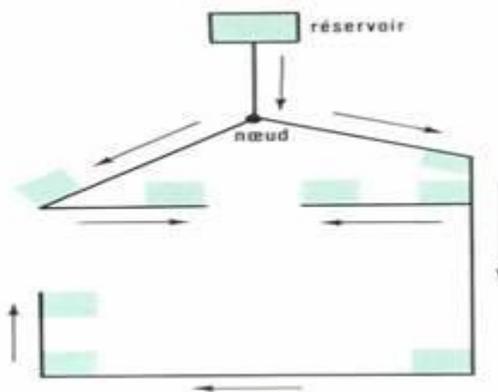


Figure 1.2. : Schéma d'un réseau ramifié

1.1.7.2. LES RESEAUX MAILLES

Contrairement au réseau ramifié, le réseau maillé permet une alimentation en retour, pour pallier à l'inconvénient signalé ci-dessus. Une simple manœuvre de robinets permet d'isoler le tronçon accidenté et de poursuivre néanmoins l'alimentation des abonnés d'aval. Il est, bien entendu, plus coûteux d'établissement, mais en raison de la sécurité qu'il procure, il est souvent préféré du réseau ramifié. [4]

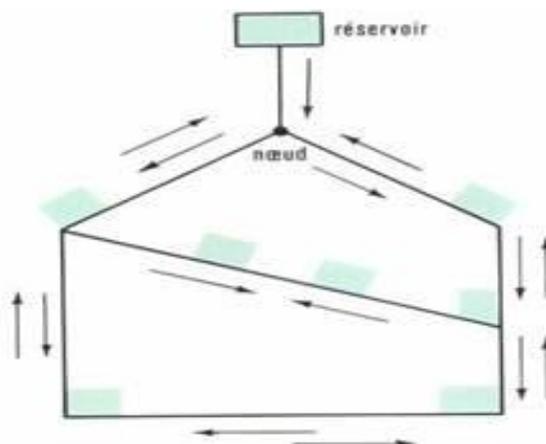


Figure 1.3. : Schéma d'un réseau maillé

1.1.7.3. LES RESEAUX ETAGES

Avec le réseau étagé il est constitué des réseaux indépendants avec une pression limitée. [4]

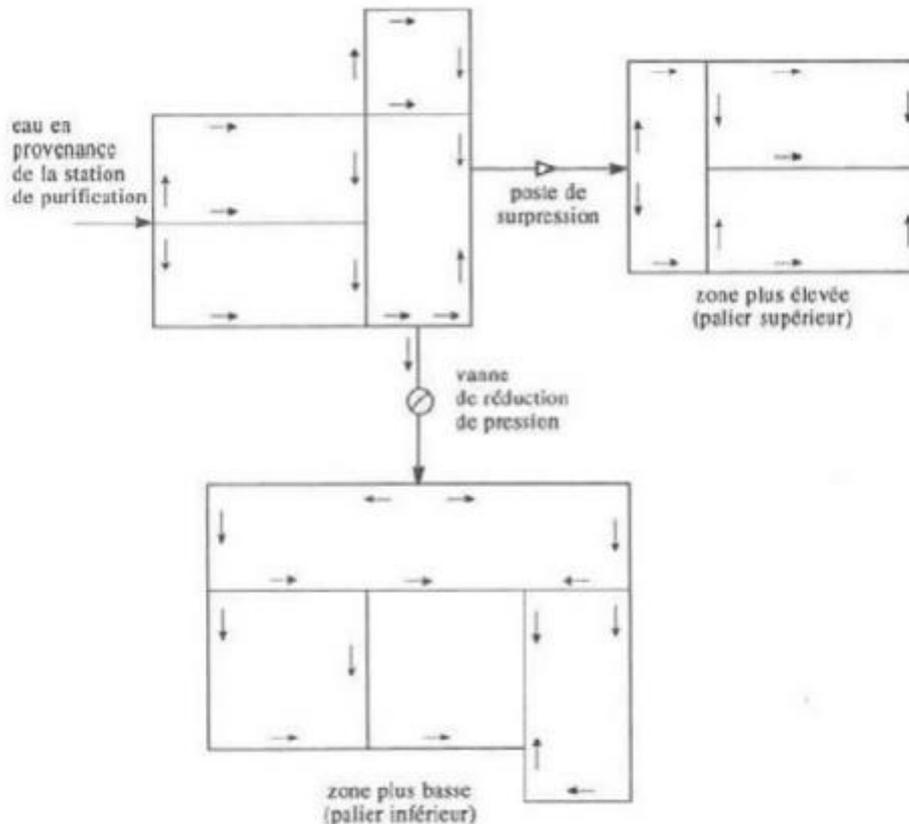


Figure 1.4. : Schéma d'un réseau étagé

1.1.7.4. LES RESEAUX DISTINCTS

Les réseaux à alimentation distincts distribuent, l'un, l'eau potable destinée à tous les besoins domestiques, et l'autre, l'eau non potable réservée aux usages industriels et au lavage et arrosage des rues et plantations. Ces réseaux ne se justifient que dans les installations extrêmement importantes. [4]

1.1.8. ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UN RESEAU DE D'AEP

1.1.8.1. LES MATERIAUX DES CANALISATIONS

Trois considérations sont essentielles pour le choix du matériau des canalisations :

- La sécurité de service,
- La longévité,
- Le facteur économique.

Pour les conduites maîtresses, les matériaux les mieux adaptés sont la fonte ductile, le béton armé et l'acier, par contre, pour les conduites secondaires, on choisit des tuyaux en acier, polyéthylène, PVC ...etc. [5]

1.1.8.2. PIECES SPECIALES SUR LE RESEAU

Les réseaux sont dotés de plusieurs pièces spéciales est équipements, sans elles il est dans l'impossibilité de faire fonctionner un réseau. Ceci dit, nous donnons une description des principales pièces spéciales équipant un réseau de distribution :

- Les joints : Ils ont pour fonction d'assurer l'étanchéité des jointures des tuyaux et faire face aux sollicitations mécaniques et chimiques. Pour cela, ils doivent épouser parfaitement la loge qui leur est destinée. Ils constituent la partie la plus fragile de la canalisation à cause de leur souplesse, en plus l'action des produits chlorés de l'eau et le dessèchement induisent le vieillissement des joints. Il existe trois principaux types de joints : mécaniques, à emboîtement et à bride. [5]

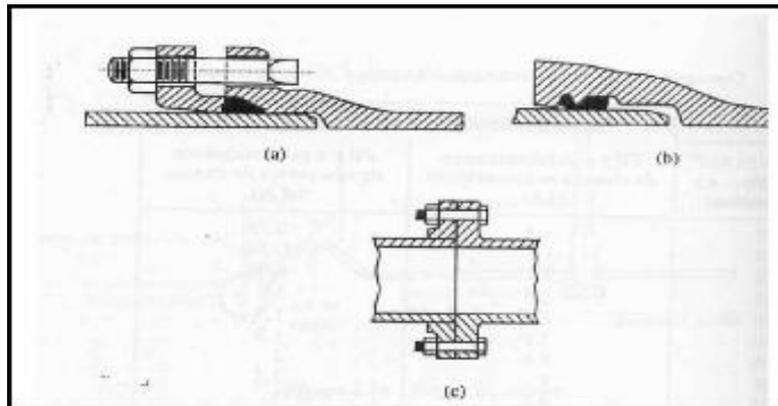


Figure 1.5 : Différents types de joints (a- mécanique; b- à emboîtement; c- à bride)

- Les vannes : Elles permettent de maîtriser les écoulements dans le réseau, donc de mieux le gérer. Il existe plusieurs types de vannes qui satisfont à des besoins variés. Les vannes d'isolement (pour isoler les tronçons à inspecter, réparer ou entretenir) à papillon ou robinets-vannes. Les vannes à clapets de non-retour (pour diriger l'écoulement dans un seul sens). Les vannes de réduction de pression (pour réduire la pression à une valeur prédéterminée). [5]

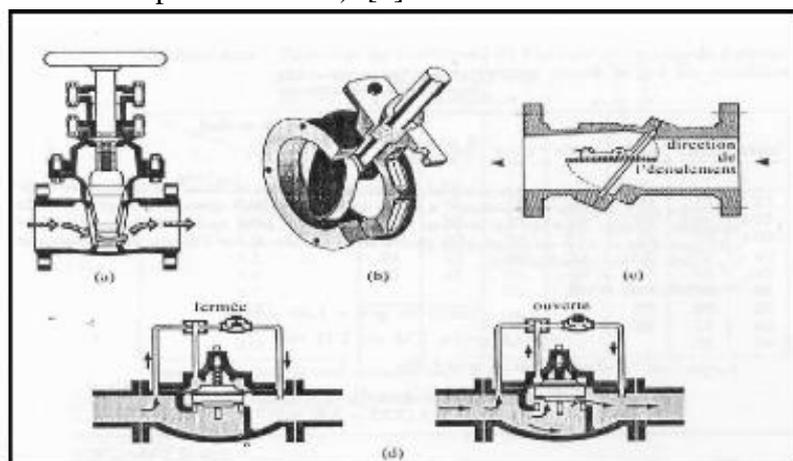


Figure 1.6 : Différents types de vannes (a- robinet vanne; b- robinet à papillon; c- à clapet antiretour; d- réduction de pression)

- Les ventouses : Installées aux points élevés du réseau, pour, d'un côté, faire évacuer les quantités d'air qui s'y accumulent à la suite, et de l'autre côté, de faire pénétrer l'air lorsqu'un vide se crée dans une conduite et évitent la création de pressions négatives qui risqueraient d'entraîner l'écrasement de la conduite. Trois types de ventouses sont utilisées : ventouses pour petites quantités d'air, ventouses pour grandes quantités d'air et ventouses universelles.

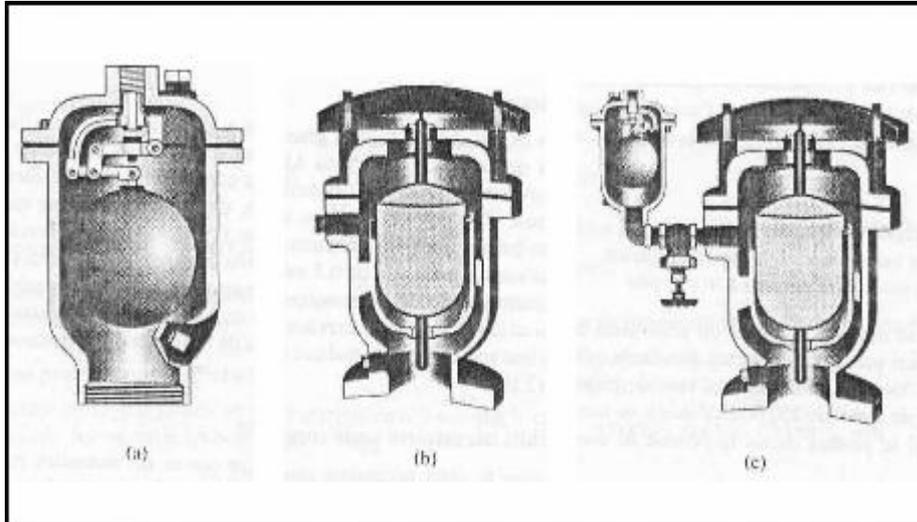


Figure 1.7. : Différents types de ventouse (a- ventouse a petites quantité d'eau; b- à grande quantité d'air; c- ventouse universel)

- Les décharges et purges : C'est un robinet placé au point bas de la canalisation pour en permettre la vidange, l'évacuation s'effectue à l'égoût le plus voisin ou si le point bas se trouve hors de la ville, dans le fossé le plus proche. Ce robinet sera placé à l'intérieur d'un regard en maçonnerie et doit être facilement accessible.
- Les poteaux d'incendie : Ils permettent de fournir aux pompiers l'eau dont ils ont besoin pour combattre les incendies. Ils sont reliés aux conduites du réseau par des conduites de raccordement dotées d'une vanne d'isolement. Un poteau d'incendie doit comporter au moins deux prises latérales de 65 mm de diamètre et une conduite de 100 mm de diamètre si le débit excède 5000 l/mn ou la pression si est faible. La superficie desservie par un poteau d'incendie dépend du débit nécessaire pour combattre les incendies ; plus le débit est élevé, plus les poteaux sont nombreux et rapprochés.
- Les régulateurs de pression, de débit, de niveau : Ils permettent de réduire ou stabiliser une pression, limiter un débit ou encore contrôler le niveau d'eau dans un réservoir.
- Les clapets anti-retour : Placés sur une canalisation, ils n'autorisent le passage de l'eau que dans un seul sens.
- Les compteurs d'eau : En comptabilisant l'eau, ils assurent une surveillance des débits dans les réseaux.
- Regards : Installés pour la protection des pièces spéciales importantes, tel que les vannes, les clapets, les ventouses, les vidanges ...etc. [5]

1.1.9. CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DANS LES RESEAUX

Il s'agit d'assurer dans les réseaux une vitesse d'écoulement adéquate, non faible permettant la décantation, ou non forte permettant corrosion interne des conduites, celle-ci est comprise entre 0,5 m/s à 1,5 m/s. D'autre part, il faut assurer une pression minimale permettant l'écoulement dans les robinets de l'abonné, soit un minimum de 2 bars au compteur du domicile, en cas d'habitation élevée, il faut assurer 1 bar de plus pour l'étage supérieur. [6]

1.2. MODELISATION DES ECOULEMENTS DANS LES RESEAUX

1.2.1. INTRODUCTION

Pour décrire la réalité complexe de l'hydraulique et de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable, un important effort de développement des modèles mathématiques a été réalisé. Cet effort a été grandement favorisé par le développement des moyens informatiques.

1.2.2. PRINCIPAUX PARAMETRES A MODELISER

La modélisation constitue une démarche d'investigation non destructive, lorsqu'elle est menée dans de bonnes conditions. Ainsi, de nos jours, les outils de modélisation sont devenus incontournables à la gestion des réseaux. De plus en plus, les gestionnaires des réseaux se dotent d'outils de modélisation pour les mieux concevoir et gérer. La modélisation permet [7] :

- Dans le cadre d'une étude de diagnostic, 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 l'adéquation et la consistance.
- 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.
- D'autre part, de concevoir, dimensionner et planifier les aménagements rendus nécessaire par l'évolution des consommations ou de la réglementation en matière de sécurité.

1.2.3. LES SOFTWARES DU SIMULATION DES RESAUX

Actuellement, il existe plusieurs logiciels de modélisation et gestion des eaux, tels-que [8]:

- AQUIS : Un outil pour la modélisation et la gestion de la distribution de l'eau, le programme comprend la simulation hydraulique, la conception et optimisation du réseau. Il intègre des modules de calibrage, SCADA et SIG. Il a la capacité à travailler en temps réel et en ligne. Il a été développé par la société danoise Sept Technologies et est basé sur la technologie de deux plates-formes établies - LICWATER et WATNET.

- Aquadapt : Permet l'optimisation de l'énergie pour l'ensemble de réseau. Il intègre un module SCADA.
- EauSynergie : Basé autour du produit de base Synergie développé pour le gaz et d'électricité et d'eau Stoner fait l'affirmation audacieuse que « Synergie est la famille la plus avancée de la modélisation des réseaux et des applications de gestion ». Offert en format modulaire, il permet de relier les systèmes d'information à la clientèle, SCADA reliant, à l'isolement et la simplification du modèle principal.
- ElyxAqua : Application de gestion cartographique des réseaux, dédiée aux métiers de l'eau et de l'assainissement. Cette solution repose sur les modules de la suite logicielle Elyx : Elyx Office, Elyx Web, Elyx Manager et Elyx Mobile.
- EPANET : Né suite à une initiative du Congrès des Etats–Unis qui visait à protéger les ressources naturelles du pays. Dès lors, l'EPA (US Environmental Protection Agency) a été chargée de développer des techniques permettant de mieux appréhender les écoulements et les transformations de l'eau dans un réseau d'eau potable.
- FINESSE : Un produit du SCP.FINESSE a été développé par l'eau Software Systems WSS – du Royaume-Uni.
- H₂O Net : Un package d'AutoCAD, composé d'une suite complète d'outils. Il a un fort accent sur la vitesse, la facilité d'utilisation, et aussi un accent ferme sur la conception du réseau et des modules offrant de réadaptation pour concepteur et le gestionnaire du réseau.
- InfoWorks : Successeur de Windows InfoWorks Wallingford Software, basée sur le moteur de simulation WESNet, c'est un module de simulation hydraulique et de la qualité des eaux.
- Kanet : Outil développé à Université de Karlsruhe, il est basé sur la décomposition du graphe du réseau et propose la possibilité de faire des simulations pour des parties du réseau simplifié et pour différents cas de demande. De plus, le temps nécessaire aux calculs est réduit d'une manière efficace, ce qui est un facteur important pour traiter des données en temps réel.
- StruMap : Permet la modélisation hydraulique du progiciel SIG StruMap, en utilisant un moteur de simulation basée sur EPANET intégré au SIG. La modélisation avec StruMap offre une gamme complète de fonctionnalités : modélisation de la qualité de l'eau, évaluation des fuites, ...etc.
- WaterCAD : Application conviviale qui permet de modéliser le comportement hydraulique et la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution. Water CAD aide à analyser, concevoir et optimiser les réseaux de distribution d'eau.

1.2.4. LA MODELISATION PAR EPANET

EPANET calcul le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque Nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

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. [9]

1.2.4.1. INTERFACE ET COMPOSANTES DU LOGICIEL EPANET

EPANET est un logiciel utilisé dans le monde entier, vu ses algorithmes de calcul les plus avancés, son interface graphique conviviale et intuitive aux possibilités de relations avec d'autres logiciels d'application. Ceci dit, l'utilisation d'EPANET est très déversée et porte principalement sur [9]:

- La régulation des pressions dans le réseau ;
- La détection des zones de fonctionnement déficitaire ;
- Le dimensionnement de travaux d'amélioration du réseau ou détensions ;
- L'évolution de la qualité de l'eau et l'étude de retraitement en différents points du réseau ;
- L'amélioration de la gestion des équipements (marnage des réservoirs), des coûts ...etc.

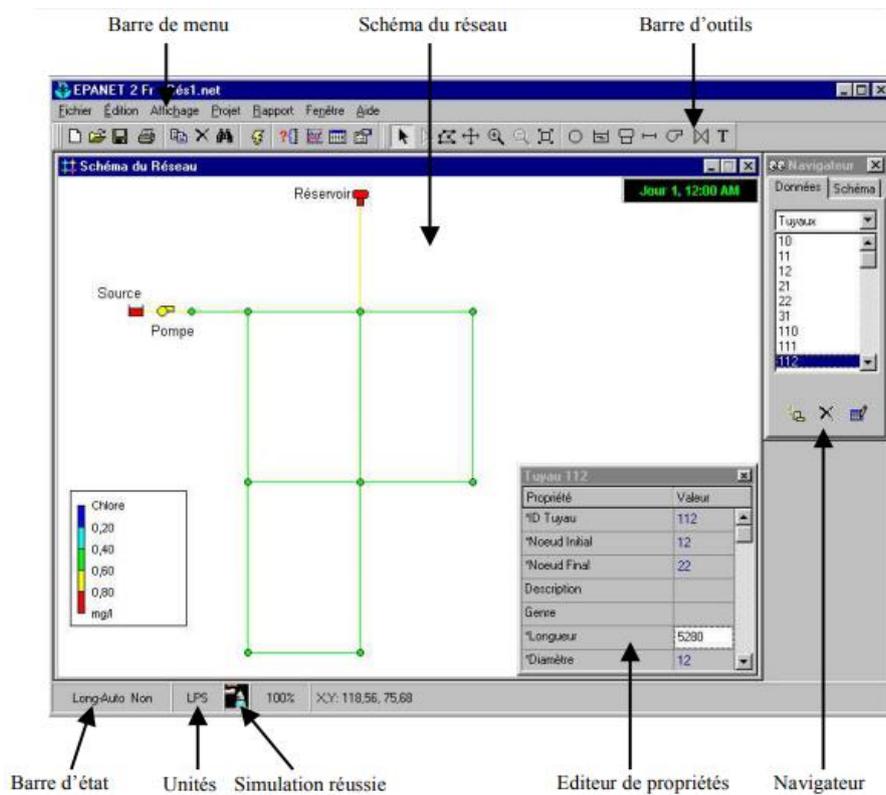


Figure 1.8 : Interface du logiciel Epanet

La barre d'outil principale permet de dessiner les tronçons, les réservoirs, les stations de pompage, les pièces spéciales, la mise en place des nœuds et l'écriture des textes.

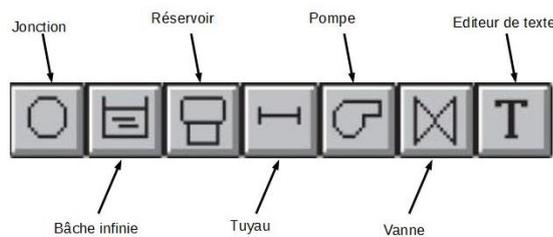


Figure 1.9 : Interface de la barre d'outils du logiciel Epanet

Les autres outils de simulation d'Epanet sont décrit ci-dessous :

	Crée un nouveau projet EPANET		Permet la sélection d'un objet dans le schéma
	Ouvre un projet existant		Permet la sélection des sommets du tracé sur le schéma
	Enregistre le projet actuel		Permet la sélection d'une région limitée dans le schéma
	Imprime la fenêtre actuelle		Déplace le schéma du réseau
	Copie le contenu de la fenêtre actuellement active dans le presse-papiers ou dans un fichier		Permet de voir le schéma de plus près
	Efface l'objet sélectionné		Permet de voir le schéma de plus loin
	Localise un objet dans le réseau		Redessine la carte en pleine échelle
	Exécute une simulation		Ajoute un nœud de demande au schéma du réseau
	Cherche des éléments dans le réseau qui répondent à des critères spécifiques		Ajoute une bêche au schéma du réseau
	Reproduit graphiquement les résultats dans une nouvelle fenêtre		Ajoute un réservoir au schéma
	Reproduit un nouveau tableau des valeurs numériques des résultats		Ajoute un tuyau au schéma
	Définit les options pour la visualisation du schéma, du rapport, du graphique ou du tableau actuellement actif		Ajoute une pompe au schéma
			Ajoute une vanne de régulation au schéma
			Ajoute une étiquette au schéma

Figure 1.10 : récapitulatif des principaux outils et de leur rôle

1.2.4.2. LES ÉTAPES DE L'UTILISATION D'EPANET

Les étapes classiques de l'utilisation d'EPANET pour modéliser un système de distribution d'eau sont les suivantes [9]:

- Dessiner un réseau représentant le système de distribution ou importer une description de base du réseau enregistrée dans un fichier au format texte ;
- Saisir les propriétés des éléments du réseau ;
- Décrire le fonctionnement système ;
- Sélectionner un ensemble d'options de simulation ;
- Lancer une simulation hydraulique;
- Visualiser les résultats d'une simulation.

1.2.4.3. COMPOSANTS PHYSIQUES D'UN RESEAU SUR EPANET

EPANET modélise un système de distribution composé d'arcs (conduites, pompes et vannes) reliés à des nœuds (nœuds de demande, réservoirs et baches).

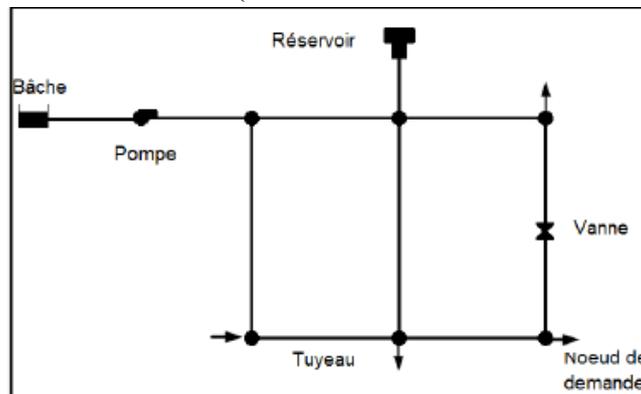


Figure 1.11 : Composants physiques d'un réseau de distribution dans EPANET

1.2.5. TRACE DE RESEAU PAR AUTOCAD

1.2.5.1. PRESENTATION DU LOGICIEL AUTOCAD

AutoCAD est un logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) professionnel de 2D/3D qui est un peu plus orienté vers le dessin technique et industriel. Il est utilisé par de nombreux corps de métiers. Il est utilisé en : industrie, système d'information géographique, cartographie et topographie, électronique, électrotechnique (schémas de câblage), architecture et urbanisme, mécanique et en hydraulique.

L'utilisateur peut créer ses propres menus et développer des applications grâce à son langage Autolisp dérivé de lisp et grâce à VBA.

En hydraulique, en particulier en matière de distribution des eaux, les professionnels peuvent tracer leurs réseaux d'alimentation en eau potable sur AutoCAD avec spécification de ses caractéristiques exactes. [10]

1.2.5.2. INTERFACE DE L'AUTOCAD

L'interface d'AutoCAD 2013 que nous avons utilisé ultérieurement, est composé de dix (10) composantes principales que nous présentons par la figure ci-dessous.

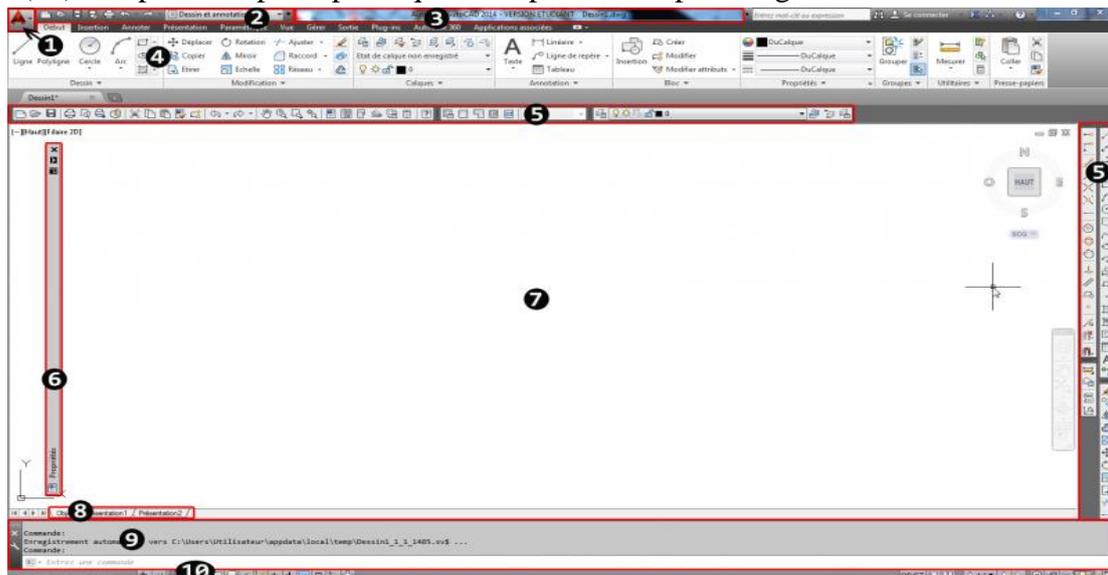


Figure 1.12 : Interface du logiciel AutoCad

Avec :

- 1- Bouton du menu de l'application.
- 2- Barre d'outils à accès rapide.
- 3- Barre titre.
- 4- Ruban.
- 5- Barres d'outils ancrées.
- 6- Palette.
- 7- Zone de dessin.
- 8- Onglet d'objet et de présentation.
- 9- Ligne de commande.
- 10- Barre d'état.

Le ruban en haut est composé de plusieurs onglets (Début, Rendu, Insertion...) qui renferment les principales commandes d'éditer ou de modifier. C'est à partir d'ici que nous sélectionnerons nos outils de dessin par exemple.



Figure 1.13 : Interface du ruban en haut du logiciel AutoCAD

1.2.5.3. OUTILS DE DESSIN SUR LE RUBAN D'AUTOCAD

Les principales commandes de dessin sont dans la barre de dessin, regroupant plusieurs outils sous forme de bouton, offrant à l'utilisateur, en particulier l'hydraulicien, de tracer convenablement sont réseau. Ci-dessous la barre de dessin

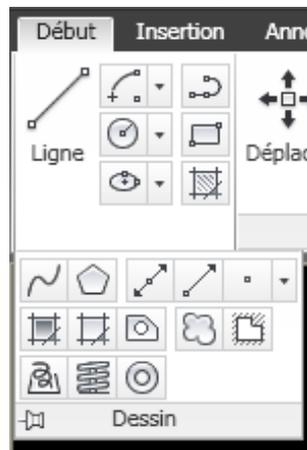


Figure 1.14 : Interface de l'icône dessin sur le ruban d'AutoCad

Avec :

-  **Ligne** : Sert à tracer des lignes les unes à la suite des autres. Chaque ligne est un objet unique.
-  **Polyligne** : Trace des lignes les unes à la suite des autres. Toutes les lignes tracées forment un seul et même objet.
-  **Cercle** : Trace des cercles par rapport à un rayon ou un diamètre.
-  **Ellipse** : Trace des ellipses par rapport à deux demi-longueurs.
-  **Arc** : Trace des arcs de cercle par rapport à un centre ou plusieurs points.
-  **Rectangle** : Permet de tracer des rectangles fermés. Toutes les lignes du rectangle forment un objet unique.
-  **Polygone** : Trace des polygones par rapport à plusieurs paramètres (Nb d'arrêtes, longueur...). Toutes les lignes du polygone forment un objet unique.
-  **Spline** : Permet de tracer des courbes par rapport à des points. Toutes les courbes tracées forment un objet unique.
-  **Hachure** : Permet de créer des hachures en fonction d'un motif et d'une zone prédéfinie.

1.3. GESTION INTEGREE DES SYSTEMES D’A.E.P.

1.3.1. MODES DE GESTION

1.3.1.1. GESTION DIRECTE

La commune ou le groupement de communes assure directement le service de distribution d’eau avec son propre personnel, et se rémunère auprès des usagers. La collectivité territoriale finance les équipements nécessaires et conserve la maîtrise des services et de leur gestion. [11]



Figure 1.15 : Mode de gestion directe

1.3.1.2. GESTION DELEGUEE

La délégation de service public implique un partenariat entre la collectivité et un partenaire de droit privé. Le choix du délégataire nécessite une mise en concurrence des entreprises selon une procédure définie par la loi.

Les conditions de délégation se concrétisent par un contrat qui définit précisément les limites de responsabilités des contractants. La collectivité conserve une obligation de contrôle du délégataire. Quel que soit le mode de gestion, la collectivité reste garante de la qualité de l’eau distribuée, de la gestion financière du service et de la pérennité des installations constitutives du réseau d’alimentation en eau potable.

Quant à l'affermage, c'est une forme de délégation où les ouvrages sont financés par la collectivité, qui en délègue l'exploitation à l'entreprise privée. La rémunération de l'entreprise couvre les charges d'exploitation et une partie des frais de renouvellement. Une partie du produit des factures d'eau revient à la collectivité pour couvrir ses charges, principalement d'investissement. [11]

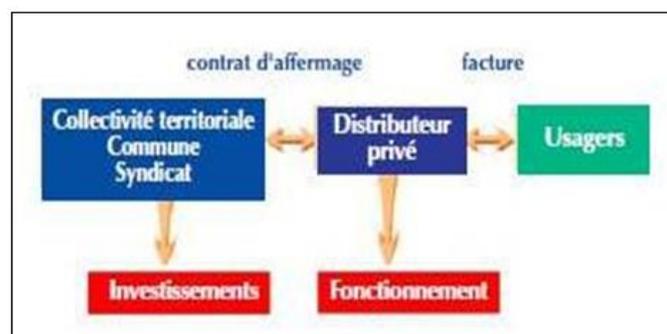


Figure 1.16 : Mode de gestion par affermage

1.3.2. MODELE DE GESTION

Le modèle de gestion servira à décrire le comportement des sources d'approvisionnement, des zones de stockage et des stations de pompage. L'intérêt de type de modèle est d'optimiser l'exploitation des sources d'eau et de minimiser les coûts d'exploitation du réseau en régulant le pompage et le stockage dans la journée.

- Patrimoine : Précise les éléments et informations essentielles dont doit disposer un maître d'ouvrage pour poser une première analyse sur l'état physique et le fonctionnement de son réseau. La phase de terrain permet dans un premier temps de réaliser un repérage exhaustif du patrimoine hydraulique (conduites, robinets-vannes de sectionnement, appareils de régulation etc.). Suite à ce repérage, un schéma d'ensemble du réseau d'eau potable est réalisé sous format informatique et papier avec une base de données associée. Ce document constitue un premier outil de synthèse et de gestion qui peut être mis à jour régulièrement en fonction des évolutions techniques du réseau.
- Sectorisation : Outil de diagnostic de l'état et du fonctionnement du réseau à un instant donné, mais surtout un outil de gestion du patrimoine au quotidien. La sectorisation consiste à décomposer un réseau en un ou plusieurs niveaux de sous réseaux pour lesquels les volumes mis en distribution sont mesurés de façon permanente ou temporaire. La pose de compteurs au niveau des secteurs de distribution, permettra la réalisation de mesures hydrauliques qui vont définir les volumes de pertes de chaque secteur de distribution. Ces mesures vont en outre permettre les calculs des indices et ratios servant à caractériser l'état général du réseau ainsi que le volume nécessaire aux abonnés de chaque secteur. [12]

1.3.2.1. MANAGEMENT DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Le management des réseaux est devenu un outil d'actualité dans la gestion, il est soumis à trois approches, à savoir [13]:

- L'approche globale : La loi sur l'eau pose le principe d'une gestion globale et équilibrée de l'eau par bassin versant. Ce principe se traduit dans les faits par la mise en place des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux à l'échelle du territoire fixant les orientations de la gestion des eaux et de leurs usages.
- L'approche locale : A l'échelle d'un bassin versant, les acteurs locaux peuvent élaborer un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux qui fixe localement des modalités de gestion, de protection et d'utilisation de la ressource.
- L'approche Sectorielle : Le règlement sanitaire sectoriel définit un certain nombre de règles pour la réalisation et l'exploitation des captages d'eau destinée à la consommation humaine, pour la construction des réseaux intérieurs, pour le raccordement à l'égout, ...etc.
- L'approche communale : Sur le territoire communal, les documents d'urbanisme (schéma directeur, carte communale, ...etc.) fixent les règles d'utilisation du territoire communal en termes d'urbanisation, d'emplacement des équipements publics, ...etc.

1.3.2.2. SYSTEMES INTELLIGENTS DE GESTION DES RESEAUX

Les systèmes intelligents sont basés principalement sur l'asservissement des réseaux, la télégestion ou encore l'informatisation du réseau.

- Asservissement des réseaux : Distribuer de l'eau de qualité 24 heures sur 24 chez l'utilisateur à la demande, avec surveillance, entretien, contrôle ...etc. se sont quelques-unes des missions indispensables pour garantir un service de qualité soucieux d'une utilisation raisonnée de la ressource et des dépenses publiques ;
- Télégestion du réseau : La télégestion désigne l'ensemble des produits qui mettent en œuvre les technologies de l'informatique, de l'électronique et des télécommunications, afin de permettre un contrôle à distance d'installations techniques géographiquement réparties ou isolées. [11]



Figure 1.17 : Mode de télégestion dans un réseau

- Informatisation du réseau : Les logiciels de gestion des données permettent aux distributeurs de collecter les données et de présenter une vue agrégée à travers des outils de visualisation du réseau, des systèmes d'information géographique (SIG), des tableaux de bord, ...etc. Cette couche peut également comprendre des entrepôts de données, la cyber sécurité des systèmes informatiques et des outils basiques de soutien aux fonctions économiques (par exemple, systèmes d'information des consommateurs).

1.4. SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (S.I.G.)

1.4.1. INTRODUCTION SUR LES S.I.G.

Un SIG est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace. [14]

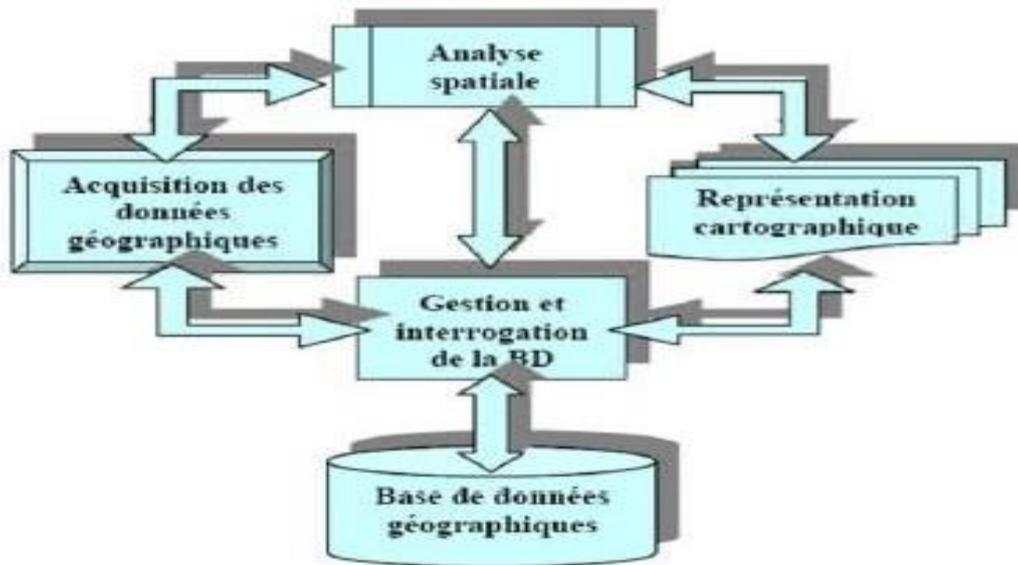


Figure 1.18 : Structure d'un système d'information géographique

Le SIG se caractérise donc par des fonctionnalités de saisie, de stockage, de manipulation, d'analyse et de diffusion d'information à référence spatiale et où celui-ci peut soutenir diverses activités comme la gestion, la recherche et la planification. Afin de bien designer et délimiter les actions du SIG, le spectre de ses constituants et de ses actions est résumé dans la figure suivante. [14]

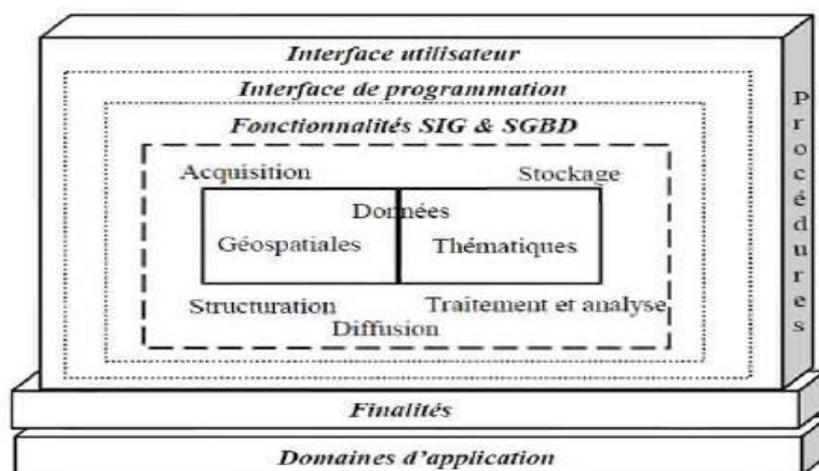


Figure 1.19 : Spectre des constituants d'action du SIG

1.4.2. LES DONNEES GEOGRAPHIQUES

L'information des données géographiques du monde réel est transmise sous forme de vecteurs (points, lignes ou polygones), et/ou image raster constituée d'un ensemble de pixels. [15]

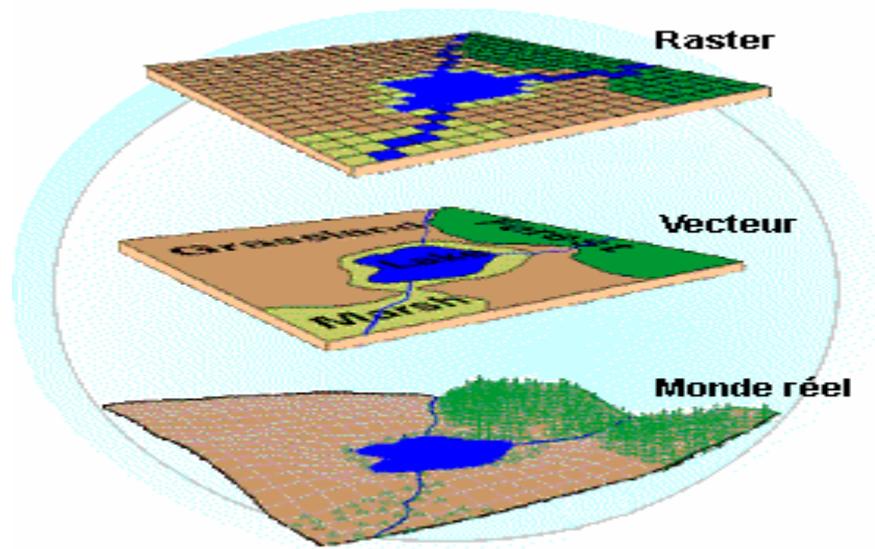


Figure 1.20 : Mode de présentation des données géographiques

1.4.2.1. MODE DE REPRESENTATION RASTER

Le mode raster correspond à une division régulière de l'espace sous forme de cellules rectangulaires ou carrées. Il est fortement lié à la notion d'image. Chaque cellule (ou pixel) est référencée en ligne et en colonne. Elle contient une valeur qui correspond à une grandeur numérique (valeur radio métrique par exemple) ou alphanumérique (dans ce cas, on lui attribue un code correspondant à un attribut descriptif). [16]

1.4.2.2. MODE DE REPRESENTATION VECTEUR

Le mode vecteur permet la représentation des objets dans un espace continu, et non pas discrétisé. Les objets et leurs limites sont localisés avec précision dans un référentiel géographique ou cartésien. [16]

En mode vecteur, les objets géographiques se ramènent à trois classes d'entités qui sont :

- Les points (un point d'eau) ;
- Les lignes (cours d'eau) ;
- Les surfaces (un bassin versant).

1.4.3. SAISIE DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

1.4.3.1. ENTREE DES DONNEES SPATIALEMENT

L'entrée des informations afin de créer une base de données géographique peut être réalisée par plusieurs méthodes. Les plus courantes utilisent les cartes existantes. Pour se faire plusieurs moyens sont utilisés pour numériser les papiers existants :

- La digitalisation : permet de récupérer des objets disposés sur un plan ou une carte préexistante. Elle consiste à faire évoluer un curseur sur un plan posé sur une table à digitaliser, et préalablement calée en coordonnées.
- La scénarisation : Le balayage électrique (réaliser à l'aide d'un scanner) est un autre moyen de saisir une carte ou un plan existant. Il enregistre l'intensité de la réflexion d'un faisceau lumineux venant balayer ligne par ligne le document source.
- La télédétection. [17]

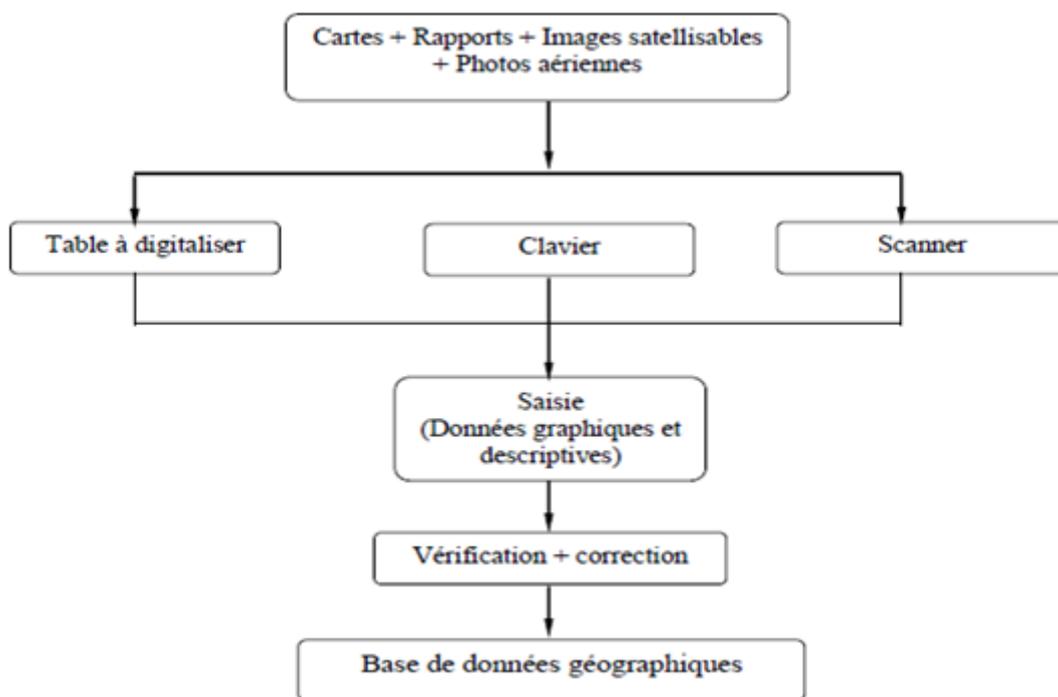


Figure 1.21 : Acquisition de l'information géographique

1.4.3.2. ENTREE DES DONNEES DESCRIPTIVES

On a plusieurs types de données descriptives (sémantiques) [17]:

- Les attributs associés aux objets ;
- Les données textuelles ;
- Les données graphiques ;
- Les images, vidéo.

L'entrée de ces données peut se faire de plusieurs manières :

- Par saisie manuelle à l'aide du clavier ;
- Par récupération de fichiers de données créés par ailleurs ;
- De manière interactive : l'utilisateur choisit une entité spatiale et y affecte directement des attributs descriptifs.

1.4.4. LES BASES DE DONNEES D'UN SIG

Un SIG destiné à traiter, analyser des images, spatiales et statistique des données, de modéliser et simuler doit nécessairement comprendre ces fonctions d'analyse complémentaire ce qui n'est pas du tout obligatoire pour mettre en place un système d'information du territoire. [16]

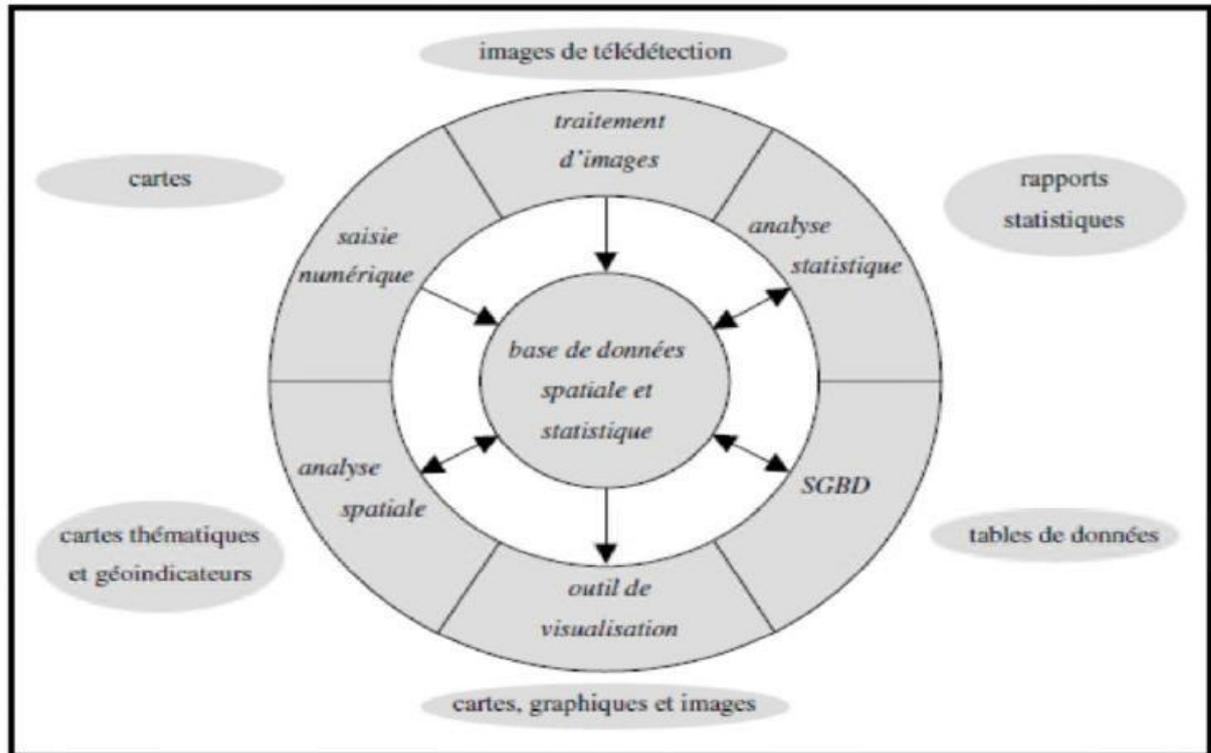


Figure 1.22 : Les composants informatiques d'un SIG

1.4.4.1. BASE DE DONNEES

Une base de données SIG est une collection de données, conceptuellement structurée, décrivant les caractéristiques des données et les relations existant entre leurs entités correspondantes, destinée à aider dans divers champs d'application.

Ainsi, La base de données incarne la mémoire du système en enregistrant, en stockant et en structurant les informations. Ces informations peuvent provenir de différentes sources mais doivent être représentées de manière numérique. Elles se distinguent par des données thématiques et géoréférencées.

Ces données représentent respectivement la base descriptive, des propriétés thématiques et spatiales du système. Les données thématiques et géoréférencées permettent donc de décrire et de caractériser le comportement du phénomène étudié.

Les phénomènes et les propriétés sont respectivement nommés « entités » et « attributs » dans le contexte des SIG. [18]

1.4.4.2. SYSTEME DE GESTION DE BASE DE DONNEES

Un SGBD peut donc apparaître comme un outil informatique permettant la sauvegarde, l'interrogation, la recherche et la mise en forme de données stockées sur mémoires secondaires.

Ce sont là les fonctions premières, complétées par des fonctions souvent plus complexes, destinées par exemple à assurer le partage des données, mais aussi à protéger les données contre tout incident et à obtenir des performances acceptables.

Les SGBD se distinguent clairement des systèmes de fichiers par le fait qu'ils permettent la description des données (définition des types par des noms, des formats, des caractéristiques et parfois des opérations) de manière séparée de leur utilisation (mise à jour et recherche). Ils permettent aussi de retrouver les caractéristiques d'un type de données à partir de son nom (par exemple, comment est décrit un produit).

Le système de fichiers est un composant de plus bas niveau ne prenant pas en compte la structure des données. La tendance est aujourd'hui à intégrer le système de fichiers dans le SGBD, construit au-dessus. [18]

1.4.5. LES MODELES DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Les modèles de données correspondent à la manière de structurer l'information dans une base de données. Ils reposent sur les principes de les théories issus du domaine de la recherche en informatique et permettent de traduire de l'information vers une représentation utilisable en informatique.

1.4.5.1. LE MODELE HIERARCHIQUE

Ce modèle propose une classification arborescente des données à la manière d'une classification scientifique. Dans ce type de modèle, chaque enregistrement n'a qu'un seul possesseur.

Cependant, notamment à cause de ce type de limitation, ce modèle ne peut pas traduire toutes les réalités de l'information dans les organisations. En revanche, l'avantage d'un tel modèle est la représentation directe des liens et une rapidité lors de la recherche des données si la hiérarchie est bien définie au préalable. [19]

1.4.5.2. LE MODELE RESEAU

Ce modèle est une extension du modèle précédent, il utilise une structure de graphe et lève de nombreuses limitations de modèle hiérarchique.

Des SGBD de types hiérarchique ou réseau sont encore employés pour des raisons d'efficacité lorsque la structure de données s'y prête. [19]

1.4.5.3. LE MODELE OBJET

Le concept objet a été adapté pour plusieurs raisons : modéliser facilement les réalités et les volumes de texte importants, représentation directe du monde réel. Les bases de données « orienté objet » ont dut de conception récente est d'assurer globalement la cohérence, la sécurité, l'intégrité et la fiabilité des données géographiquement regroupées en un contexte unique d'objet. [19]

1.4.5.4. LE MODELE RELATIONNEL

Ce modèle envisage l'organisation de données sous forme de tables à deux dimensions, dans lesquelles les lignes sont des enregistrements et les colonnes des attributs.

Le système de gestion de base de données relationnel a réussi à s'imposer en tant que système et modèle dans le monde de l'informatique. [19]

1.4.6. MODELISATION PAR LES MODELES DU S.I.G.

Les SIG intègrent l'information nécessaire aux fonctions du système, sous un mode qui permet de répondre aux questions posées avec les outils logiciels et matériels disponibles. Le SIG traduit le réel en fonction des besoins de la structure selon un certain modèle, et pas seulement un modèle de données.

La réalisation d'un Système d'information se base sur un modèle spatial, qui consiste en une représentation simplifiée par le biais d'une organisation relationnelle d'informations, qui décrit les phénomènes et les processus observés dans l'espace. [20]

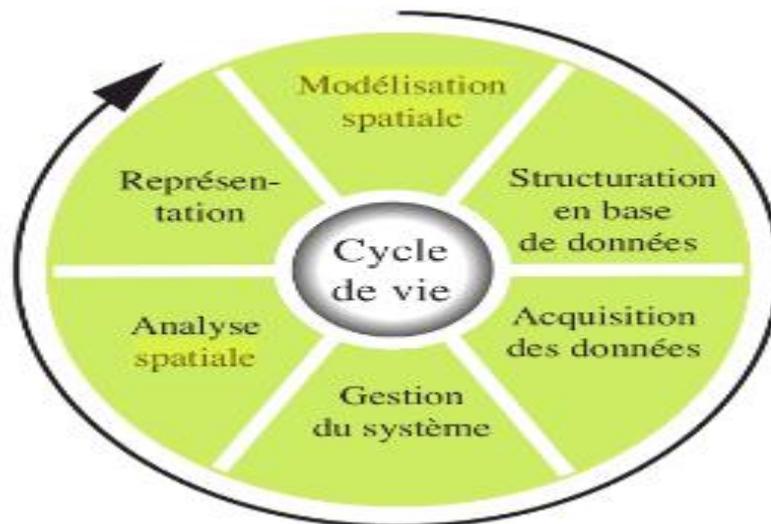


Figure 1.23 : Cycle de vie de l'analyse spatiale

Le processus de modélisation consiste à passer des phénomènes et processus réels aux objets informatiques. Basée sur une approche systémique, Sur cette base, il élabore un modèle-type, correspondant à la finalité qu'il va donner à son modèle et contenant les éléments et leurs interrelations qui sont utiles à son raisonnement. Par abstraction, le modélisateur va ainsi pouvoir établir un modèle conceptuel de sa perception de l'espace réel.

1.4.6.1. PRESENTATION DE L'ARCGIS

ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias.

ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque.

Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau. [21]



Figure 1.24 : Présentation du logiciel ArcGis

1.4.6.2. OBJECTIFS D'UTILISATION D'ARCGIS

Les professionnels dans de nombreux secteurs utilisent ArcGIS dans un large éventail d'applications, incluant la planification et l'analyse, la gestion d'actifs, la sensibilisation opérationnelle, les opérations sur le terrain telles que l'inspection mobile et le déploiement d'urgence, les études de marché, la gestion des ressources, la logistique, l'éducation et la sensibilisation. [21]

En général, ces professionnels utilisent ArcGIS, pour but :

- Résoudre des problèmes.
- Prendre de meilleures décisions.
- Planifier avec succès.
- Faire un meilleur usage des ressources.
- Anticiper et gérer le changement.
- Gérer et exécuter des opérations plus efficacement.
- Promouvoir la collaboration entre les équipes, les disciplines et les institutions.
- Accroître la compréhension et la connaissance.
- Communiquer plus efficacement.
- Éduquer et motiver les autres.

1.4.6.3. ARCCATALOG

Cette application fournit à l'utilisateur des fonctions de :

- Manipulation des données (créer, définir, déplacer, renommer).
- Consultation des données (affichage, interrogation).
- Documentation des données (métadonnées).

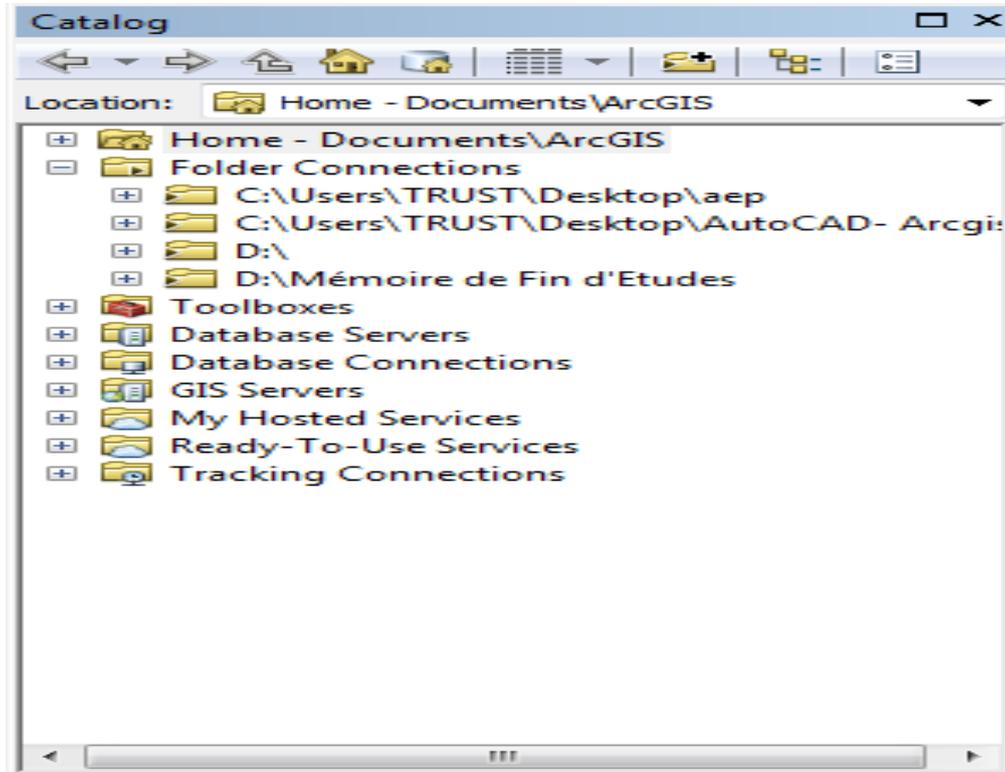


Figure 1.25 : Présentation de l'ArcCatalog

1.4.6.4. ARCMAP

ArcMap est l'application centrale d'ArcView, elle permet de réaliser les tâches suivantes :

- Visualiser des données spatiales et attributaires (étiquetage, symbologie, filtrage d'entités...)
- Saisir et mettre à jour ces données (numérisation d'entités de données, attributaires, fonctions de construction ...etc.).
- Créer des mises en page cartographie afin de présenter des résultats (cartes, rapports, diagrammes ...etc.).

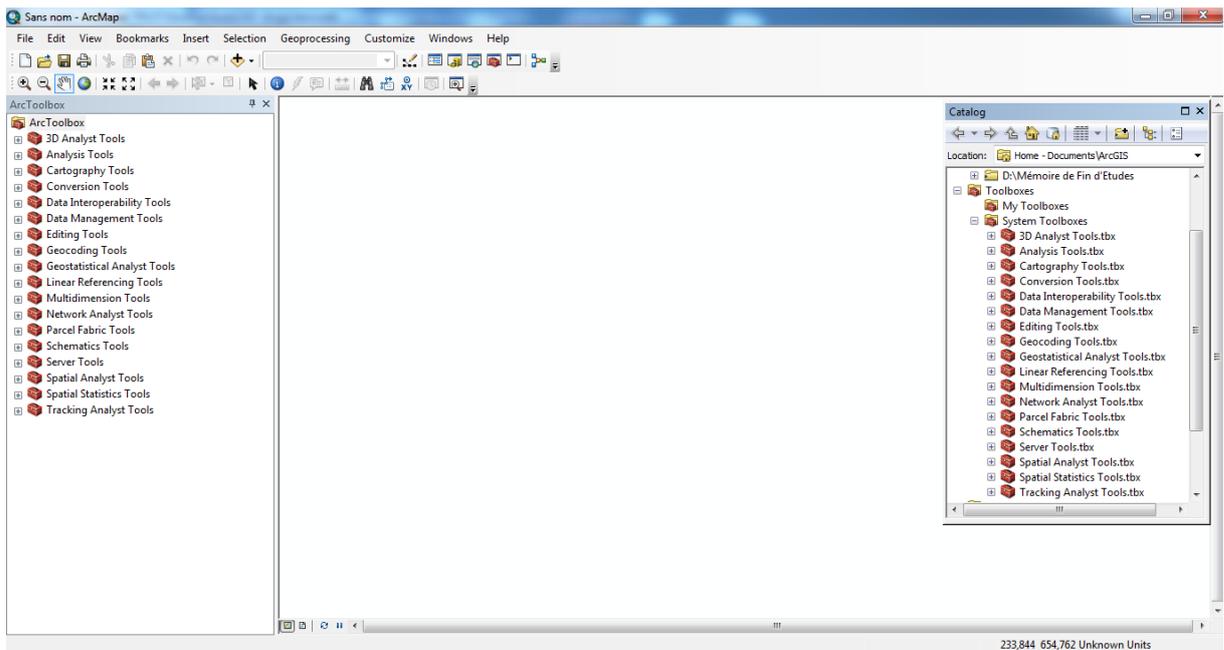


Figure 1.26 : Présentation de l'ArcMap

1.4.6.5. ACRTOOLBOX

Cette application permet de traiter les couvertures, les grilles, les TIN... Elle présente un ensemble de plus de 100 outils de conversion, de traitement et d'analyse présentés sous la forme assistants.

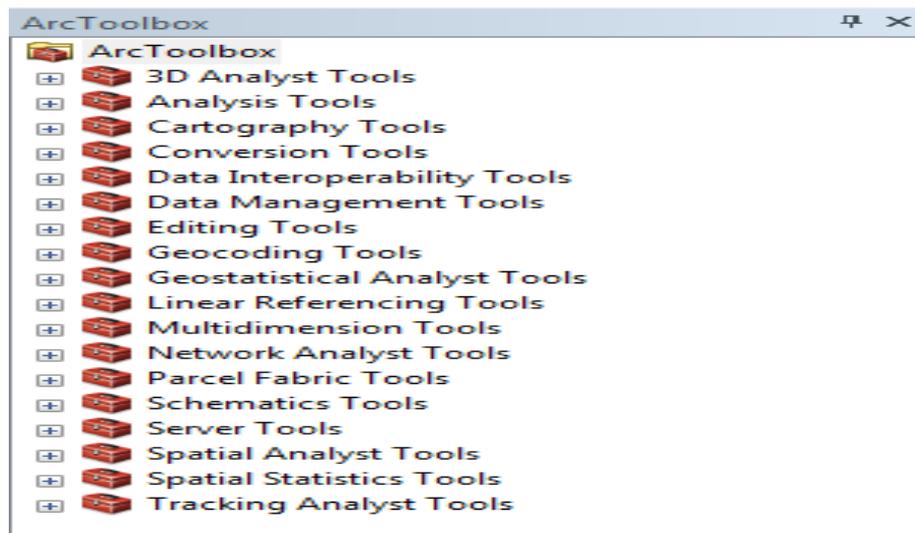


Figure 1.27: Présentation de l'ArcToolbox

1.4.6.6. ARCVIEW

Est un outil dédié à l'utilisation des données, la cartographie et l'analyse et c'est un outil puissant d'aide.

CHAPITRE 02

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. INTRODUCTION

La description de la zone à étudier est l'une des étapes les plus importantes dans le dimensionnement, la projection ou encore le diagnostic des réseaux d'alimentation en eau potable.

Dans ce contexte, nous présentons dans ce chapitre une description détaillée de la zone que nous avons choisie pour l'étude du réseau d'alimentation en eau potable.

2.2. ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE

SITUATION GEOGRAPHIQUE

Nous avons dans ce travail étudié une partie de l'AEP de la ville d'Aïn Temouchent localisée au Nord/Ouest de l'Algérie.

Le quartier de la ville d'Aïn Temouchent en question est dit « Pos-Sud/EST 02 », il occupe une superficie de 130 Hectares, il est situé au Sud/Est de la ville. Il est délimité au

Nord par le chemin de fer et le quartier de la gare, à l'Est par un périmètre de terres à forte valeur agricole, au Sud par la route Chentouf – Sidi Bel Abbés et à l'Ouest par Boulevard 1^{er} Mai et l'ancien centre-ville.



Figure 2.1: Image satellite de la situation géographique du P.O.S

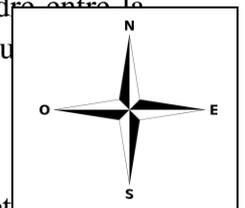
SITUATION TOPOGRAPHIQUE

Point de vue topographique, la zone d'étude connaît une pente uniforme et régulière, où on trouve des points culminants dans les limites Sud, Nord et Est, ayant des cotes de 277m, 274 m, 270m, 257 m et 240 m, et les parties les plus basses à l'Ouest et au Nord/Ouest de la zone d'étude ayant des cotes de 235 m, 228 m, 223 m (voir carte en Annexe).

La pente est régulière, sa moyenne varie de 0.8 % à 4 %, et peut atteindre entre la partie Nord/Est vers les Sud/Ouest des pentes régulières allant à 8%, ce qui topographiquement la zone d'étude est homogène et très peu accidentée.

CADRE CLIMATIQUE GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

La ville d'Ain Témouchent se caractérise par un climat méditerranéen, un été chaud et un hiver tempéré. Le régime climatique se caractérise par des vents qui n'apportent généralement que peu d'humidité (vents de direction Nord - Ouest, Sud - Est).



Par ailleurs, les reliefs méridionaux (Sebaa - Chioukh, Tessala, Monts de Tlemcen) ont une influence favorable en entravant l'arrivée des vents continentaux secs et chauds du Sud (Sirocco).

ESTIMATION DEMOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Selon le service statistique de la direction de planification et d'aménagement du territoire (DPAT), le nombre de logements est de 7000 logements, avec un taux d'occupation par logements (T.O.L.) de Sept (07) habitants par logement. La population totale du P.O.S en 2017 est de 49 000 habitants et le taux d'accroissement est de 1,31%.

Tableau 2.1 : Estimation démographique du P.O.S

Année	Population (Hab.)	Taux d'accroissement (%)
2017	49000	1,31

BESOIN EN EAU DE LA POPULATION

Les besoins en eau de la population du quartier POS Sud Est II ont été calculés sur une base d'une dotation hydraulique de 150 l/j/hab (Selon la DRE).

Ainsi, les besoins de la population sont déterminés comme suit :

- Débit de population :

$$Q = \text{Dot} \times N.H$$

Avec :

Dot : Dotation de la population : 200 l / j / hab

N.H : nombre habitants.

$$N.H = \text{Tot} \times \text{nombre d'habitations}$$

$$Q = 113,43 \text{ l/s}$$

- Débit des équipements :

Les besoins en eau des équipements sont fonction des différentes dotations (Voir Annexes).

- Débit total :

Il est égal à la somme des besoins domestiques et ceux des équipements, il est donné par la relation suivante :

$$QT = \text{débit de population} + \text{débit totale des équipements}$$

$$QT = 135,91 \text{ l/s}$$

- Débit de pointe :

Il est donné par la relation :

$$Qp = Kp \times QT$$

Kp est le Coefficient de pointe, il est égal à :

$$Kp = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{QT}}$$

$$Kp = 1,71$$

$$Qp = 326.31 \text{ l/s}$$

Ci-dessous nous résumons dans un tableau les besoins en eau de la population, ainsi que ceux des équipements de la zone d'étude ;

Tableau 2.2 : Besoin en eau de la zone d'étude

	Besoins (l/s)
Equipement	<i>22,48</i>
Population	<i>113,43</i>
Total	<i>135,91</i>
Coefficient de pointe	<i>1,71</i>
Débit de pointe	<i>326.31</i>

STRUCTURE URBANISTIQUE DE LA ZONE D'ETUDES

Selon le P.O.S (en annexe) la structure urbanistique est bien organisée, la zone en plus de son tissu urbain structuré, il est doté de plusieurs équipements, tel que les administrations, centre médicaux, écoles, salles de sports ...etc. [1]

ETAT DE LA RESSOURCE DANS LA ZONE D'ETUDES

La zone d'étude Pos-Sud/Est02 est desservie en eau à partir du réservoir de stockage ITMA 2 x 5000 m³, alimenté par la station de pompage de Dzioura ; elle même alimentée au choix par la station de dessalement de Béni Saf ou par la station d traitement des eaux superficielle dite du cratère de Dzioura, dont les sources sont Oued Tafna et Barrage de Beni Bahdel.

La station de Dzioura est équipée de 4 pompes (3+1) permettant le refoulement vers la ville d'Aïn Temouchent un débit de 231 l/s. [22]

2.3. PRESENTATION DU RESEAU D'AEP DE LA ZONE D'ETUDES

2.3.1. STRUCTURE DU RESEAU

Le réseau de distribution d'eau potable du périmètre d'étude est assuré par un réseau de type mixte ; composé de 10 mailles principales et plus de 40 ramifications, dont la partie Nord alimentée par des sous mailles, ainsi que les 121 lots et la cité universitaire, par contre les six mailles restantes alimentent le lotissement Nord [1].

2.3.2. RESERVOIR DE STOCKAGE

Le réseau est alimenté à partir des réservoirs 2 × 5000 m³ de l'ITMA situés au Sud du P.O.S avec une conduite maitresse en fonte de diamètre DN600. le réservoir de stockage e est de 36m de diamètre avec une hauteur de 5m, il est projeté de 1990m du premier point d'alimentation du la zone POS SUD EST II.

Les piquages principaux se font à deux niveaux :

- Au Sud par une conduite maitresse DN300 en Fonte sur la route de Chentouf.
- Au niveau du boulevard 1er Mai sur une conduite maitresse DN500 en Fonte.



Figure 2.2 : Réservoir de stockage ITMA

2.3.3. LES RESEAUX

L'alimentation en eau potable est faite par un réseau mixte composé de ramification et de mailles.

2.3.3.1.PARTIE DU RESEAU RAMIFIE

Le réseau actuel de la zone d'étude se compose de plus de 40 ramifications, ayant un linéaire total de 17.365 m.

Le réseau est en état neuf, il a été réalisé au cours des années 90, avec de la fonte comme matériau, il est composé des diamètres suivant (voir tableau en Annexe) :

- DN 80, longueur total : 2664,4 m
- DN 100, longueur total : 4055,2 m
- DN 150, longueur total : 679 m

2.3.3.2.PARTIE DU RESEAU MAILLE

Le réseau de distribution de la zone d'étude se compose de 10 mailles principales, enclavant la totalité du tissu urbain.

La longueur totale du réseau maillé est de 17.365 m récente a 90% avec de la fonte comme matériau, il est composé des diamètres suivant (voir tableau en Annexe) :

- DN 600, longueur total : 693,1 m
- DN 400, longueur total : 378,2 m
- DN 350, longueur total : 1046,5 m
- DN 300, longueur total : 2439,9m
- DN 250, longueur total : 665,7m
- DN 200, longueur total : 1810,2 m
- DN 150, longueur total : 1023,7m
- DN 100, longueur total : 244,8m
- DN 80, longueur total : 160,9 m

CHAPITRE 03

MATERIELS ET METHODES

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons étudier le réseau existant, redimensionner le réseaux en considérant la même structure du réseau, comparer les deux résultats.

Ensuite, nous allons simuler les conditions d'écoulement, pour les deux méthodes de dimensionnement et discuter le choix.

Enfin, nous allons par ArcGIS donner une caractérisation du réseau redimensionner pour chaque nœud et chaque tronçon.

2.4. MODE DE DIMENSIONNEMENT DU RESEAU ACTUEL

Le réseau a été déjà dimensionné par la méthode dite « des débits arbitraires » ; en considérant uniquement sept mailles principales sans avoir compté toutes les ramifications qui existent dans le réseau.

Pour avoir les conditions d'écoulement dans le réseau existant, nous l'avons redimensionné par la même méthode, celle des débits arbitraires.

PRINCIPE DE LA METHODE DES DEBITS ARBITRAIRES

Le débit qui arrive du réservoir est réparti arbitrairement dans le réseau de manière à avoir au niveau de chaque nœud une égalité entre la somme des débits qui y arrivent et celle des débits qui sortent suivant la première loi de Kirchhoff.

Dans notre cas, nous avons juste calculé les débits aux nœuds avec le débit de dimensionnement de cette méthode, en considérant toutes les mailles (10) et les ramifications.

CALCUL DES DEBITS

Il s'agit de calculer les débits de pointe, de fuite, le débit spécifique, en route et ceux aux nœuds.

- Débit de pointe : déjà calculé au chapitre 02 :

$$\underline{Q_p = 326.31 \text{ l/s}}$$

- Débit de fuite : Estimé à 20% du débit de pointe :

$$\underline{Q_f = 20\% Q_p}$$

$$\underline{Q_f = 65.26 \text{ l/s}}$$

- Débit spécifique :

$$Q_{sp} = \frac{Q}{L}$$

$$\underline{Q_{sp} = 0,0225496 \text{ l/s/ml}}$$

- Débits en route (Q_r) : Le débit en route est le débit consommé le long d'un tronçon d'une conduite.

$$\underline{Q_r = Q_{sp} \times L_i \text{ (l/s)}}$$

Q_{sp} : débit spécifique (l/s/ml) ;

L_i : longueur du tronçon (ml).

- Débit aux nœuds : il est égal à :

$$\underline{Q_n = 0,5 * \Sigma Q_r}$$

Où Q_r est le débit en route (l/s).

Le calcul des débits pour la méthode arbitraire pour chaque nœud de notre réseau est résumé dans le tableau en annexes.

2.5. REDIMENSIONNEMENT PAR LA METHODE DE HARDY CROSS

Pour la méthode de Hardy-Cross, le sens de circulation de l'eau dans une canalisation d'un réseau maillé, ne peut être déterminé avec exactitude du premier coup. La répartition des débits dans les canalisations ne peut être évaluée que d'après des hypothèses, en tenant compte du fait que, pour assurer une circulation normale, il doit y avoir égalité des pressions au point de rencontre de deux courants.

HYPOTHESES DE LA METHODE

La méthode est basée sur un certain nombre d'hypothèse, que nous résumons par les points suivants :

- Les consommations d'eau sont concentrées en des points déterminés (nœuds de préférence). S'il y a un service en route, on considèrera le débit total du tronçon à son extrémité.
- Les points d'injection ou de prélèvement de débit sont connus (pas d'apport ou de fuite inconnus).
- On se fixe initialement et arbitrairement les diamètres des conduites (par expérience, compte tenu des vitesses admises généralement).
- Le résultat du calcul se traduit alors par la connaissance des pressions à chaque nœud et des débits dans chaque branche et ceci pour le choix des diamètres définis initialement. Si ces valeurs de pression et de débit sont incompatibles avec les valeurs à assurer, on corrige les diamètres des tronçons incriminés et on recommence le calcul.
- Dans le réseau, la somme des entrées est égale à la somme des sorties.
- On doit se fixer dans chaque maille, une répartition supposée des débits ainsi qu'un sens supposé d'écoulement, tout en respectant la loi des nœuds. Un diamètre, tout au moins, des canalisations (avec des vitesses entre 0,6 et 1,2 m/s) peut être choisi et l'on calcule les pertes de charges correspondantes.

Ces hypothèses doivent vérifier les conditions des lois des nœuds et des lois des mailles décrites comme suit :

- **Loi des nœuds** : A chaque nœud, la somme des débits qui arrivent est égale à la somme des débits qui partent. Ainsi, si on affecte du signe (+) les débits qui arrivent et de signe (-) les débits qui sortent, la somme algébrique des débits est nulle à chaque nœud.
- **Loi des mailles** : Dans une maille, la somme algébrique des pertes de charge est nulle. On définit pour cela un sens de parcours positif arbitraire (qui n'a aucune relation avec le sens d'écoulement). L'orientation positive est donnée par le sens du déplacement des aiguilles d'une montre.

METHODE DE CALCUL DES DEBITS

Après avoir fixé un sens d'écoulement adéquat, en respectant les hypothèses suscitées, on calcule les débits de pointe, le débit spécifique, du tronçon, des débits avals et les débits totaux pour chaque nœud.

- Débit de pointe : déjà calculé au chapitre 02 :

$$\underline{Q_p = 326.31 \text{ l/s}}$$

- Débit spécifique :

$$Q_{sp} = \frac{Q}{L}$$

$$\underline{Q_{sp} = 0,0225496 \text{ l/s/ml}}$$

- Débit tronçon (Qt) : Le débit tronçon est le débit consommé le long d'un tronçon d'une conduite.

$$\underline{Q_t = Q_{sp} \times L_i \text{ (l/s)}}$$

Qsp : débit spécifique (l/s/ml) ;

Li : longueur du tronçon (ml).

- Débit aval : il est égal à :

$$\underline{P = \Sigma Q_t \text{ (l/s)}}$$

Où ΣQ_t correspondent à la somme des débits situés en aval du tronçon qu'ils traverse en suivant les sens d'écoulement.

- Débit Totaux : ils sont égaux à :

$$\underline{Q_s = Q_t + (0,55 \times P) \text{ (l/s)}}$$

Sur la base du débit total pour chaque tronçon on détermine le diamètre calculé pour une vitesse de 1 m/s, par la suite on détermine le diamètre normalisé et on re-calcule la vitesse.

$$D_{cal} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}} \text{ (m)}$$

Le calcul des débits pour la méthode Hardy-Cross en fonction des sens d'écoulement attribués, ainsi que la détermination des diamètres, pour chaque tronçon des mailles sont résumés dans le tableau en annexes.

Les débits par la suite sont corrigés par itération successive où on calcule la somme des pertes de charges qui doivent converger vers le 0 dans une maille, ainsi que la variation de la correction du débit ΔQ .

Les relations de calcul de la variation du débit et des pertes de charges sont égales à :

- Variation du débit :

$$\Delta Q = \frac{\Sigma \Delta H}{2 \times \frac{\Delta H}{Q}}$$

- Perte de charge :

$$\Delta H = J \times L \text{ (m)}$$

J : perte de charge singulière (m) ;

L : longueur du tronçon (m)

$$J = \lambda \frac{v^2}{2 g D_N} \text{ (m)}$$

Avec :

$$\lambda = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 \times D_N} + \frac{2.51}{Re \times \sqrt{\lambda}} \right)^{-2}$$

Re : nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{VD_N}{\nu}$$

ε : rugosité (dans notre cas 0.002) ;

ν : viscosité dynamique (dans notre cas 10^{-6} m/s)

D_N : le diamètre (m) ;

V : la vitesse (m/s)

g : gravité (prise égale à 9,81 N/Kg)

Le tableau de calcul des itérations pour la correction des débits est donné en annexe. Sur la base de ce tableau nous avons dimensionné les conduites de ramification, dont le tableau de calcul est également en annexe.

VERIFICATION DES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT

Il s'agit de vérifier, par calcul, les conditions d'écoulement en chaque tronçon et chaque nœud, en matière de vitesse qui ne doit pas descendre au-dessous de 0.5 m/s et ne doit pas dépasser les 1.5 m/s, ainsi que la pression qu'on tolère un minimum de 2 bars au sol.

- Calcul de la vitesse : La vitesse est calculée par la relation :

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D_N^2}$$

- Calcul de la pression : La pression est calculée par la relation :

$$P_b = P_a + (Z_a - Z_b) - \Delta H$$

Nous résumons les calculs des conditions d'écoulement pour le réseau de la zone étudié Pos-Zone Sud/Est 02, que nous avons redimensionné par la méthode de Hardy-Cross dans le tableau en annexe.

Il est clair que les condition d'écoulement en matière de vitesse et de pression sont entièrement vérifier pour notre redimensionnement.

2.6. SIMULATION DES DEUX METHODES PAR EPANET

Dans cette partie nous allons simuler les conditions d'écoulement par le logiciel EPANET, des deux méthodes de réseau projeté, arbitraire et de Hardy-Cross.

METHODE DES DEBITS ARBITRAIRES

Nous avons inséré le réseau projeté en EPANET à partir d'AutoCAD, ensuite nous avons introduit toutes les valeurs attribuées à chaque nœud par la méthode arbitraire.

Après simulation nous avons obtenu les résultats de la figure suivante :

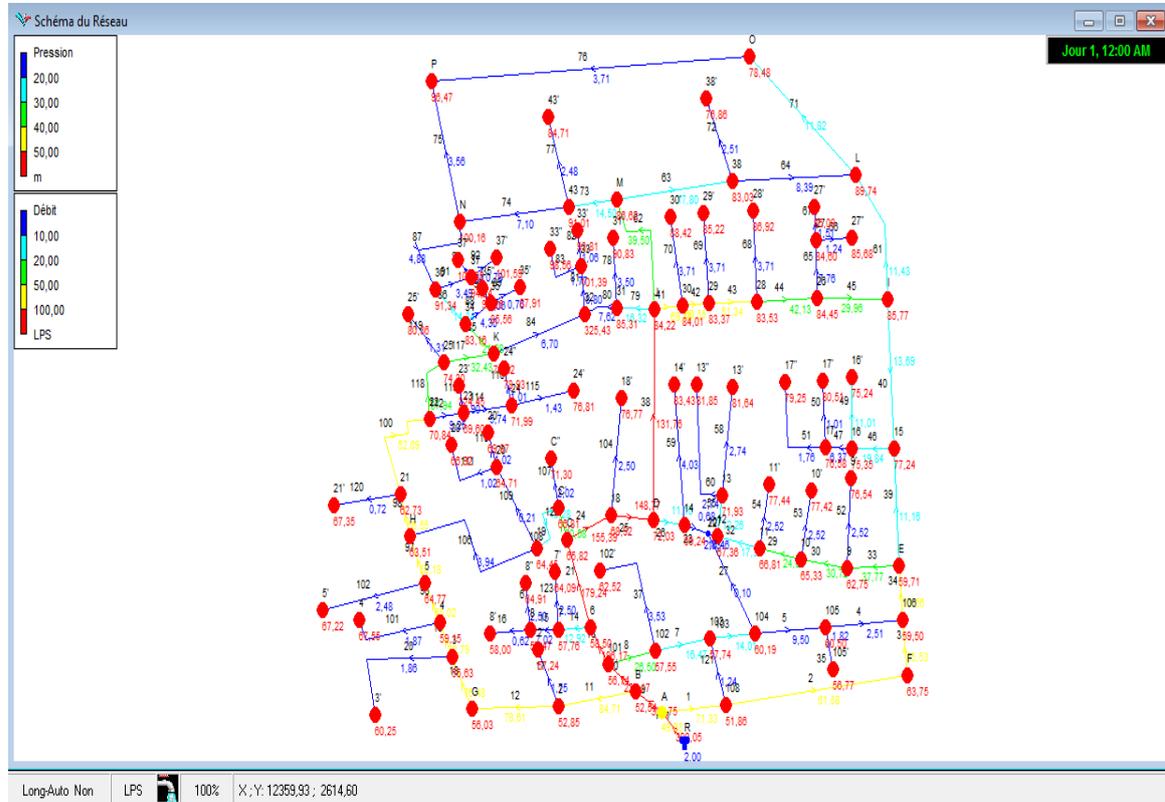


Figure 3. 1 : Simulation du réseau avec la méthode des débits arbitraires

Les résultats de la simulation en matière de pression sont résumés dans le tableau en annexe. Nous avons remarqué que les pressions sont bonnes, elles varient entre 60 m et 102 m.

Par contre, en matière de vitesse la simulation a montré que certaines vitesses ne vérifient pas les conditions d'écoulement, en fait, nous avons enregistré des valeurs trop basses de vitesses comme le tronçon 104-107 où elle est égale à 0,01 m/s, d'un côté, et d'un autre côté elle est trop élevée dans certains tronçons comme celui 15-16 où elle est égale à 2,53 m/s.

METHODE DE HARDY-CROSS

Par la même démarche que la précédente, nous avons inséré le réseau projeté en EPANET à partir d'AutoCAD, ensuite nous avons introduit toutes les valeurs attribuées à chaque nœud par la méthode de Hardy-Cross. Après simulation nous avons obtenu les résultats de la figure suivante :

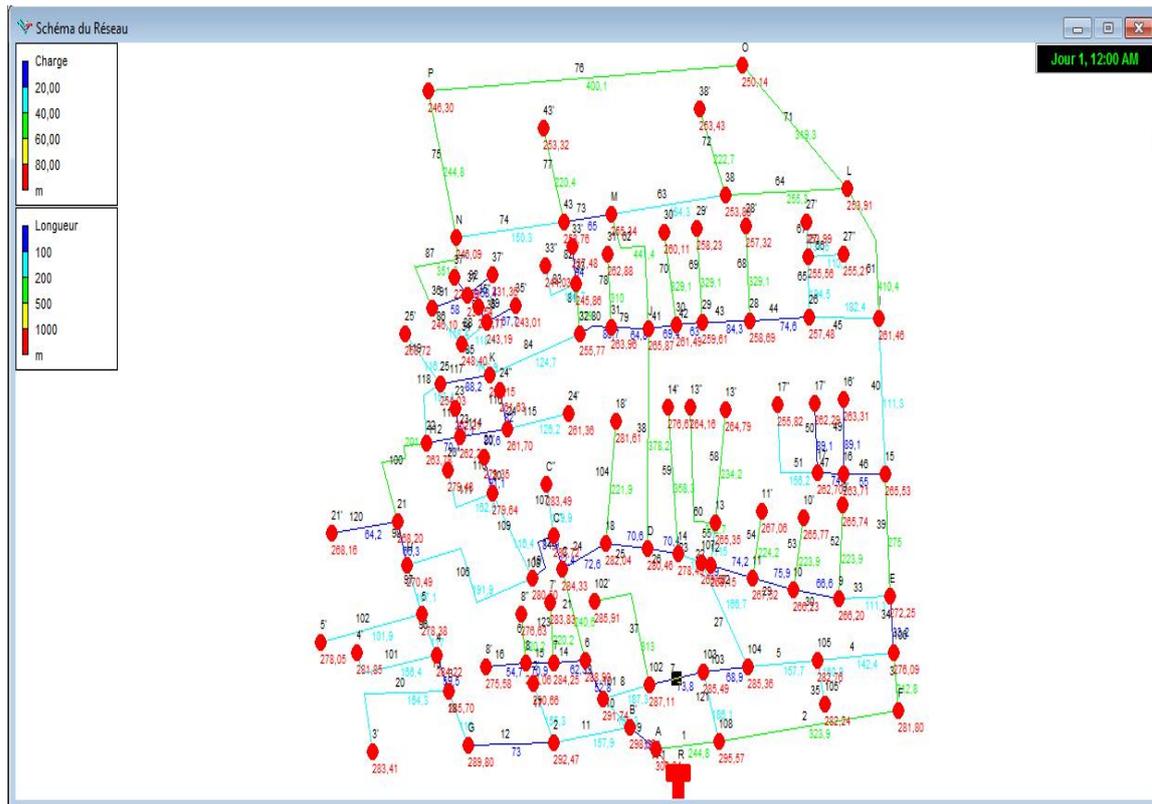


Figure 3. 2: Simulation du réseau avec la méthode de Hardy-Cross

Les résultats de la simulation en matière de pression sont résumés dans le tableau en annexe. Nous avons remarqué que les pressions sont bonnes, elles sont vérifiées au niveau de chaque nœud.

En matière de vitesse également la simulation a montré que toutes les vitesses aux nœuds vérifient les conditions d'écoulement.

Ceci dit, notre redimensionnement par la méthode de Hardy-Cross donne des résultats fiables et vérifie adéquatement les conditions d'écoulement.

SYNTHESE SUR LES CARACTERISTIQUE HYDRAULIQUE DU RESEAU

Afin de synthétiser la méthode de dimensionnement la plus adéquate pour la région, nous avons établi des tableaux comparatifs entre les deux méthodes ; le premier tableau concerne la comparaison en matière des diamètres, vitesses et pertes de charge au niveau des tronçons :

Tableau 3. 1: Comparaison entre diamètres, vitesses et perte de charge

Tronçon	Longueur(m)	Diamètre (m)		Vitesse (m/s)		Perte de charge (m)	
		Méthode de H.C	Méthode arbitraire	Méthode de H.C	Méthode arbitraire	Méthode de H.C	Méthode arbitraire
A - B'	18,6	400	600	0,709	1,12	0,0019660	1,72
B' – 101	165,3	400	600	0,622	0,8	0,0015142	0,94
101 - 102	187,3	150	200	0,597	0,84	0,0051403	3,69
102 - 103	73,8	125	200	0,503	0,52	0,0046883	1,53
103 - 108	186,1	60	80	0,168	0,25	0,0015006	1,11
108 - A	244,8	250	300	0,478	1,01	0,0016687	3,21
101 - 6	52,8	350	600	0,708	0,69	0,0023332	0,71
6 - C	240,6	400	600	0,511	0,63	0,0010255	0,6
C - 18	72,6	350	600	0,593	0,55	0,0016394	0,46
18 - D	70,6	350	600	0,570	0,53	0,0015169	0,43
D - 14	70,4	200	300	0,589	0,16	0,0033919	0,10
14 - 107	144,1	150	300	0,893	0,01	0,0114388	3,9
107 - 104	166,7	60	150	0,334	0,01	0,0057978	2,04
104 - 103	68,9	100	200	0,455	0,45	0,0052321	1,13
107 - 12	9,9	150	300	0,713	0,04	0,0073235	3,8
12 - 11	74,2	125	300	0,650	0,25	0,0077893	0,23
11 - 10	75,9	100	300	0,745	0,34	0,0138894	0,43
10 – 9	66,6	100	300	0,447	0,43	0,0050397	0,67
9 – E	111,1	60	300	0,578	0,53	0,0172104	0,99
E – 106	33,2	150	300	0,852	0,76	0,0104314	1,89
106 - 105	142,4	60	80	0,433	0,5	0,0096786	4,08
105 - 104	157,7	100	150	0,467	0,54	0,0054960	2,24
106 – F	212,8	200	300	0,564	0,79	0,0031144	2,02
F – 108	323,9	200	300	0,661	0,87	0,0042752	2,44
B' – 2	157,9	250	350	0,569	0,88	0,0023564	2,08
2 – G	73	250	350	0,512	0,82	0,0019069	1,81
G – 3	116	250	350	0,506	0,79	0,0018650	1,72
3 – 4	59,5	250	350	0,457	0,74	0,0015231	1,49
4 – 5	117	200	350	0,672	0,68	0,0044098	1,27
5 – H	167,1	200	350	0,630	0,6	0,0038811	1,04
H – 19	191,9	60	150	0,247	0,22	0,0031894	0,44
19 - C'	84,9	100	150	0,434	0,86	0,0047632	5,4
C' – C	22,4	125	150	0,369	1,14	0,0025355	8,96
D – J	378,2	250	400	0,786	1,05	0,0044771	2,46
J – 30	69,4	150	300	0,752	0,98	0,0081223	3,05
30 – 29	63	150	300	0,583	0,86	0,0049011	2,37
29 – 28	84,3	150	300	0,426	0,73	0,0026357	1,74
28 – 26	74,6	100	300	0,564	0,6	0,0079845	1,21

26 - I	182,4	60	300	0,455	0,42	0,0106852	0,64
I - 15	111,3	150	300	0,556	0,19	0,0044674	0,15
15 - E	275	200	300	0,518	0,16	0,0026319	0,024
18 - C	72,6	350	600	0,557	0,55	0,0014520	0,46
H - 21	66,3	200	350	0,571	0,59	0,0031963	0,98
21 - 22	201,5	200	350	0,567	0,54	0,0031446	0,85
22 - 25	163,4	150	350	0,726	0,39	0,0075906	0,47
25 - K	88,2	150	350	0,584	0,34	0,0049179	0,35
K - 32	124,7	60	200	0,900	0,5	0,0414709	1,94
32 - 31	86,7	100	200	0,874	0,24	0,0191068	0,37
31 - J	64,8	150	200	0,537	0,52	0,0041713	1,5
J - M	441,4	150	300	0,804	0,56	0,0092808	1,07
M - 38	134,3	100	200	0,701	0,57	0,0123357	1,77
38 - L	255,3	100	250	0,459	0,27	0,0053131	0,44
L - I	410,4	150	250	0,783	0,23	0,0088236	0,26
I - 26	182,4	60	300	0,455	0,42	0,0106852	0,64
J - 31	64,8	150	200	0,537	0,52	0,0041713	1,5
34 - 36	118,4	125	200	0,599	0,46	0,0066211	1,18
36 - N	351,9	125	200	0,532	0,16	0,0052391	0,16
N - 43	150,3	60	200	0,842	0,23	0,0363450	0,32
43 - M	65	100	200	0,506	0,46	0,0064409	1,21
N - P	244,8	100	100	0,418	0,45	0,0044183	2,63
P - O	400,1	100	150	0,684	0,21	0,0117183	0,39
O - L	319,3	125	200	0,590	0,38	0,0064291	0,38
102 - 102'	313	100	100	0,842	0,45	0,0363450	2,58
105 - 105'	160,9	60	80	0,709	0,36	0,0019660	2,25
6 - 7	62,3	100	150	0,512	0,73	0,0015142	3,96
7 - 7'	220,2	100	80	0,587	0,5	0,0051403	4,04
7 - 8	70,9	100	100	0,565	0,89	0,0046883	9,23
8 - 8'	54,7	60	80	0,583	0,12	0,0015006	0,31
8 - 8"	220,2	60	80	0,882	0,5	0,0016687	0,04
2 - 2'	155,3	60	80	0,710	0,35	0,0023332	2,09
3 - 3'	164,3	60	80	0,524	0,37	0,0010255	2,34
4 - 4'	166,4	60	80	0,650	0,37	0,0016394	2,36
5 - 5'	101,9	60	80	0,560	0,49	0,0015169	3,98
15 - 16	55	100	100	0,661	2,53	0,0033919	63,2
16 - 16'	89,1	60	80	0,709	2,19	0,0114388	62,96
16 - 17	74,7	100	100	0,512	0,81	0,0057978	7,71
17 - 17'	89,1	60	80	0,587	0,2	0,0052321	0,75
17 - 17"	156,2	60	80	0,569	0,35	0,0046883	2,11
9 - 9'	223,9	100	100	0,512	0,32	0,0051403	1,38
10 - 10'	223,9	100	100	0,506	0,32	0,0073235	1,38

11 - 11'	224,2	100	100	0,457	0,32	0,0077893	1,38
12 - 13	115	100	150	0,672	0,69	0,0138894	3,6
13 - 13'	234,2	100	100	0,630	0,35	0,0050397	1,62
13 - 13"	312,7	100	100	0,581	0,35	0,0172104	1,62
14 - 14'	358,3	100	100	0,519	0,51	0,0104314	3,30
21 - 21'	64,2	60	80	0,423	0,14	0,0096786	0,4
22 - 23	70,1	100	100	0,543	1,18	0,0054960	15,38
23 - 23'	81,1	60	80	0,779	0,18	0,0057978	0,61
23 - 24	80,6	100	100	0,768	0,73	0,0015006	6,36
24 - 24'	126,2	60	80	0,600	0,28	0,0052321	1,44
24 - 24"	82	60	80	0,443	0,2	0,0054960	0,75
25 - 25'	116,2	60	80	0,601	0,26	0,0096786	1,22
18 - 18'	221,9	100	100	0,559	0,32	0,0031144	1,36
C' - C"	179,9	100	100	0,556	0,26	0,0042752	0,92
19 - 20	116,4	100	100	0,518	0,79	0,0023564	7,35
20 - 20'	91,1	60	80	0,387	0,2	0,0019069	0,77
20 - 20"	162,9	100	80	0,378	0,2	0,0018650	0,77
26 - 27	194,5	100	100	0,676	0,99	0,0015231	11,11
27 - 27'	134,5	60	80	0,779	0,3	0,0044098	1,59
27 - 27"	110,1	60	80	0,768	0,25	0,0038811	1,1
28 - 28'	329,1	100	100	0,600	0,47	0,0031894	2,83
29 - 29'	329,1	100	100	0,802	0,47	0,0047632	2,83
30 - 30'	329,1	100	100	0,656	0,47	0,0025355	2,83
34 - 35	118,9	60	80	0,414	0,55	0,0011527	3,73
35 - 35'	67,7	60	80	0,783	0,15	0,0023332	0,45
35 - 35"	94,1	60	80	0,559	0,21	0,0015142	0,83
36 - 37	58	60	100	0,601	0,44	0,0044771	2,53
37 - 37'	68,4	60	80	0,443	0,15	0,0081223	0,46
37 - 37"	56,9	60	80	0,600	0,13	0,0049011	0,33
31 - 31'	310	100	100	0,432	0,45	0,0026357	2,54
32 - 33	279	100	150	0,802	0,5	0,0079845	1,94
33 - 33'	94	60	80	0,656	0,21	0,0106852	0,82
33 - 33"	156,7	60	80	0,414	0,35	0,0044674	2,12
38 - 38'	222,7	100	150	0,783	0,14	0,0026319	0,19
43 - 43'	220,4	100	100	0,559	2,48	0,0172104	0,32

Selon le tableau, nous constatons ce qui suit :

- **En matière de diamètre :** La méthode de Hardy-Cross donne des diamètres souvent économiques que celle de la méthode arbitraire.
- **En matière de vitesse :** Les vitesses obtenues avec la méthode de Hardy-Cross vérifient mieux les conditions d'écoulement par rapport aux vitesses des débits arbitraires souvent faibles.

- **En matière de pertes de charge** : Pour la méthode des débits arbitraire, les pertes de charges sont trop élevées, ce qui explique le diamètre important et les vitesses faibles, par contre pour la méthode de Hardy cross, les pertes de charge sont bonnes.

Quant-au second tableau, il concerne la comparaison des valeurs des pressions entre les deux méthodes :

Tableau 3. 2: Comparaison entre pressions pour les deux méthodes

Nœuds	Pression (m)	
	Méthode débits arbitraires	Méthode de Hardy-Cross
R	6,0	6,0
A	70,6	49,63
B'	68,5	52,54
101	78	56,71
102	74	57,64
102'	86	62,61
103	69	57,85
108	65	52,19
6	77	58,46
C	81	65,74
18	84	68,84
D	82	71,94
14	79,03	68,98
107	81,1	68,42
104	75,1	60,32
12	90,3	68,68
11	86	68,05
10	83,08	66,5
9	79,9	63,85
E	80,7	60,69
106	75,7	60,44
105	70,7	60,82
105'	80,8	57,09
F	86,8	64,46
2	69,9	52,86
2'	76,7	57,26
G	80,1	56,06
3	76,8	55,67

3'	71,9	60,29
4	70,89	59,19
4'	86,8	67,6
5	81	64,82
5'	84	67,28
H	81,5	63,59
19	83	64,47
C'	82,8	66,76
7	78	57,72
7'	89,3	64,06
8	77,1	57,43
8'	88,1	57,96
8"	78	64,87
J	99,2	84,42
30	98,2	84,32
29	96,7	83,76
28	100,0	84,01
26	99,0	85,01
I	98,97	86,43
15	92,89	77,94
16	97,98	76,06
16'	100	75,95
17	98,8	77,28
17'	99,06	81,21
17"	97,98	79,95
9'	94,8	77,64
10'	97,3	78,59
11'	96,7	78,68
13	91,3	73,25
13'	95,9	82,95
13"	96,8	83,16
14'	98,8	83,17
21	81,8	62,81
21'	88,7	67,44
22	87,09	70,95
23	89,8	69,71
23'	89,9	74,56
24	90,9	72,1
24'	93,4	76,92
24"	95,7	79,03
25	90,7	74,43
25'	97,2	80,48

K	94,9	79,05
32	98,09	85,23
31	100,7	85,48
18'	92,3	76,68
C"	96	71,25
20	79,76	64,74
20'	87,89	70
20"	83,87	66,94
M	99,76	86,91
38	98,99	83,45
L	100,7	90,26
27	101,3	85,16
27'	99,7	85,65
27"	101,8	86,24
28'	102	87,41
29'	99,98	85,61
30'	102,7	88,73
34	97,81	83,34
35	98,76	85,75
35'	100,65	88,1
35"	105	92,45
36	106,8	91,56
37	106	94,46
37'	105,67	101,81
37"	110,8	102,07
N	109,7	100,42
43	108	91,29
31'	106,7	91
33	113	101,54
33'	111,7	93,97
33"	115,98	98,71
P	109,7	96,91
O	94,56	78,97
38'	92,34	90,26
43'	100,7	77,28

Les pressions au niveau des nœuds sont bonnes dans les deux cas, mais dans le redimensionnement de Hardy-Cross elle est un peu faible par rapport à la méthode des débits arbitraires. Ceci, justifie que la Méthode de Hardy-Cross est adéquatement plus favorable aux conditions d'écoulement.

2.7. CARACTERISATION DU RESEAU PAR SIG

Dans cette partie d'étude nous avons établi la caractérisation de notre réseau étudié et redimensionné par la méthode de Hardy-Cross, en utilisant un logiciel d'information géographique, en l'occurrence, l'ArcGIS.

3.4.1. PREMIERES ETAPES DE PROCEDURE

Pour caractériser notre réseau, nous avons donc procédé aux étapes initiales suivantes :

- Traçage des parties manquantes dans le réseau, tel que l'adduction entre le réservoir ITMA et le réseau, que nous avons effectué à partir de la carte de Google Earth, comme indiqué par la figure ci-dessous.

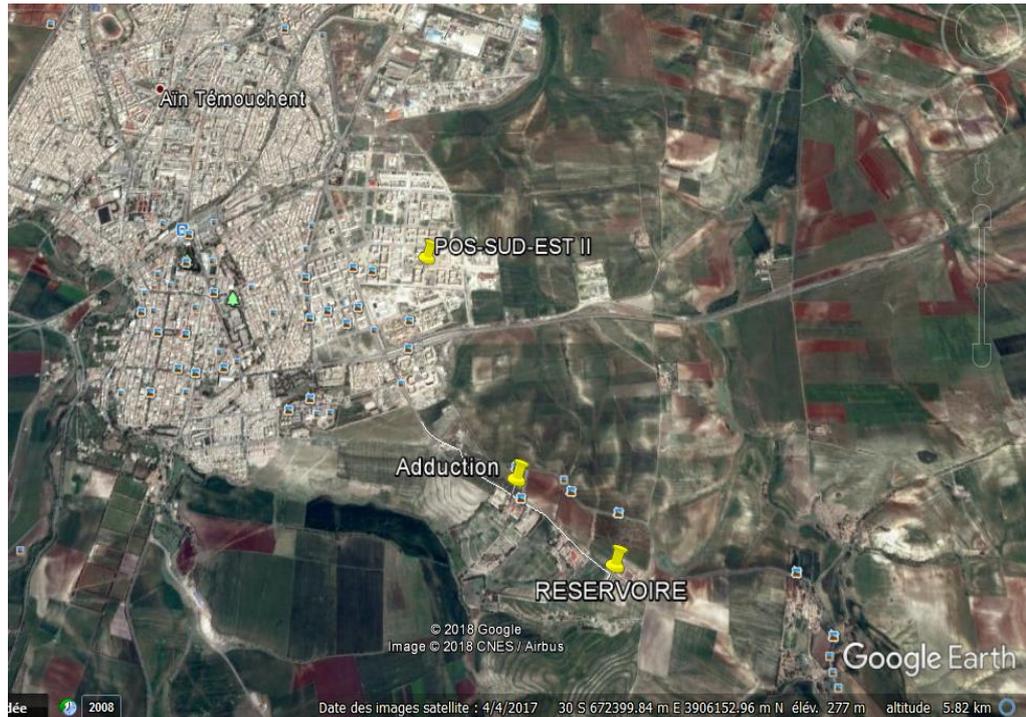


Figure 3. 3: Création de l'adduction à partir du réservoir ITMA sur Google Earth

- Conversion du tracé de l'adduction, entre le fichier image (en format jpeg) vers un fichier de dessin technique assisté par ordinateur (DAO), afin qu'il soit lu par AutoCAD, e, utilisant Globale Mapper, permettant de translater le fichier mage en fichier DWG(CAD), comme le montre la figure suivante.

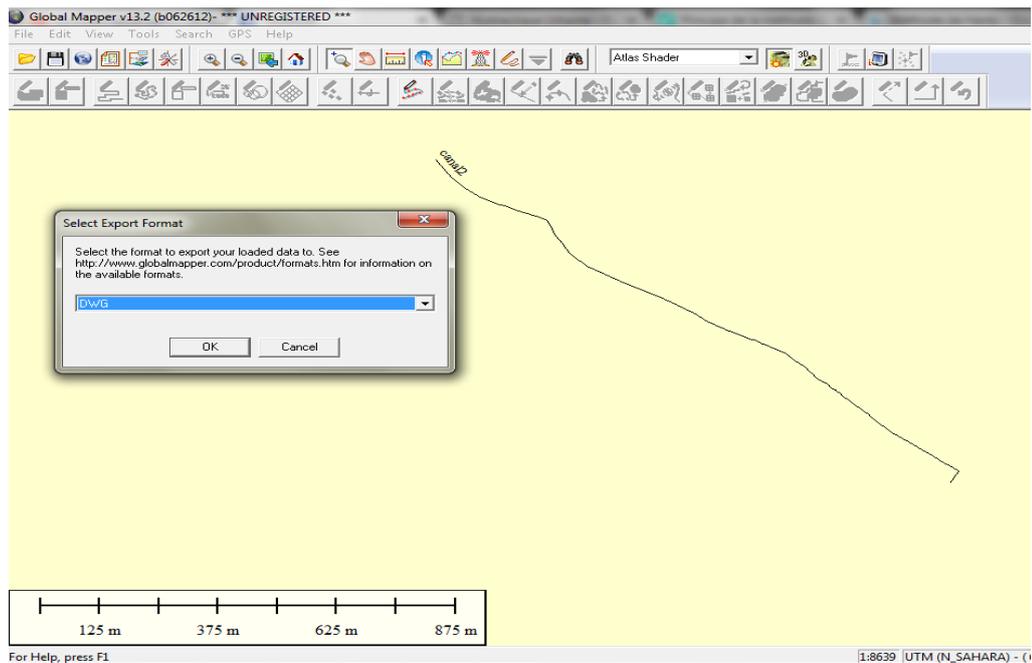


Figure 3. 4: conversion du tracé sur global Mapper vers DWG format

- Traçage et mise en échelle du tracé de l'adduction entre le réservoir ITMA et le réseau sur AutoCAD, tel qu'il est mentionné sur la figure suivante.

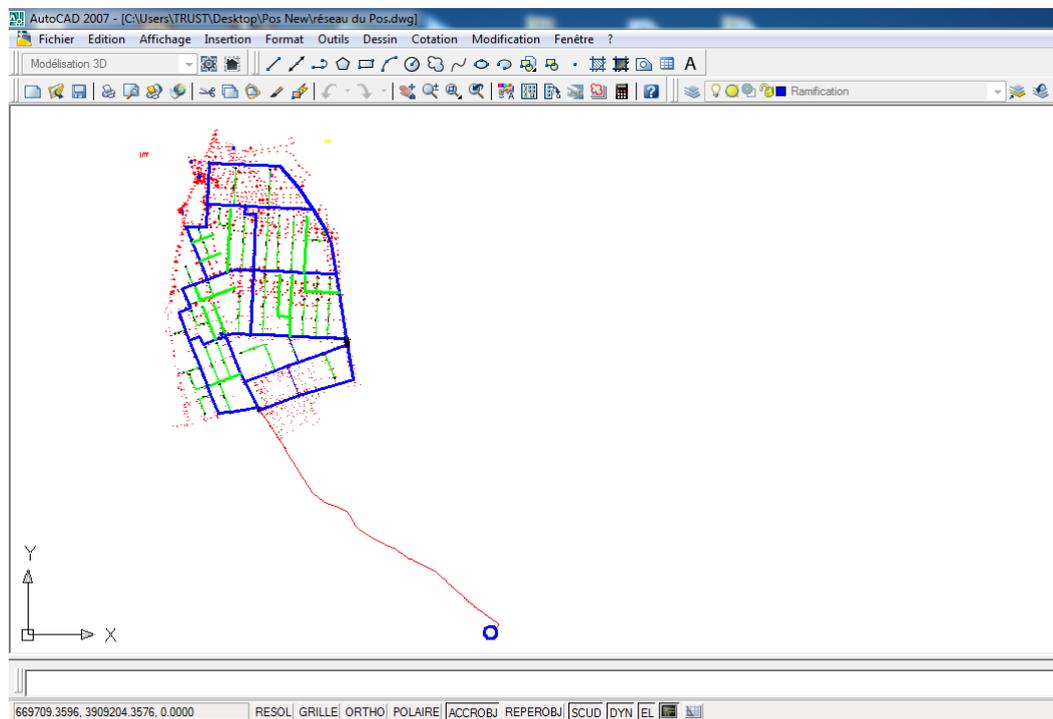


Figure 3. 5: Traçage de l'adduction sur AutoCad

3.4.2. INSERTION ET GEOREFORENCEMENT DE LA CARTE SUR ARCMAP

Comme chaque étape dans les systèmes d'informations géographiques, il faut insérer la carte et la géoréférencer, comme nous l'avons faite pour la carte d'Aïn Temouchent, sur ArcMAP tel qu'il est indiqué ci-dessous.

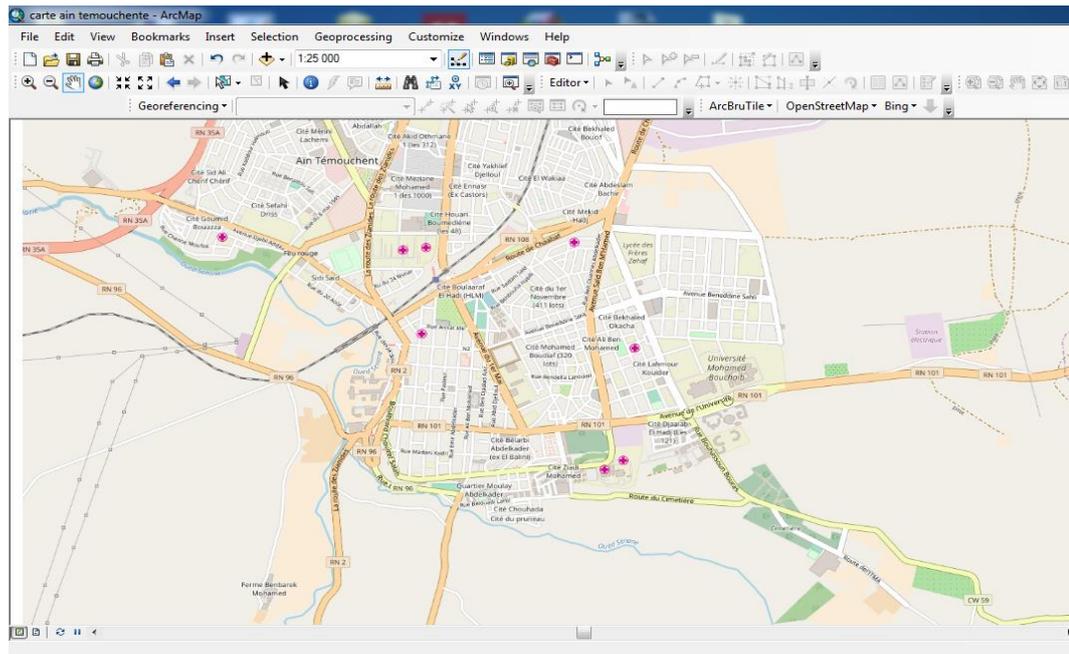


Figure 3. 6: Insertion de la carte d'Ain Témouchent sur ArcMap

3.4.3. CALAGE DU RESEAU ETUDIE

Nous avons par la suite procédé au calage de notre réseau redimensionné sur la carte géo-référencée, exactement sur le site d'étude, à savoir POS-SUD/EST02.

Pour cela nous avons procédé aux étapes suivantes :

- Calage des mailles à l'échelle ;
- Calage des ramifications et
- Calage des nœuds.

Les figures suivantes montre notre calage de réseau sur la carte, en procédant par le calage de toutes les mailles, ensuite les ramifications et enfin les nœuds.

A la fin, nous constituant notre réseau complet sur l'ArcGIS.

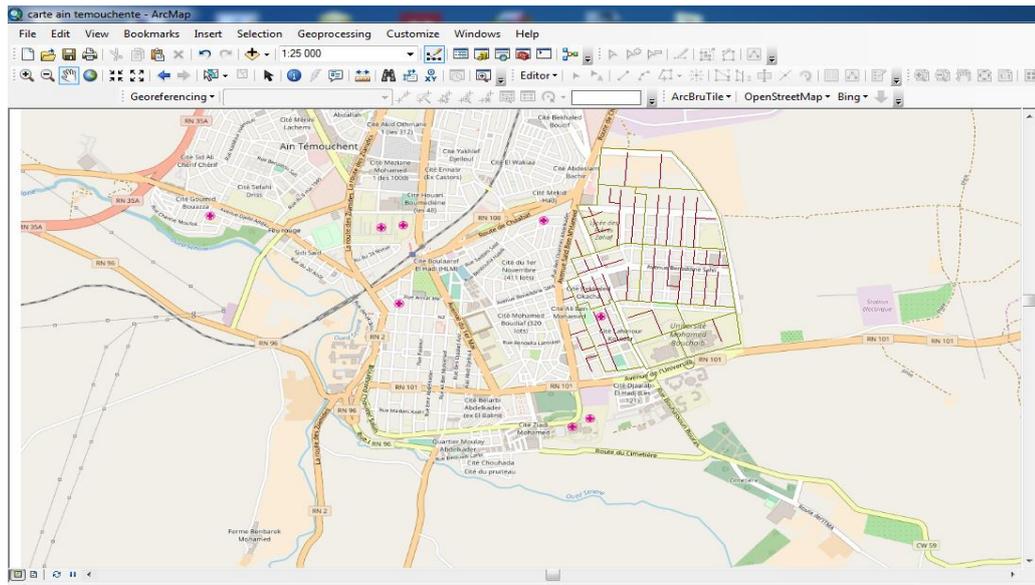


Figure 3. 7: Calage des mailles du POS

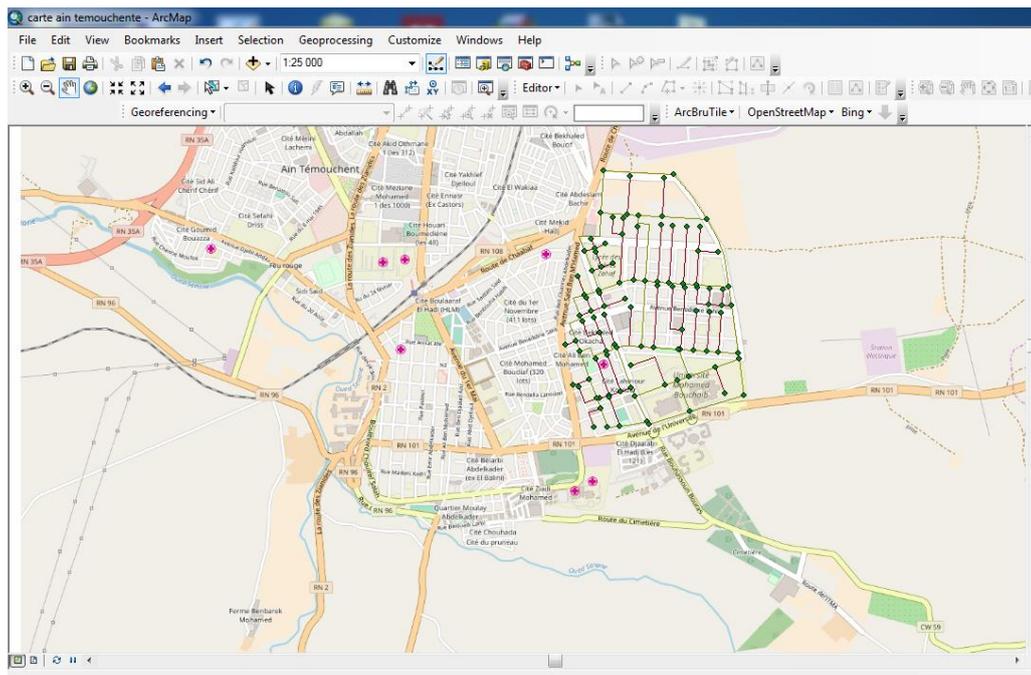


Figure 3.8 : Calage des ramifications

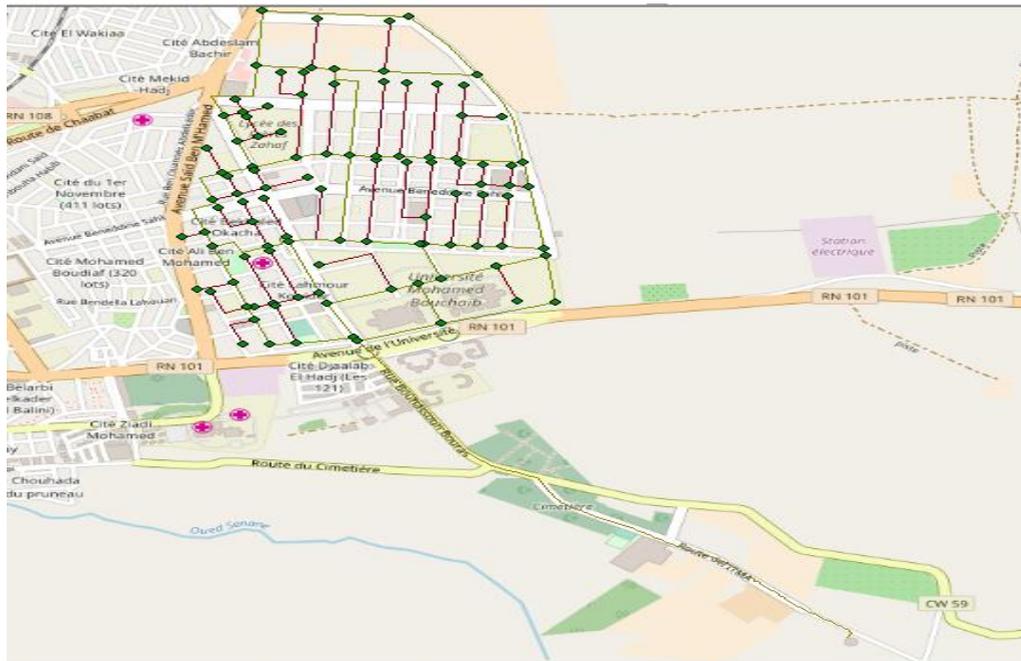


Figure 3.9 : Calage des nœuds

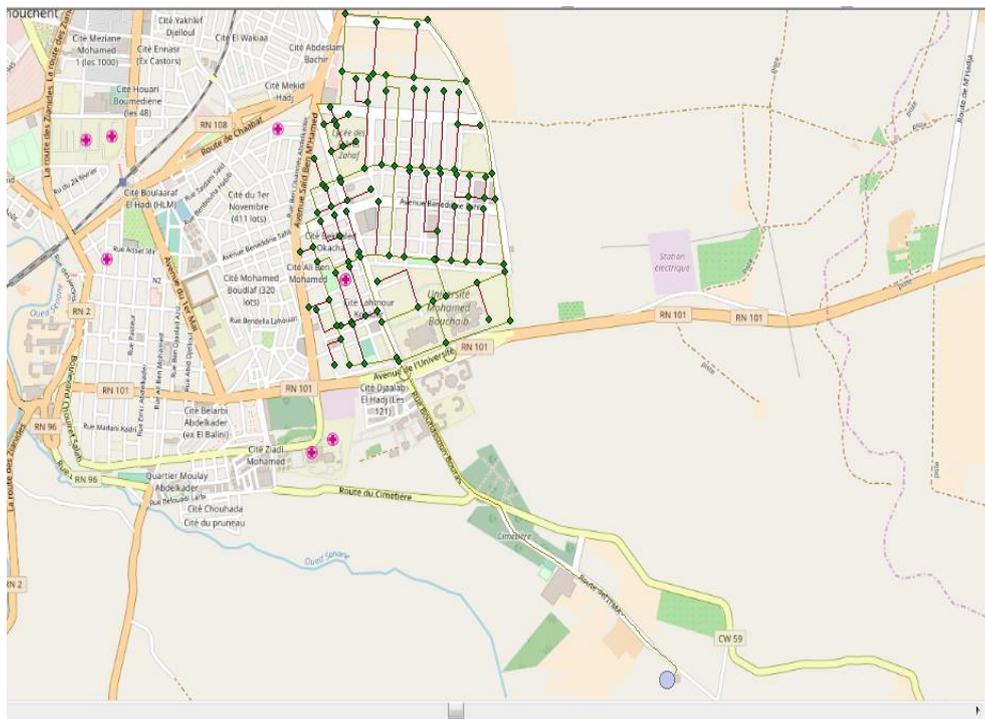


Figure 3. 10: Calage du réseau complet avec le réservoir ITMA

3.4.4. INTRODUCTION DE LA BASE DES DONNEES

Une fois notre réseau est bien calé sur la carte géo-référencée, nous avons procédé à la création de la base de données. Nous avons ainsi créé une base de données rassemblant toutes les informations concernant notre réseau (longueurs, diamètres, vitesses, pressions ...etc.). Ainsi, notre base de données concerne :

- Les informations au niveau des nœuds ;
- Les informations de chaque tronçon et
- Les informations du réservoir.

Les figures suivantes montre la création des bases de données pour les nœuds, les tronçons et le réservoir.

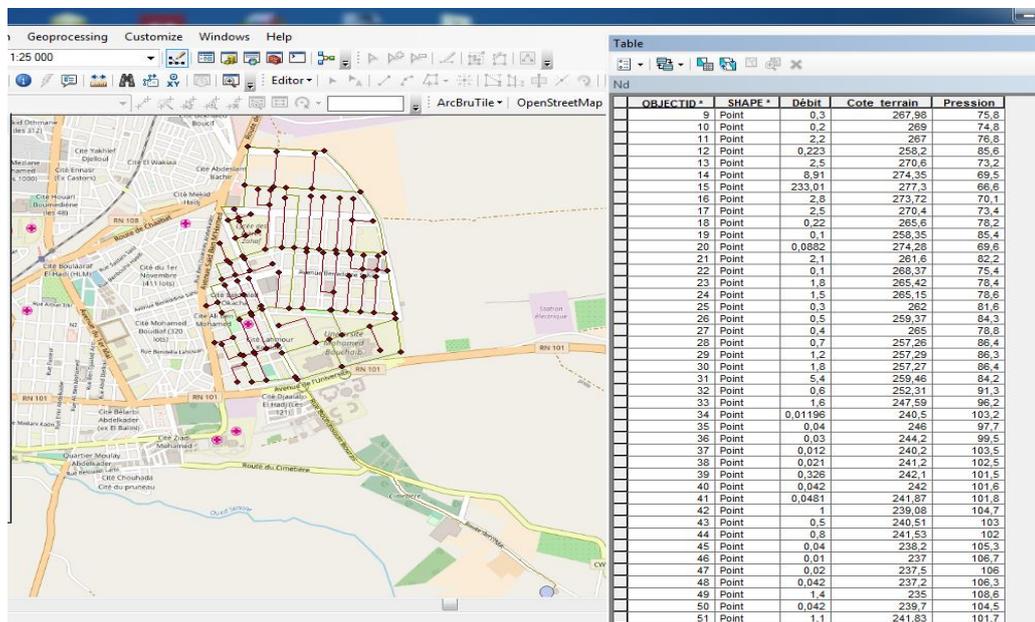


Figure 3.11 : Introduction des données au niveau des noeuds

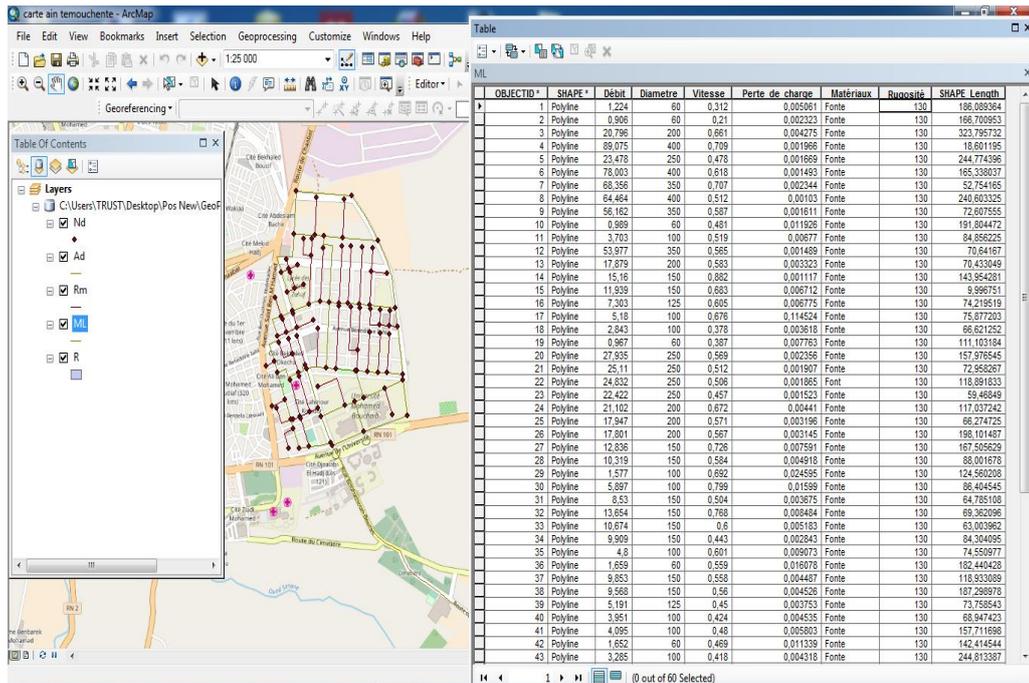


Figure3.12 : Introduction des données au niveau des tronçons

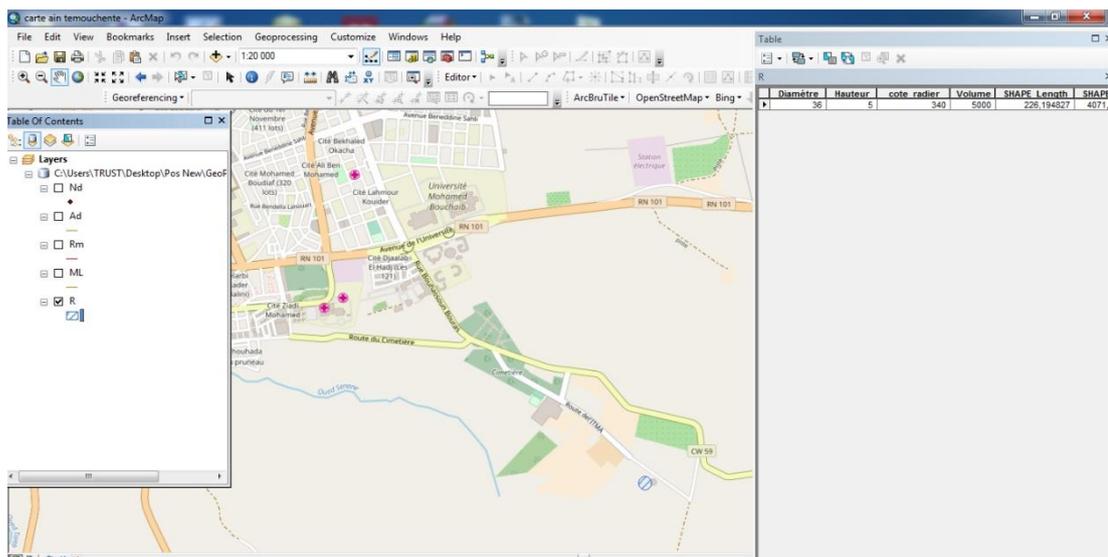


Figure3.13 : Introduction des données au niveau du réservoir

3.4.5. CARACTERISTIQUES DES TRONCONS

Après création de la base de données, nous pouvons dire que nous avons établi la caractérisation de chaque organe du réseau ; en un simple clic on peut avoir toutes les informations sur un tronçon, tel que le diamètre et la longueur, ainsi que ses coordonnées exactes sur terrain ; tel que le montre l'exemple de la figure ci-dessous.

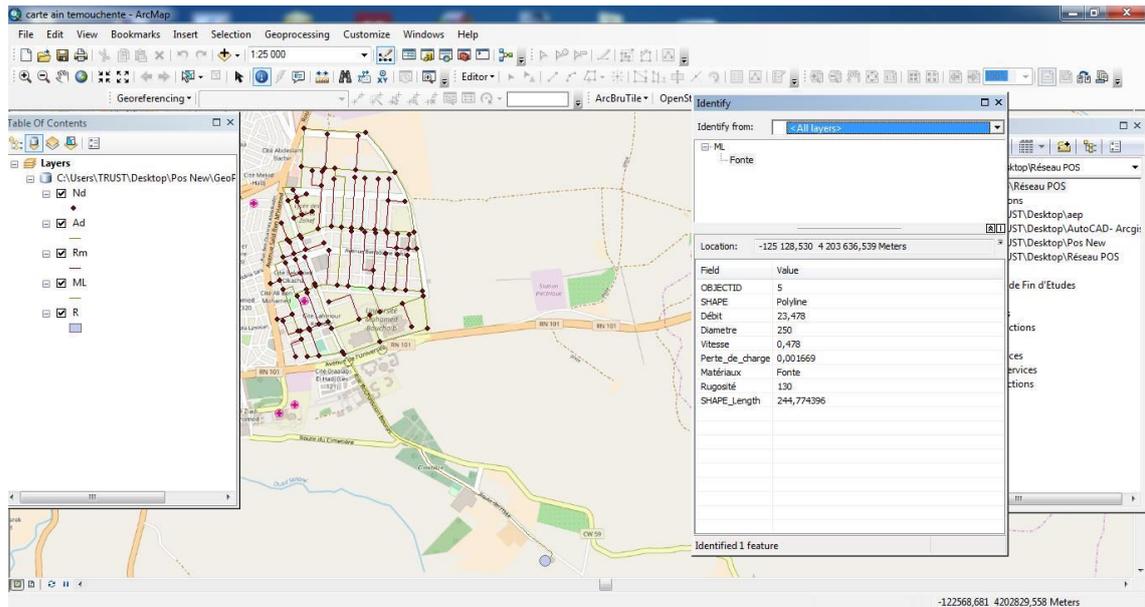


Figure3.14 : Exemple des caractéristiques hydrauliques d'un tronçon du réseau

Dans cette figure il s'agit des caractéristiques hydrauliques du tronçon A-108 de maille I (voir tableau ci-dessous).

Tableau 3. 3: Caractéristiques hydraulique d'un tronçon sous ArcGis

Tronçon	Longueur	Diamètre (mm)	Débits (l/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m)	Rugosité	matériau
A-108	244,77	250	23,478	0,478	0,001669	130	Fonte

3.4.6. CARACTERISTIQUES DU RESRVOIR

Nous avons également toutes les informations sur le réservoir, y compris ces coordonnées (figure et tableau ci-dessous).

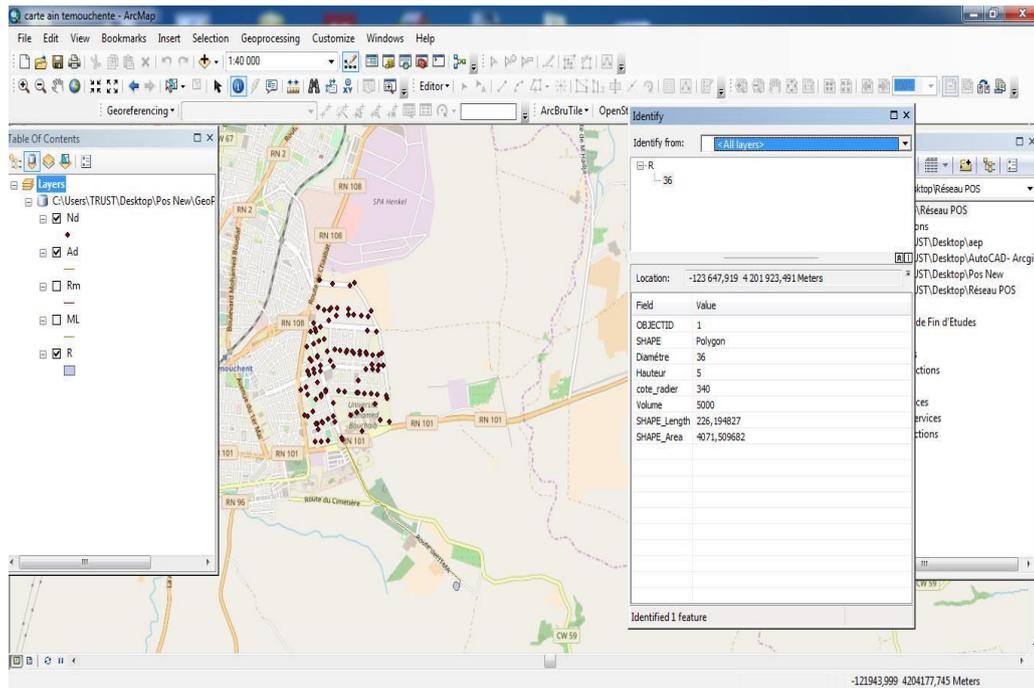


Figure3.15 : Caractéristiques hydrauliques du réservoir

Tableau 3. 4: Caractéristiques hydrauliques du réservoir sous ArcGis

Objectif	Diamètre (m)	Hauteur (m)	Cote radié (m)	Volume de stockage (m3)
Réservoir	36	5	340	5000

3.4.7. CARACTERISTIQUE DES NŒUDS

Il s'agit de connaître avec exactitude les caractéristiques d'écoulement en matière de pression et de vitesse, données directement au niveau des nœuds avec des coordonnées exactes.

Ci-dessous un exemple d'information sur les conditions d'écoulement pour un nœud du réseau (figure et tableau).

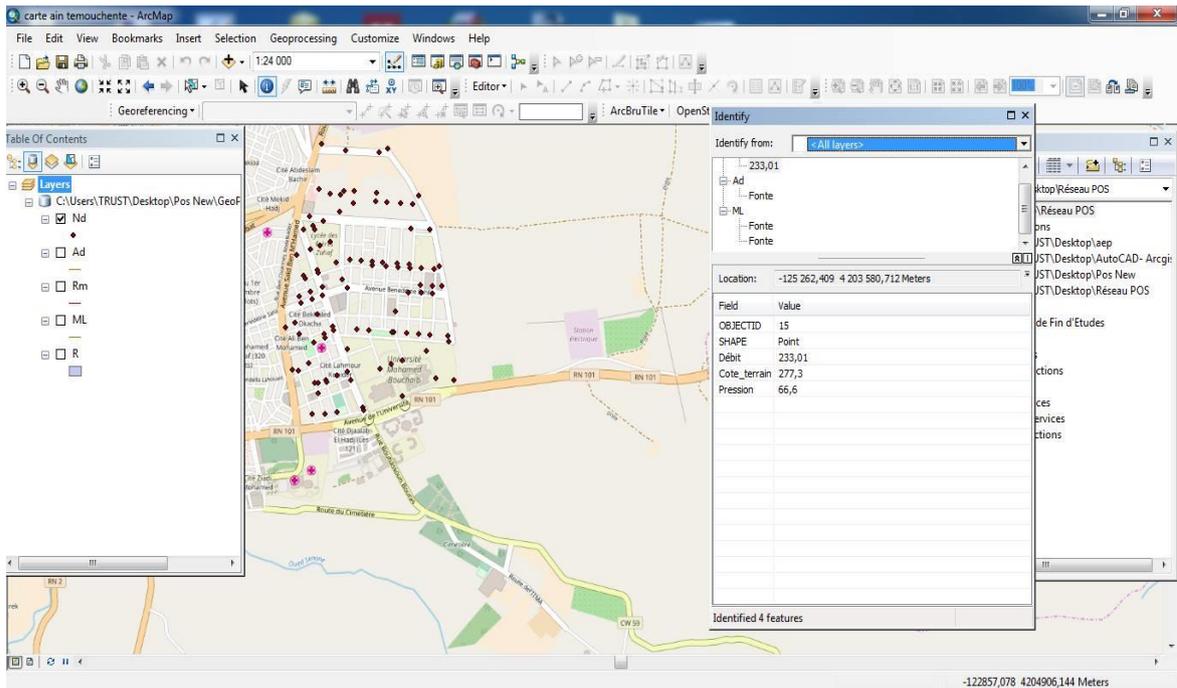


Figure 3. 16: Exemple des caractéristiques hydrauliques d'un nœud

Tableau 3.5 : Caractéristiques hydrauliques d'un nœud sous ArcGis

Nœud	Cote terrain (m)	Débit (l/s)	Pression (m)
A	255	233,01	66,6

2.8. CONCLUSION

A travers ce chapitre nous avons procédé au diagnostic du réseau actuel de la zone d'étude POS-SUD/EST 02 et nous avons procédé à son étude, en premier par la méthode par laquelle il a été dimensionné en l'occurrence la méthode arbitraire.

Par la suite, nous l'avons redimensionné par la méthode la plus utilisée dans le dimensionnement des réseaux, à savoir, la méthode de Hardy-Cross.

La comparaison entre les deux méthodes, a montré que notre redimensionnement donne des résultats plus fiables en matière de condition d'écoulement dans le réseau, ainsi que notre réseau redimensionné est plus économique.

Nous avons également dans ce chapitre effectué une contribution à la mise en place d'un système information géographique pour le réseau d'alimentation en eau potable de la zone étudiée, sous l'ArcGIS un des logiciels les plus performants dans le domaine de SIG.

Pour cela, nous avons géoréférencé la carte, calé le fichier AutoCAD sur la carte après l'avoir complété en utilisant Global Mapper, ensuite nous avons créé les bases de données pour toutes les composantes de notre réseau.

Le fichier SIG peut donner les informations réelles sur le réseau étudié, comme il permet de modifier les données en cas de changement.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

A travers cette étude, il a été clair que l'alimentation en eau potable de la population n'est pas une tâche simple. En fait, beaucoup d'étapes doivent être franchies pour atteindre cet objectif.

C'est dans ce contexte, que nous avons étudié le réseau d'AEP d'une partie de la ville d'Aïn Temouchent.

Pour cela, nous avons balayé par une étude bibliographique toutes les informations sur l'AEP, comme la constitution des réseaux et leurs composantes, les étapes de leurs études, ainsi que les modes de leurs gestions en utilisant les techniques d'actualité, en l'occurrence les systèmes d'information géographiques.

Nous sommes, par la suite, focalisé sur le réseau que nous avons opté pour cette étude ; il s'agit de celui alimentant la zone dite « Pos-Sud/Est 02 ». Celle-ci est une nouvelle zone urbaine, de l'extension d'Aïn Temouchent localisé dans la limite Sud/Est de la ville.

Le réseau d'AEP desservant cette zone est récemment réalisé, alimenté à partir du réservoir $2 \times 5000 \text{ m}^3$, dit réservoir ITMA. Le réseau en question est de type mixte, composé de 10 mailles et de plusieurs ramifications, en fonte ductile de différents diamètres PN16, il est donc neuf et en bonne état. Il a été dimensionné par la méthode de calcul dite arbitraire.

Vu que la méthode par laquelle a été dimensionné le réseau de cette zone est considérée comme simple et très simplifiée, nous avons jugé utile de redimensionner le réseau par une méthode plus détaillée, en l'occurrence, celle de Hardy-Cross, pour cela nous avons établi un programme de calcul sous le tableur Excel.

Nous avons, par la suite, simulé les résultats de calcul des deux méthodes (arbitraire et de Hardy-Cross) par le logiciel Epanet. La comparaison entre les deux résultats de simulation nous a montré que la méthode de dimensionnement par Hardy-Cross est plus fiable que celle de la méthode arbitraire, en effet, les conditions d'écoulement sont pratiquement vérifiées en totalité en dimensionnant par Hardy-Cross, contrairement à la méthode arbitraire où les conditions de pression et de vitesse ne sont pas vérifiées en plusieurs nœuds du réseau. En plus, il a été clair que le réseau étudié par la technique de Hardy-cross est beaucoup plus économique de la technique par laquelle le réseau a été dimensionné.

Ceci dit, la méthode de dimensionnement arbitraire reste une méthode simplifiée sur laquelle on ne peut pas se baser pour dimensionner des réseaux importants, l'utilisation de cette méthode dans notre cas est fort probable pour le gain dans le temps pour l'étude et la réalisation, avec des majorations vu l'importance de certains diamètres.

Egalement, dans ce travail nous avons mis en place un outil méthodologique, capable de gérer le réseau d'alimentation en eau potable à l'aide de la caractérisation géographique en utilisant un système information géographique.

Pour le faire, nous avons procédé à plusieurs étapes ; en allant du dessin AutoCAD, son complément en utilisant la balance entre le fichier image de GoogleEarth et Global Mapper, enfin en faisant appel à l'ArcGIS un des logiciels les plus performant du SIG.

La caractérisation du réseau par l'ArcGIS, que nous avons effectué est très importante, elle constitue une base pour la gestion du réseau. Pour le faire, nous avons au départ inséré la carte et la géo-référencée, ensuite nous avons calé notre réseau étudié sur la carte et enfin, nous avons créé la base de données pour le réseau que nous avons redimensionné.

Ainsi, pour chaque composante du réseau, principalement les tronçons, les nœuds et le réservoir, on peut avoir dans l'immédiat l'information utile en matière de localisation, caractéristiques du réseau ou de l'ouvrage, ou encore les conditions d'écoulement.

Cette caractérisation peut être modifié par l'opérateur en fonction des interactions que connaît le réseau quotidiennement, ainsi le réseau peut être géré en temps réel.

Enfin, ce travail reste une référence de point de vu dimensionnement des réseaux d'AEP, en plus il offre au gestionnaire un outil de contrôler le réseau est de le modifier en fonction des changements sur ce dernier.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] (ADE, 2017)
- [2] **Brière, F. G. (2012).** Distribution et collecte des eaux, Presses internationales Polytechnique.
- [3] **GODART, H.** Alimentation en eau potable, Ed. Techniques Ingénieur.
- [4] **Koch, P. (1960).** L'alimentation en eau des agglomérations, Dunod.
- [5] **Amiel-Cosme, L. (1995).** Les réseaux de distribution, L.G.D.J.
- [6] Expériences hydrauliques sur les lois de l'écoulement de l'eau à travers les orifices rectangulaires verticaux à grandes dimensions, Imprimerie royale. (1882)
- [7] **Cohen, G. (1996).** Modélisation des réseaux urbains: que peuvent apporter les méthodes mathématiques à la gestion et à la planification des réseaux urbains ?, CNRS Éditions.
- [9] **Fernandez, J. (2016).** Epanet et Coopération.: Conception et dimensionnement de réseaux d'eau potable par ordinateur, CreateSpace Independent Publishing Platform.
- [11] **Lasserre, F. (2012).** Gestion de l'eau, Presses de l'Université du Québec.
- [12] Améliorer la gestion de l'eau L'expérience récente de l'OCDE: L'expérience récente de l'OCDE, OECD Publishing.(2003)
- [13] **Breton, J. M. (2008).** Gestion des ressources en eau et développement local durable: Caraïbe, Amérique latine, Océan indien, Karthala.
- [14] **Pornon, H. (1992).** Les SIG: mise en oeuvre et applications, Hermès.
- [15] **Laurini, R. and F. Milleret-Raffort (1993).** Les bases de données en géomatique, Hermes.
- [16] **Statistique, N. U. D. d. (2004).** Manuel des systèmes d'information géographique et de cartographie numérique, Nations Unies.
- [17] **Roy, G. (2007).** Conception de bases de données avec UML, Presses de l'Université du Québec.
- [18] **Nguyen, D. H. and A. Meier (2006).** Introduction pratique aux bases de données relationnelles, Springer-Verlag France.
- [19] **Kovar, K., H. P. Nachtnebel, et al. (1996).** Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management: Proceedings of the Hydrogis'96 Conference Held in Vienna, Austria, from 16 to 19 April 1996, International Association of Hydrological Sciences.
- [20] **Malézieux, E., M. Trébuil, et al. (2001).** Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision, Quae.

[21] **GEeau, P.** Initiation à ArcGIS, Projet GEeau

[22] (DRE,2017)

Site Web :

[8] <https://www.numerama.com>(16/04/2018,15h30)

[10] <https://www.autodesk.com> (20/04/2018,17h)

ANNEXES
CHAPITRE 02
DESCRIPTION DE LA ZONE
D'ETUDE

Carte urbanistique de la zone d'étude

Tableau A2.1 : Besoin en eau de la population de la zone d'étude

Equipements	Nombre	Surface (m ²) / Personnes	Dotation (l/S ² /j) / (l/pers/j)	Besoin en eau (l/s)
Université	1	2280	378,19	9,980
Gendarmerie	1	908	9,51	0,100
APC	1	1052	8,2	0,100
PTT	1	697	12,3	0,099
Centre postal	1	800	10,8	0,100
Equipement administratifs	3	1633	15,8	0,299
Sièges de Douane	1	800	10,8	0,100
Sureté urbaine	1	908	9,5	0,100
Banque	2	2658	26,5	0,815
Hôtels	2	586	29,4	0,199
Gare routière	1	650	13,2	0,099
Ecoles Fondamentales	4	1980	87,2	1,998
Salle polyvalente	1	923	28	0,299
Centre sportif	1	1200	108	1,500
Centre de remise en forme	1	1330	32,4	0,499
Théâtre moderne	1	1350	6,4	0,100
Mosquée	2	5400	16	1,000
Crèche	1	900	48	0,500
Institut islamique	1	1439	30	0,500
Equipement de santé	1	1600	81	1,500
Polyclinique	1	1200	36	0,500
Centre de santé	3	1701	30,4	0,599
Ecole primaire	1	650	66,4	0,500
CEM	2	1445	59,7	0,998
Débit Total des équipements (l/s)				22,484

Tableau A2.2 : Diamètres et linéaire du réseau ramifié

Tronçon	Longueur(m)	Diamètre (m)
102 - 102'	313	100
105 - 105'	160,9	80
6 - 7	62,3	150
7 - 7'	220,2	80
7 - 8	70,9	100
8 - 8'	54,7	80
8 - 8"	220,2	80
2 - 2'	155,3	80
3 - 3'	164,3	80
4 - 4'	166,4	80
5 - 5'	101,9	80
15 - 16	55	100
16 - 16'	89,1	80
16 - 17	74,7	100
17 - 17'	89,1	80
17 - 17"	156,2	80
9 - 9'	223,9	100
10 - 10'	223,9	100
11 - 11'	224,2	100
12 - 13	115	150
13 - 13'	234,2	100
13 - 13"	312,7	100
14 - 14'	358,3	100
21 - 21'	64,2	80
22 - 23	70,1	100
23 - 23'	81,1	80
23 - 24	80,6	100
24 - 24'	126,2	80
24 - 24"	82	80
25 - 25'	116,2	80
18 - 18'	221,9	100
C' - C"	179,9	100
19 - 20	116,4	100
20 - 20'	91,1	80
20 - 20"	162,9	80
26 - 27	194,5	100
27 - 27'	134,5	80

27 - 27"	110,1	80
28 - 28'	329,1	100
29 - 29'	329,1	100
30 - 30'	329,1	100
34 - 35	118,9	80
35 - 35'	67,7	80
35 - 35"	94,1	80
36 - 37	58	100
37 - 37'	68,4	80
37 - 37"	56,9	80
31 - 31'	310	100
32 - 33	279	150
33 - 33'	94	80
33 - 33"	156,7	80
38 - 38'	222,7	150
43 - 43'	220,4	100

Tableau A2.3 : diamètres et linéaire du réseau maillé

Tronçon	Longueur(m)	Diamètre (m)
A - B'	18,6	600
B' - 101	165,3	600
101 - 102	187,3	200
102 - 103	73,8	200
103 - 108	186,1	80
108 - A	244,8	300
101 - 6	52,8	600
6 - C	240,6	600
C - 18	72,6	600
18 - D	70,6	600
D - 14	70,4	300
14 - 107	144,1	300
107 - 104	166,7	150
104 - 103	68,9	200
107 - 12	9,9	300
12-12	74,2	300
11-10	75,9	300
10-9	66,6	300
9 - E	111,1	300
E - 106	33,2	300
106 - 105	142,4	80
105 - 104	157,7	150
106 - F	212,8	300
F - 108	323,9	300
B' - 2	157,9	350

2 - G	73	350
G - 3	116	350
03-4	59,5	350
04-5	117	350
5 - H	167,1	350
H - 19	191,9	150
19 - C'	84,9	150
C' - C	22,4	150
D - J	378,2	400
J - 30	69,4	300
30 - 29	63	300
29 - 28	84,3	300
28 - 26	74,6	300
26 - I	182,4	300
I - 15	111,3	300
15 - E	275	300
18 - C	72,6	600
H - 21	66,3	350
21 - 22	201,5	350
22 - 25	163,4	350
25 - K	88,2	350
K - 32	124,7	200
32 - 31	86,7	200
31 - J	64,8	200
J - M	441,4	300
M - 38	134,3	200
38 - L	255,3	250
L - I	410,4	250
I -26	182,4	300
J -31	64,8	200
34 - 36	118,4	200
36 - N	351,9	200
N -43	150,3	200
43 - M	65	200
N - P	244,8	100
P - O	400,1	150
O - L	319,3	200

ANNEXES
CHAPITRE 03
MATERIELS ET METHODES

Tableau A3.1 : Longueurs des tronçons du réseau ramifié

Tronçon	Longueur
102 - 102'	313
105 - 105'	160,9
6 - 7	62,3
7 - 7'	220,2
7 - 8	70,9
8 - 8'	54,7
8 - 8"	220,2
2 - 2'	155,3
3 - 3'	164,3
4 - 4'	166,4
5 - 5'	101,9
15 - 16	55
16 - 16'	89,1
16 - 17	74,7
17 - 17'	89,1
17 - 17"	156,2
9 - 9'	223,9
10 - 10'	223,9
11 - 11'	224,2
12 - 13	115
13 - 13'	234,2
13 - 13"	312,7
14 - 14'	358,3
21 - 21'	64,2
22 - 23	70,1
23 - 23'	81,1
23 - 24	80,6
24 - 24'	126,2
24 - 24"	82
25 - 25'	116,2
18 - 18'	221,9
C' - C"	179,9
19 - 20	116,4
20 - 20'	91,1
20 - 20"	162,9
26 - 27	194,5
27 - 27'	134,5
27 - 27"	110,1
28 - 28'	329,1
29 - 29'	329,1
30 - 30'	329,1
34 - 35	118,9
35 - 35'	67,7
35 - 35"	94,1
36 - 37	58
37 - 37'	68,4
37 - 37"	56,9
31 - 31'	310

32 – 33	279
33 - 33'	94
33 - 33"	156,7
38 - 38'	222,7
43 - 43'	220,4

Tableau A3.2 : Longueurs des tronçons du réseau maillé

Maille	Tronçons	Longueurs (ml)
I	A - B'	18,6
	B' – 101	165,3
	101 – 102	187,3
	102 – 103	73,8
	103 – 108	186,1
	108 – A	244,8
I'	101 – 6	52,8
	6 – C	240,6
	C - 18	72,6
	18 - D	70,6
	D - 14	70,4
	14 - 107	144,1
	107 - 104	166,7
	104 - 103	68,9
	103 - 102	73,8
	102 - 101	187,3
I''	107 - 12	9,9
	12 - 11	74,2
	11 - 10	75,9
	10 - 9	66,6
	9 - E	111,1
	E - 106	33,2
	106 - 105	142,4

	105 - 104	157,7
	104- 107	166,7
I''	108 - 103	186,1
	103 - 104	68,9
	104 - 105	157,7
	105 - 106	142,4
	106 - F	212,8
	F - 108	323,9
II	B' - 2	157,9
	2 - G	73
	G - 3	116
	3 - 4	59,5
	4 - 5	117
	5 - H	167,1
	H - 19	191,9
	19 - C'	84,9
	C' - C	22,4
	C - 6	240,6
	6 -101	52,8
	101-B'	165,3
	III	D - J
J - 30		69,4
30 - 29		63
29 - 28		84,3
28 - 26		74,6
26 - I		182,4
I - 15		111,3
15 - E		275
E - 9		111,1

	9 - 10	66,6
	10 - 11	75,9
	11 - 12	74,2
	12 - 107	9,9
	107 - 14	144,1
	14 - D	70,4
IV	D - 18	70,6
	18 - C	72,6
	C - C'	22,4
	C'-19	84,9
	19-H	191,9
	H - 21	66,3
	21 - 22	201,5
	22 - 25	163,4
	25 - K	88,2
	K - 32	124,7
	32 - 31	86,7
	31 - J	64,8
	J-D	378,2
V	J - M	441,4
	M - 38	134,3
	38 - L	255,3
	L - I	410,4
	I -26	182,4
	26 - 28	74,6
	28 - 29	84,3
	29 - 30	63
	30- J	69,4
VI	J -31	64,8

	31 - 32	86,7
	32 - K	124,7
	K - 34	118,9
	34 - 36	118,4
	36 - N	351,9
	N -43	150,3
	43 - M	65
	M- J	441,4
VII	N - P	244,8
	P - O	400,1
	O - L	319,3
	L -38	255,3
	38 - M	134,3
	M - 43	65
	43 -N	150,3

Tableau A3.3 : Calcul des débits aux nœuds en fonction des débits arbitraires

Nœuds	Tronçon	Longueurs(m)	Qs(l/s/ml)	Diamètres(mm)	Qr (l/s)	Débits aux nœuds (l/s)
R-A	R-A					
A	A-B'	18,6	0,0225496	600	0,419422	2,969778156
	A-108	244,8	0,0225496	300	5,5201343	
B'	B'-2	157,9	0,0225496	350	3,5605768	3,853721237
	B'-101	165,3	0,0225496	600	3,7274437	
	B'-A	18,6	0,0225496	600	0,419422	
101	101-B'	157,9	0,0225496	600	3,5605768	4,487364108
	101-102	187,3	0,0225496	200	4,2235342	
	101-6	52,8	0,0225496	600	1,1906172	
6	6-101	52,8	0,0225496	600	1,1906172	4,010440737
	6_7	62,3	0,0225496	150	1,4048381	

	6-C	240,6	0,0225496	600	5,4254262	
C	C-6	240,6	0,0225496	600	5,4254262	3,783817575
	C-C'	22,4	0,0225496	150	0,5051103	
	C-18	72,6	0,0225496	600	1,6370987	
18	18-C	72,6	0,0225496	600	1,6370987	4,116423708
	18-D	70,6	0,0225496	600	1,5919995	
	18-18'	221,9	0,0225496	100	5,0037492	
D	D-14	70,4	0,0225496	300	1,5874896	5,853867952
	D-J	378,2	0,0225496	400	8,5282468	
	D-18	70,6	0,0225496	600	1,5919995	
14	14-14'	358,3	0,0225496	100	8,0795104	6,458196385
	14 - 107	144,1	0,0225496	300	3,2493928	
	14-D	70,4	0,0225496	300	1,5874896	
12	107 - 12	9,9	0,0225496	300	0,2232407	2,243794802
	12_13	115	0,0225496	150	2,5932004	
	12_11	74,11	0,0225496	300	1,6711485	
13	13_12	115	0,0225496	150	2,5932004	6,780655213
	13_13'	243,2	0,0225496	100	5,484055	
	13_13"	243,2	0,0225496	100	5,484055	
11	11_12	74,2	0,0225496	300	1,673178	4,220151723
	11_11'	224,2	0,0225496	100	5,0556132	
	11_10	75,9	0,0225496	300	1,7115122	
10	10_11	75,9	0,0225496	300	1,7115122	4,131080928
	10_10'	223,9	0,0225496	100	5,0488484	
	10_9	66,6	0,0225496	300	1,5018013	
9	9_10	66,6	0,0225496	300	1,5018013	4,527953331
	9-E	111,1	0,0225496	300	2,505257	
	9-9'	223,9	0,0225496	100	5,0488484	
E	E-106	33,2	0,0225496	300	0,7486457	4,727517011

	E-9	111,1	0,0225496	300	2,505257	
	E-15	275	0,0225496	300	6,2011313	
106	106-E	33,2	0,0225496	300	0,7486457	4,380253658
	106-F	212,8	0,0225496	300	4,7985482	
	106-105	142,5	0,0225496	80	3,2133135	
F	F-106	212,8	0,0225496	300	4,7985482	6,051176675
	F-108	323,9	0,0225496	300	7,3038052	
108	108-F	323,9	0,0225496	300	7,3038052	8,510207107
	108-A	244,8	0,0225496	300	5,5201343	
	108-103	186,1	0,0225496	80	4,1964747	
105	105-106	142,4	0,0225496	80	3,2110585	5,16385116
	105-105'	160,9	0,0225496	80	3,6282256	
	105-104	154,7	0,0225496	150	3,4884182	
104	104-107	166,7	0,0225496	150	3,759013	4,40054827
	104-105	154,7	0,0225496	150	3,4884182	
	104-103	68,9	0,0225496	200	1,5536653	
103	103-104	68,9	0,0225496	200	1,5536653	3,707149042
	103-108	186,1	0,0225496	80	4,1964747	
	103-102	73,8	0,0225496	200	1,6641581	
102	102-102'	313	0,0225496	100	7,0580149	6,472853604
	102-103	73,8	0,0225496	200	1,6641581	
	102-101	187,3	0,0225496	200	4,2235342	
2	2-B'	157,9	0,0225496	350	3,5605768	4,354321655
	2-G	73	0,0225496	350	1,6461185	
	2-2'	155,3	0,0225496	80	3,501948	
G	G-3	116	0,0225496	350	2,6157499	2,130934212
	G-2	73	0,0225496	350	1,6461185	
3	3-G	116	0,0225496	350	2,6157499	3,831171668
	3-3'	164,3	0,0225496	80	3,7048941	

	3_4	59,5	0,0225496	350	1,3416993	
4	4_3	59,5	0,0225496	350	1,3416993	3,866123499
	4-4'	166,4	0,0225496	80	3,7522482	
	4_5	117	0,0225496	350	2,6382995	
5	5_H	167,9	0,0225496	350	3,7860725	4,361086525
	5-5'	101,9	0,0225496	80	2,297801	
	5_4	117	0,0225496	350	2,6382995	
7	7_6	62,3	0,0225496	150	1,4048381	3,984508733
	7-7'	220,2	0,0225496	80	4,965415	
	7_8	70,9	0,0225496	100	1,5987644	
8	8_7	70,9	0,0225496	100	1,5987644	3,898820373
	8-8"	220,2	0,0225496	80	4,965415	
	8-8'	54,7	0,0225496	80	1,2334614	
C'	C'-C	22,4	0,0225496	150	0,5051103	2,785999174
	C'-C"	179,9	0,0225496	100	4,0566674	
	C'-19	44,8	0,0225496	150	1,0102207	
19	19-20	22,4	0,0225496	150	0,5051103	5,12100698
	19-C'	179,9	0,0225496	100	4,0566674	
	19-H	251,9	0,0225496	150	5,6802363	
20	20-19	116,4	0,0225496	100	2,6247698	4,176180064
	20-20'	91,1	0,0225496	80	2,0542657	
	20-20"	162,9	0,0225496	80	3,6733247	
H	H-21	66,3	0,0225496	350	1,4950364	5,573125826
	H-19	251,9	0,0225496	150	5,6802363	
	H-5	176,1	0,0225496	350	3,970979	
21	21-H	66,3	0,0225496	350	1,4950364	3,743228351
	21-22	201,5	0,0225496	350	4,543738	
	21-21'	64,2	0,0225496	80	1,4476823	
22	22-23	70,1	0,0225496	100	1,5807247	4,904531123

	22-21	201,5	0,0225496	350	4,543738	
	22-25	163,4	0,0225496	350	3,6845995	
23	23-22	70,1	0,0225496	100	1,5807247	2,613494975
	23-23'	81,1	0,0225496	80	1,82877	
	23-24	80,6	0,0225496	100	1,8174952	
24	24-24'	126,2	0,0225496	80	2,8457555	3,256157674
	24-24"	82	0,0225496	80	1,8490646	
	24-23	80,6	0,0225496	100	1,8174952	
25	25-22	163,4	0,0225496	350	3,6845995	4,146865625
	25-25'	116,2	0,0225496	80	2,6202598	
	25-K	88,2	0,0225496	350	1,9888719	
15	15-E	275	0,0225496	300	6,2011313	4,975562264
	15-16	55	0,0225496	100	1,2402263	
	15-I	111,3	0,0225496	300	2,509767	
16	16-15	55	0,0225496	100	1,2402263	2,466922781
	16-17	74,7	0,0225496	100	1,6844528	
	16-16'	89,1	0,0225496	80	2,0091665	
17	17-17'	89,1	0,0225496	80	2,0091665	3,607930941
	17-17"	156,2	0,0225496	80	3,5222426	
	17-16	74,7	0,0225496	100	1,6844528	
I	I-L	134,3	0,0225496	250	3,028407	4,825607634
	I-26	182,4	0,0225496	300	4,1130413	
	I-15	111,3	0,0225496	300	2,509767	
26	26-27	134,3	0,0225496	100	3,028407	4,411823054
	26-I	182,4	0,0225496	300	4,1130413	
	26-28	74,6	0,0225496	100	1,6821978	
27	27-27"	110,1	0,0225496	80	2,4827075	4,950757738
	27-27'	134,5	0,0225496	80	3,0329169	
	27-26	194,5	0,0225496	100	4,3858911	

28	28-26	74,6	0,0225496	300	1,6821978	5,502094685
	28-28'	329,1	0,0225496	100	7,421063	
	28-29	84,3	0,0225496	300	1,9009286	
29	29-28	74,6	0,0225496	300	1,6821978	5,502094685
	29-29'	329,1	0,0225496	100	7,421063	
	29-30	84,3	0,0225496	300	1,9009286	
30	30-29	63	0,0225496	300	1,4206228	5,203312904
	30-30'	329,1	0,0225496	100	7,421063	
	30-J	69,4	0,0225496	300	1,56494	
J	J-30	69,4	0,0225496	300	1,56494	6,48976578
	J-M	441,4	0,0225496	300	9,9533795	
	J-31	64,8	0,0225496	200	1,461212	
31	31-J	64,8	0,0225496	200	1,461212	5,203312904
	31-31'	310	0,0225496	100	6,9903662	
	31-31	86,7	0,0225496	200	1,9550476	
32	32-31	86,7	0,0225496	200	1,9550476	5,529154167
	32-33	279	0,0225496	150	6,2913296	
	32-K	124,7	0,0225496	200	2,8119312	
33	33-32	279	0,0225496	150	6,2913296	5,972253186
	33-33'	94	0,0225496	80	2,1196594	
	33-33"	156,7	0,0225496	80	3,5335174	
K	K-25	88,2	0,0225496	350	1,9888719	3,740973395
	K-32	124,7	0,0225496	200	2,8119312	
	K-34	118,9	0,0225496	200	2,6811437	
34	34-35	58,7	0,0225496	100	1,3236597	3,337336121
	34-36	118,4	0,0225496	200	2,6698689	
	34-K	118,9	0,0225496	200	2,6811437	
35	35-35'	67,7	0,0225496	80	1,5266058	2,486089914
	35-35"	94,1	0,0225496	80	2,1219144	

	35-34	58,7	0,0225496	100	1,3236597	
36	36-37	58	0,0225496	100	1,307875	5,956468488
	36-34	118,4	0,0225496	200	2,6698689	
	36-N	351,9	0,0225496	200	7,9351931	
37	37-37'	68,9	0,0225496	80	1,5536653	2,072305334
	37-36	58	0,0225496	100	1,307875	
	37-37"	56,9	0,0225496	80	1,2830704	
N	N-36	351,9	0,0225496	200	7,9351931	8,422263791
	N-P	244,8	0,0225496	100	5,5201343	
	N-43	150,3	0,0225496	200	3,3892001	
43	43-43'	220,4	0,0225496	100	4,9699249	4,912423472
	43-N	150,3	0,0225496	200	3,3892001	
	43-M	65	0,0225496	200	1,4657219	
M	M-43	65	0,0225496	200	1,4657219	7,223754231
	M-38	134,3	0,0225496	200	3,028407	
	M-J	441,4	0,0225496	300	9,9533795	
38	38-M	134,3	0,0225496	200	3,028407	6,90355036
	38-38'	222,7	0,0225496	150	5,0217889	
	38-L	255,3	0,0225496	200	5,7569048	
L	L-38	255,3	0,0225496	200	5,7569048	7,992694513
	L-I	134,3	0,0225496	250	3,028407	
	L-O	319,3	0,0225496	200	7,2000772	
O	O-L	319,3	0,0225496	200	7,2000772	8,111079747
	O-P	400,1	0,0225496	150	9,0220823	
P	O-P	400,1	0,0225496	150	9,0220823	7,271108325
	P-N	244,8	0,0225496	100	5,5201343	
2'	2'-2	155,3	0,0225496	80	3,501948	1,750973985
3'	3'-3	164,3	0,0225496	80	3,7048941	1,852447043
4'	4'-4	166,4	0,0225496	80	3,7522482	1,876124089

5'	5'-5	101,9	0,0225496	80	2,297801	1,148900509
7'	7'-7	220,2	0,0225496	80	4,965415	2,482707479
8'	8'-8	54,7	0,0225496	80	1,2334614	0,616730695
8"	8"-8	220,2	0,0225496	80	4,965415	2,482707479
9'	9'-9	223,9	0,0225496	100	5,0488484	2,52442418
10'	10'-10	223,9	0,0225496	100	5,0488484	2,52442418
11'	11'-11	224,2	0,0225496	100	5,0556132	2,527806616
13'	13'-13	243,2	0,0225496	100	5,484055	2,742027515
13"	13"-13	243,2	0,0225496	100	5,484055	2,742027515
14'	14'-14	358,3	0,0225496	100	8,0795104	4,039755176
16'	16'-16	89,1	0,0225496	80	2,0091665	1,004583271
17'	17'-17	89,1	0,0225496	80	2,0091665	1,004583271
17"	17"-17	156,2	0,0225496	80	3,5222426	1,761121291
18'	18'-18	221,9	0,0225496	100	5,0037492	2,501874612
20'	20'-20	91,1	0,0225496	80	2,0542657	1,02713284
20"	20"-20	91,1	0,0225496	80	2,0542657	1,02713284
C"	C"-C'	179,9	0,0225496	100	4,0566674	2,028333676
21'	21'-21	64,2	0,0225496	80	1,4476823	0,723841145
23'	23'-23	81,1	0,0225496	80	1,82877	0,914384998
24'	24'-24	126,2	0,0225496	80	2,8457555	1,422877765
24"	24"-24	82	0,0225496	80	1,8490646	0,924532304
25'	25'-25	116,2	0,0225496	80	2,6202598	1,310129923
27'	27'-27	134,5	0,0225496	80	3,0329169	1,516458474
27"	27"-27	110,1	0,0225496	80	2,4827075	1,241353739
28'	28'-28	329,1	0,0225496	100	7,421063	3,710531477
29'	29'-29	329,1	0,0225496	100	7,421063	3,710531477
30'	30'-30	329,1	0,0225496	100	7,421063	3,710531477
31'	31'-31	310	0,0225496	100	6,9903662	3,495183099
33'	33'-33	94	0,0225496	80	2,1196594	1,059829714

33"	33"-33	156,7	0,0225496	80	3,5335174	1,766758683
35'	35'-35	67,7	0,0225496	80	1,5266058	0,76330289
35"	35"-35	94,1	0,0225496	80	2,1219144	1,060957192
37'	37'-37	68,9	0,0225496	80	1,5536653	0,776832631
37"	37"-37	56,9	0,0225496	80	1,2830704	0,64153522
38'	38'-38	222,7	0,0225496	150	5,0217889	2,510894439
43'	43'-43	220,4	0,0225496	100	4,9699249	2,484962436
102'	102'-102	313	0,0225496	100	7,0580149	3,529007452
107	107 - 12	9,9	0,0225496	300	0,2232407	3,61582329
	14 - 107	144,1	0,0225496	300	3,2493928	
	107-104	166,7	0,0225496	150	3,759013	
105'	105'-105	160,9	0,0225496	80	3,6282256	1,814112776

Tableau A3.4 : Débit calculés et corrigés avec la méthode de Hardy Cross au niveau du réseau maillé

N° maille	Tronçon	Longueur(m)	Sens	D _{Cal} (m)	D _N (mm)	Q (m3/s)	P	Qs	
I	A - B'	18,6	+1	0,337	400	0,00025	0,162	0,089	89,075
	B' - 101	165,3	+1	0,316	400	0,00222	0,138	0,078	78,259
	101 - 102	187,3	+1	0,116	150	0,00251	0,015	0,011	10,509
	102 - 103	73,8	+1	0,088	125	0,00099	0,009	0,006	6,131
	103 - 108	186,1	-1	0,056	60	0,00250	0,000	-0,002	-2,497
	108 - A	244,8	-1	0,173	250	0,00328	0,037	-0,023	-23,478
I'	101 - 6	52,8	+1	0,295	350	0,00071	0,123	0,068	68,279
	6 - C	240,6	+1	0,286	400	0,00323	0,111	0,064	64,386
	C - 18	72,6	+1	0,265	350	0,00097	0,099	0,055	55,327
	18 - D	70,6	+1	0,260	350	0,00095	0,095	0,053	53,141
	D - 14	70,4	+1	0,147	200	0,00094	0,029	0,017	17,055
	14 - 107	144,1	+1	0,135	150	0,00193	0,023	0,014	14,337
	107 - 104	166,7	-1	0,053	60	0,00224	0,000	-0,002	-2,237
	104 - 103	68,9	-1	0,084	100	0,00092	0,008	-0,006	-5,557
	103 - 102	73,8	-1	0,088	125	0,00099	0,009	-0,006	-6,131
102 - 101	187,3	-1	0,116	150	0,003	0,015	-0,011	-10,509	
I''	107 - 12	9,9	+1	0,126	150	0,00013	0,022	0,012	12,463
	12 - 11	74,2	+1	0,100	125	0,00100	0,012	0,008	7,827
	11 - 10	75,9	+1	0,085	100	0,00102	0,009	0,006	5,703
	10 - 9	66,6	+1	0,065	100	0,00089	0,004	0,003	3,366
	9 - E	111,1	+1	0,044	60	0,00149	0,000	0,001	1,491
	E - 106	33,2	-1	0,138	150	0,00045	0,027	-0,015	-15,060
	106 - 105	142,4	-1	0,049	60	0,00191	0,000	-0,002	-1,911

	105 - 104	157,7	-1	0,074	100	0,00212	0,004	-0,004	-4,354
	104 - 107	166,7	+1	0,053	60	0,00224	0,000	0,002	2,237
I'''	108 - 103	186,1	+1	0,056	60	0,00250	0,000	0,002	2,497
	103 - 104	68,9	+1	0,084	100	0,000925	0,008	0,006	5,557
	104 - 105	157,7	+1	0,074	100	0,002116	0,004	0,004	4,354
	105 - 106	142,4	+1	0,049	60	0,001911	0,000	0,002	1,911
	106 - F	212,8	-1	0,150	200	0,002855	0,027	-0,018	-17,715
	F - 108	323,9	-1	0,163	200	0,004346	0,030	-0,021	-20,776
II	B' - 2	157,9	+1	0,189	250	0,00212	0,047	0,028	27,935
	2 - G	73	+1	0,179	250	0,00098	0,044	0,025	25,111
	G - 3	116	+1	0,178	250	0,00156	0,042	0,025	24,832
	3 - 4	59,5	+1	0,169	250	0,00080	0,039	0,022	22,422
	4 - 5	117	+1	0,164	200	0,00157	0,036	0,021	21,102
	5 - H	167,1	+1	0,159	200	0,00224	0,032	0,020	19,789
	H - 19	191,9	-1	0,057	60	0,00257	0,000	-0,003	-2,575
	19 - C'	84,9	-1	0,082	100	0,00114	0,008	-0,005	-5,289
	C' - C	22,4	-1	0,090	125	0,00030	0,011	-0,006	-6,405
	C - 6	240,6	-1	0,286	400	0,00323	0,111	-0,064	-64,386178
	6 - 101	52,8	-1	0,295	350	0,00071	0,123	-0,068	-68,278797
	101 - B'	165,3	-1	0,316	400	0,00222	0,138	-0,078	-78,258551
III	D - J	378,2	+1	0,221	250	0,00507	0,060	0,038	38,325
	J - 30	69,4	+1	0,136	150	0,00093	0,025	0,014	14,442
	30 - 29	63	+1	0,121	150	0,00085	0,019	0,011	11,462
	29 - 28	84,3	+1	0,105	150	0,00113	0,014	0,009	8,697
	28 - 26	74,6	+1	0,084	100	0,00100	0,008	0,006	5,588
	26 - I	182,4	+1	0,056	60	0,00245	0,000	0,002	2,448
	I - 15	111,3	-1	0,112	150	0,00149	0,015	-0,010	-9,832
	15 - E	275	-1	0,144	200	0,00369	0,023	-0,016	-16,275
	E - 9	111,1	-1	0,044	60	0,00149	0,000	-0,001	-1,491
	9 - 10	66,6	-1	0,065	100	0,00089	0,004	-0,003	-3,366
	10 - 11	75,9	-1	0,085	100	0,00102	0,009	-0,006	-5,703
	11 - 12	74,2	-1	0,100	125	0,00100	0,012	-0,008	-7,827
	12 - 107	9,9	-1	0,126	150	0,00013	0,022	-0,012	-12,463
	107 - 14	144,1	-1	0,135	150	0,00193	0,023	-0,014	-14,337
14 - D	70,4	-1	0,147	200	0,00094	0,029	-0,017	-17,055	
IV	D - 18	70,6	+1	0,260	350	0,00095	0,095	0,053	53,141
	18 - C	72,6	+1	0,265	350	0,00097	0,099	0,055	55,327
	C - C'	22,4	+1	0,090	125	0,00030	0,011	0,006	6,405
	C' - 19	84,9	+1	0,082	100	0,00114	0,008	0,005	5,289
	19 - H	191,9	+1	0,057	60	0,00257	0,000	0,003	2,575
	H - 21	66,3	+1	0,151	200	0,00089	0,031	0,018	17,947
	21 - 22	201,5	+1	0,151	200	0,00270	0,027	0,018	17,801
	22 - 25	163,4	+1	0,128	150	0,00219	0,019	0,013	12,836
	25 - K	88,2	+1	0,115	150	0,00118	0,017	0,010	10,319
	K - 32	124,7	-1	0,046	60	0,00167	0,000	-0,002	-1,673
	32 - 31	86,7	-1	0,087	100	0,00116	0,009	-0,006	-5,993
	31 - J	64,8	-1	0,105	150	0,00087	0,014	-0,009	-8,627
J - D	378,2	-1	0,221	300	0,00507	0,060	-0,038	-38,325	
V	J - M	441,4	+1	0,132	150	0,00592	0,0141	0,014	13,657
	M - 38	134,3	+1	0,082	100	0,00180	0,006	0,005	5,330

	38 - L	255,3	+1	0,066	100	0,00343	0,000	0,003	3,426
	L - I	410,4	-1	0,133	150	0,00551	0,015	-0,014	-13,845
	I -26	182,4	-1	0,056	60	0,00245	0,000	-0,002	-2,448
	26 - 28	74,6	-1	0,084	100	0,00100	0,008	-0,006	-5,588
	28 - 29	84,3	-1	0,105	150	0,00113	0,014	-0,009	-8,697
	29 - 30	63	-1	0,121	150	0,00085	0,019	-0,011	-11,462
	30 - J	69,4	-1	0,136	200	0,00093	0,025	-0,014	-14,442
VI	J -31	64,8	+1	0,105	150	0,00087	0,0141	0,009	8,627
	31 - 32	86,7	+1	0,087	100	0,00116	0,009	0,006	5,993
	32 - K	124,7	+1	0,046	60	0,00167	0,000	0,002	1,673
	K - 34	118,9	+1	0,112	150	0,00160	0,015	0,010	9,853
	34 - 36	118,4	+1	0,097	125	0,00159	0,010	0,007	7,345
	36 - N	351,9	+1	0,091	125	0,00472	0,003	0,007	6,529
	N -43	150,3	-1	0,051	60	0,00202	0,000	-0,002	-2,017
	43 - M	65	-1	0,068	100	0,00087	0,005	-0,004	-3,608
VII	M - J	441,4	-1	0,132	150	0,00592	0,014	-0,014	-13,657
	N - P	244,8	+1	0,065	100	0,00328	0,000	0,003	3,285
	P - O	400,1	-1	0,083	100	0,00537	0,000	-0,005	-5,369
	O - L	319,3	-1	0,096	125	0,00428	0,00537	-0,007	-7,237
	L -38	255,3	-1	0,066	100	0,00343	0,000	-0,003	-3,426
	38 - M	134,3	-1	0,082	100	0,00180	0,006	-0,005	-5,330
	M - 43	65	+1	0,068	100	0,00087	0,005	0,004	3,608
	43 -N	150,3	+1	0,051	60	0,00202	0,000	0,002	2,017

Tableau A3.5 : Les débits calculés et corrigés avec ma méthode de Hardy Cross au niveau du réseau ramifié

Tronçon	Longueur(m)	Sens	D _{Cal} (m)	D _N (mm)	Q	P	Qs	
102 - 102'	313	+1	0,073	100	0,00420	0,000	0,004	4,200
105 - 105'	160,9	+1	0,042	60	0,00137	0,000	0,001	1,367
6 - 7	62,3	+1	0,083	100	0,00084	0,008	0,005	5,417
7 - 7'	220,2	+1	0,061	100	0,00295	0,000	0,003	2,955
7 - 8	70,9	+1	0,062	100	0,00095	0,004	0,003	2,980
8 - 8'	54,7	+1	0,031	60	0,00073	0,000	0,001	0,734
8 - 8"	220,2	+1	0,061	60	0,00295	0,000	0,003	2,955
2 - 2'	155,3	+1	0,052	60	0,00208	0,000	0,002	2,084
3 - 3'	164,3	+1	0,053	60	0,00220	0,000	0,002	2,205
4 - 4'	166,4	+1	0,053	60	0,00223	0,000	0,002	2,233
5 - 5'	101,9	+1	0,042	60	0,00137	0,000	0,001	1,367
15 - 16	55	+1	0,069	100	0,00074	0,005	0,004	3,757
16 - 16'	89,1	+1	0,039	60	0,00120	0,000	0,001	1,196
16 - 17	74,7	+1	0,060	100	0,00100	0,003	0,003	2,813
17 - 17'	89,1	+1	0,039	60	0,00120	0,000	0,001	1,196
17 - 17"	156,2	+1	0,052	60	0,00210	0,000	0,002	2,096

9 - 9'	223,9	+1	0,062	100	0,00300	0,000	0,003	3,004
10 - 10'	223,9	+1	0,062	100	0,00300	0,000	0,003	3,004
11 - 11'	224,2	+1	0,062	100	0,00301	0,000	0,003	3,008
12 - 13	115	+1	0,085	100	0,00154	0,007	0,006	5,646
13 - 13'	234,2	+1	0,064	100	0,00326	0,000	0,003	3,263
13 - 13"	312,7	+1	0,073	100	0,00420	0,000	0,004	4,196
14 - 14'	358,3	+1	0,078	100	0,00481	0,000	0,005	4,808
21 - 21'	64,2	+1	0,033	60	0,00086	0,000	0,001	0,861
22 - 23	70,1	+1	0,068	100	0,00094	0,005	0,004	3,671
23 - 23'	81,1	+1	0,037	60	0,00109	0,000	0,001	1,088
23 - 24	80,6	+1	0,058	100	0,00108	0,003	0,003	2,618
24 - 24'	126,2	+1	0,046	60	0,00169	0,000	0,002	1,693
24 - 24"	82	+1	0,037	60	0,00110	0,000	0,001	1,100
25 - 25'	116,2	+1	0,045	60	0,00156	0,000	0,002	1,559
18 _ 18'	221,9	+1	0,062	100	0,00298	0,000	0,003	2,978
C' - C"	179,9	+1	0,055	100	0,00241	0,000	0,002	2,414
19 - 20	116,4	+1	0,066	100	0,00156	0,003	0,003	3,436
20 - 20'	91,1	+1	0,039	60	0,00122	0,000	0,001	1,222
20 - 20"	162,9	+1	0,053	100	0,00219	0,000	0,002	2,186
26 - 27	194,5	+1	0,075	100	0,00261	0,003	0,004	4,415
27 - 27'	134,5	+1	0,048	60	0,00180	0,000	0,002	1,805
27 - 27"	110,1	+1	0,043	60	0,00148	0,000	0,001	1,477
28 - 28'	329,1	+1	0,075	100	0,00442	0,000	0,004	4,416
29 - 29'	329,1	+1	0,075	100	0,00442	0,000	0,004	4,416
30 - 30'	329,1	+1	0,075	100	0,00442	0,000	0,004	4,416
34 - 35	118,9	+1	0,050	60	0,00079	0,002	0,002	1,982
35 - 35'	67,7	+1	0,034	60	0,00091	0,000	0,001	0,908
35 - 35"	94,1	+1	0,040	60	0,00126	0,000	0,001	1,263
36 - 37	58	+1	0,047	60	0,00078	0,002	0,002	1,703
37 - 37'	68,4	+1	0,034	60	0,00092	0,000	0,001	0,918
37 - 37"	56,9	+1	0,031	60	0,00076	0,000	0,001	0,764
31 - 31'	310	+1	0,073	100	0,00416	0,000	0,004	4,160
32 - 33	279	+1	0,084	100	0,00374	0,003	0,006	5,594
33 - 33'	94	+1	0,040	60	0,00126	0,000	0,001	1,261

33 - 33"	156,7	+1	0,052	60	0,00210	0,000	0,002	2,103
38 - 38'	222,7	+1	0,062	100	0,00299	0,000	0,003	2,988
43 - 43'	220,4	+1	0,061	100	0,00296	0,000	0,003	2,957

Tableau A3.6 : Calcule des pression au niveau de chaque nœud avec ma méthode de Hardy Cross

Nœuds	Côte	Tronçon	Longueur	Q(m3/s)	Ø(m)	J(m)	ΔH(m)	Pression(m)
R	340	-	-	-	-	-		5,0
A	277,3	R - A	1992	0,233	600	0,00056527	1,12602	66,6
B'	274,35	A - B'	18,6	0,0891	400	0,00072559	0,01350	69,5
101	270	B' - 101	165,3	0,077613	400	0,00031003	0,05125	73,8
102	268,5	101 - 102	187,3	0,009896	150	0,00010577	0,01981	75,3
102'	262,72	102 - 102'	313	0,004200	100	0,00007516	0,02352	81,0
103	268,2	102 - 103	73,8	0,005518	125	0,00005982	0,00441	75,6
108	274,28	A - 108	244,8	0,000882	60	0,00001789	0,00438	69,6
6	268,2	101 - 6	52,8	0,068246	350	0,00041818	0,02208	75,6
C	260,74	6 - C	240,6	0,064353	400	0,00025547	0,06147	83,0
18	257,6	C - 18	72,6	0,057	350	0,00028873	0,02096	86,1
D	259,46	18 - D	70,6	0,054	350	0,00023124	0,01633	84,2
14	257,27	D - 14	70,4	0,018	200	0,00015947	0,01123	86,4
107	257,56	14 - 107	144,1	0,016	150	0,00025712	0,03705	86,1
104	265,67	103 - 104	68,9	0,003	100	0,00006013	0,00414	78,1
12	257,29	107 - 12	9,9	0,012	150	0,00016795	0,00166	86,3
11	257,26	12 - 11	74,2	0,007	125	0,00011373	0,00844	86,4
10	259,37	11 - 10	75,9	0,005	100	0,00012069	0,00916	84,3
9	262	10 - 9	66,6	0,003	100	0,00003990	0,00266	81,6
E	265,15	106 - E	33,2	0,015	150	0,00024859	0,00825	78,6
106	265,42	F - 106	212,8	0,018	200	0,00013586	0,02891	78,4
105	265	104 - 105	157,7	0,004	100	0,00005871	0,00926	78,8
105'	268,37	105 - 105'	160,9	0,001	60	0,00004308	0,00693	75,4
F	261,6	108 - F	323,9	0,021	200	0,00017821	0,05772	82,2
2	273,72	B' - 2	157,9	0,028	250	0,00016814	0,02655	70,1
2'	269	2 - 2'	155,3	0,002	60	0,00010154	0,01577	74,8

G	270,4	2 - G	73	0,025	250	0,00014099	0,01029	73,4
3	270,6	G - 3	116	0,025	250	0,00013201	0,01531	73,2
3'	265,6	3 - 3'	164,3	0,00220	60	0,00011421	0,01876	78,2
4	267	3 - 4	59,5	0,022	250	0,00010748	0,00639	76,8
4'	258,2	4 - 4'	166,4	0,00223	60	0,00011560	0,01924	85,6
5	261,23	4 - 5	117	0,021	200	0,00020142	0,02357	82,5
5'	258,37	5 - 5'	101,9	0,001	60	0,00004317	0,00440	85,4
H	262,3	5 - H	167,1	0,020	200	0,00016691	0,02789	81,5
19	261,45	C' - 19	84,9	0,004	100	0,00007019	0,00596	82,3
C'	259,55	C - C'	22,4	0,005	125	0,00006403	0,00143	84,2
7	268,7	6 - 7	62,3	0,005	100	0,00012624	0,00786	75,1
7'	261,47	7 - 7'	220,2	0,00295	100	0,00003582	0,00789	82,3
8	268,39	7 - 8	70,9	0,003	100	0,00003792	0,00269	75,4
8'	260	8 - 8'	54,7	0,0007	60	0,00001269	0,00069	83,8
8"	267,98	8 - 8"	220,2	0,0030	60	0,00020111	0,04428	75,8
J	241,34	D - J	378,2	0,038	250	0,00029194	0,11041	102,2
30	241,34	J - 30	69,4	0,014	150	0,00021399	0,01485	102,2
29	241,83	30 - 29	63	0,011	150	0,00013171	0,00830	101,7
28	241,53	29 - 28	84,3	0,008	150	0,00006987	0,00589	102,0
26	240,51	28 - 26	74,6	0,005	100	0,00009487	0,00708	103,0
I	239,08	15 - I	111,3	0,010	150	0,00010453	0,01163	104,7
15	247,59	E - 15	275	0,016	200	0,00011862	0,03262	96,2
16	246	15 - 16	55	0,004	100	0,00006123	0,00337	97,7
16'	240,5	16 - 16'	89,1	0,001196	60	0,00003329	0,00297	103,2
17	244,2	16 - 17	74,7	0,003	100	0,00003368	0,00252	99,5
17'	240,2	17 - 17'	89,1	0,00120	60	0,00003329	0,00297	103,5
17"	241,2	17 - 17"	156,2	0,00210	60	0,00010151	0,01586	102,5
9'	247,9	9 - 9'	223,9	0,003	100	0,00003689	0,00826	95,7
10'	246,97	10 - 10'	223,9	0,00300	100	0,00003702	0,00829	96,6
11'	246,92	11 - 11'	224,2	0,00301	100	0,00003712	0,00832	96,7
13	252,31	12 - 13	115	0,006	100	0,00013074	0,01503	91,3
13'	242,1	13 - 13'	234,2	0,00326	100	0,00004449	0,01042	101,5

13"	242	13 - 13"	312,7	0,00420	100	0,00007210	0,02255	101,6
14'	241,87	14 - 14'	358,3	0,00481	100	0,00009428	0,03378	101,8
21	263,02	H - 21	66,3	0,0179	200	0,00013236	0,00878	80,7
21'	258,37	21 - 21'	64,2	0,0009	60	0,00001739	0,00112	85,4
22	257,74	21 - 22	201,5	0,018	200	0,00015245	0,03072	86,0
23	254,9	22 - 23	70,1	0,004	100	0,00005538	0,00388	88,8
23'	250	23 - 23'	81,1	0,001	60	0,00002771	0,00225	93,7
24	252	23 - 24	80,6	0,003	100	0,00002906	0,00234	91,7
24'	247	24 - 24'	126,2	0,002	60	0,00006691	0,00844	96,7
24"	245	24 - 24"	82	0,00110	60	0,00002804	0,00230	98,7
25	251,2	22 - 25	163,4	0,013	150	0,00018826	0,03076	92,5
25'	245	25 - 25'	116,2	0,002	60	0,00005615	0,00652	98,7
K	246,55	25 - K	88,2	0,0103	150	0,00011827	0,01043	97,1
32	240,36	31 - 32	86,7	0,006	100	0,00016636	0,01442	103,2
31	240,16	J - 31	64,8	0,009	150	0,00008776	0,00569	103,4
18'	249,45	18 - 18'	221,9	0,00298	100	0,00003747	0,00831	94,2
C"	245,89	C' - C"	179,9	0,00241	100	0,00002501	0,00450	97,8
20	260,33	19 - 20	116,4	0,003	100	0,00004845	0,00564	83,4
20'	255	20 - 20'	91,1	0,001	60	0,00003448	0,00314	88,7
20"	258	20 - 20"	162,9	0,002	100	0,00001995	0,00325	85,7
M	238,47	J - M	441,4	0,014	150	0,00022753	0,10043	105,0
38	241,82	M - 38	134,3	0,005	100	0,00010975	0,01474	101,6
L	235	I - L	410,4	0,014	150	0,00020114	0,08255	108,6
27	238,2	26 - 27	194,5	0,004	100	0,00008100	0,01575	105,3
27'	237,5	27 - 27'	134,5	0,002	60	0,00007495	0,01008	106,0
27"	237	27 - 27"	110,1	0,001	60	0,00005010	0,00552	106,5
28'	237,2	28 - 28'	329,1	0,00442	100	0,00008023	0,02640	106,3
29'	239,05	29 - 29'	329,1	0,00442	100	0,00008103	0,02667	104,5
30'	236	30 - 30'	329,1	0,00442	100	0,00008159	0,02685	107,5
34	242	K - 34	118,9	0,010	150	0,00010264	0,01220	101,7
35	239,38	34 - 35	118,9	0,002	60	0,00009024	0,01073	104,3
35'	237	35 - 35'	67,7	0,00091	60	0,00001896	0,00128	106,6
35"	232,6	35 - 35"	94,1	0,00126	60	0,00003696	0,00348	111,0

36	233,68	34 - 36	118,4	0,007	125	0,00011351	0,01344	110,0
37	230,63	36 - 37	58	0,002	60	0,00006793	0,00394	113,0
37'	223,25	37 - 37'	68,4	0,00092	60	0,00001960	0,00134	120,4
37"	223	37 - 37"	56,9	0,00076	60	0,00001352	0,00077	120,6
N	224,8	36 - N	351,9	0,007	125	0,00008977	0,03159	118,8
43	234	M - 43	65	0,004	100	0,00007926	0,00515	109,5
31'	233,85	31 - 31'	310	0,004	100	0,00007488	0,02321	109,7
33	229,5	32 - 33	279	0,006	100	0,00012742	0,03555	114,0
33'	231	33 - 33'	94	0,00126	60	0,00003678	0,00346	112,5
33"	226	33 - 33"	156,7	0,00210	60	0,00010365	0,01624	117,5
P	227,85	O - P	400,1	0,005	100	0,00011757	0,04704	115,7
O	246	L - O	319,3	0,007	125	0,00010167	0,03246	97,6
38'	247,95	38 - 38'	222,7	0,00299	100	0,00003694	0,00823	95,5
43'	240	43 - 43'	220,4	0,00296	100	0,00003581	0,00789	103,5

Tableau A3.7 : Première correction des débits avec la méthode Hardy Cross

Caract. des mailles						1ère approximation						Corrections			Q _{cor.}
N° maille	N° maille adj.	Tronçon	Longueur (m)	Sens	□	Q ₀ (l/s)	V (m/s)	□ ₀	j ₀ (m)	□H ₀ (m)	□H ₀ /Q ₀	Maille	Maille adj.	Total	
I		A - B'	18,6	+1	400	89,075	0,709	0,0307	0,0019660	0,037	0,411				89,075
	II	B' - 101	165,3	+1	400	78,259	0,623	0,0308	0,0015198	0,251	3,210	1,0	-1,1	-0,1	78,113
	I'	101 - 102	187,3	+1	150	10,509	0,595	0,0424	0,0050997	0,955	90,891	1,0	-1,0	0,0	10,551
	I'	102 - 103	73,8	+1	125	6,131	0,500	0,0454	0,0046251	0,341	55,671	1,0	-1,0	0,0	6,173
	I'''	103 - 108	186,1	-1	60	-2,497	0,883	0,0603	0,0399570	-7,436	2977,772	1,0	1,0	2,0	-0,475
		108 - A	244,8	-1	250	-23,478	0,478	0,0358	0,0016687	-0,408	17,399				-23,478
Tot										-6,26	3145,35				
										ΔQ	1,0			□	
I'	II	101 - 6	52,8	+1	350	68,279	0,710	0,0320	0,0023460	0,124	1,814	1,0	-1,1	-0,2	68,091
	II	6 - C	240,6	+1	400	64,386	0,512	0,0308	0,0010315	0,248	3,854	1,0	-1,1	-0,2	64,199
	IV	C - 18	72,6	+1	350	55,327	0,575	0,0321	0,0015443	0,112	2,026	1,0	0,7	1,7	57,016
	IV	18 - D	70,6	+1	350	53,141	0,552	0,0321	0,0014255	0,101	1,894	1,0	0,7	1,7	54,831
	III	D - 14	70,4	+1	200	17,055	0,543	0,0385	0,0028909	0,204	11,933	1,0	0,5	1,4	18,492
	III	14 - 107	144,1	+1	150	14,337	0,811	0,0425	0,0094954	1,368	95,440	1,0	0,5	1,4	15,773
	I''	107 - 104	166,7	-1	60	-2,237	0,791	0,0606	0,0322307	-5,373	2401,975	1,0	0,3	1,3	-0,944
	I'''	104 - 103	68,9	-1	100	-5,557	0,708	0,0492	0,0125500	-0,865	155,604	1,0	1,0	2,0	-3,577
	I	103 - 102	73,8	-1	125	-6,131	0,500	0,0454	0,0046251	-0,341	55,671	1,0	-1,0	0,0	-6,173
I	102 - 101	187,3	-1	150	-10,509	0,595	0,0424	0,0050997	-0,955	90,891	1,0	-1,0	0,0	-10,551	
Tot										-5,38	2821,10				
										ΔQ	1,0			□	
I''	III	107 - 12	9,9	+1	150	12,463	0,705	0,0424	0,0071577	0,071	5,686	-0,3	0,5	0,1	12,607
	III	12 - 11	74,2	+1	125	7,827	0,638	0,0453	0,0075115	0,557	71,212	-0,3	0,5	0,1	7,971
	III	11 - 10	75,9	+1	100	5,703	0,726	0,0492	0,0132159	1,003	175,877	-0,3	0,5	0,1	5,848
	III	10 - 9	66,6	+1	100	3,366	0,429	0,0495	0,0046373	0,309	91,755	-0,3	0,5	0,1	3,510
	III	9 - E	111,1	+1	60	1,491	0,527	0,0605	0,0142892	1,588	1064,896	-0,3	0,5	0,1	1,635
		E - 106	33,2	-1	150	-15,060	0,852	0,0423	0,0104314	-0,346	22,997				-15,060

	I'''	106 - 105	142,4	-1	60	-1,911	0,676	0,0605	0,0234586	-3,341	1748,238	-0,3	1,0	0,7	-1,223
	I'''	105 - 104	157,7	-1	100	-4,354	0,554	0,0493	0,0077294	-1,219	279,925	-0,3	1,0	0,7	-3,667
	I'	104 - 107	166,7	+1	60	2,237	0,791	0,0604	0,0320938	5,350	2391,769	-0,3	-1,0	-1,3	0,944
Tot										3,97	5852,35				
										ΔQ	-0,3			□	
I'''	I	108 - 103	186,1	+1	60	2,497	0,883	0,0603	0,0399570	7,436	2977,772	-1,0	-1,0	-2,0	0,475
	I'	103 - 104	68,9	+1	100	5,557	0,708	0,0492	0,0125500	0,865	155,604	-1,0	-1,0	-2,0	3,577
	I''	104 - 105	157,7	+1	100	4,354	0,554	0,0493	0,0077294	1,219	279,925	-1,0	0,3	-0,7	3,667
	I''	105 - 106	142,4	+1	60	1,911	0,676	0,0605	0,0234586	3,341	1748,238	-1,0	0,3	-0,7	1,223
		106 - F	212,8	-1	200	-17,715	0,564	0,0384	0,0031144	-0,663	37,413				-17,715
		F - 108	323,9	-1	200	-20,776	0,661	0,0384	0,0042752	-1,385	66,652				-20,776
Tot										10,81	5265,60				
										ΔQ	-1,0			□	
II		B' - 2	157,9	+1	250	27,935	0,569	0,0357	0,0023564	0,372	13,319				27,935
		2 - G	73	+1	250	25,111	0,512	0,0357	0,0019069	0,139	5,543				25,111
		G - 3	116	+1	250	24,832	0,506	0,0357	0,0018650	0,216	8,712				24,832
		3 - 4	59,5	+1	250	22,422	0,457	0,0358	0,0015231	0,091	4,042				22,422
		4 - 5	117	+1	200	21,102	0,672	0,0384	0,0044098	0,516	24,450				21,102
		5 - H	167,1	+1	200	19,789	0,630	0,0384	0,0038811	0,649	32,772				19,789
	IV	H - 19	191,9	-1	60	-2,575	0,911	0,0603	0,0424750	-8,151	3165,423	1,1	0,7	1,9	-0,698
	IV	19 - C'	84,9	-1	100	-5,289	0,673	0,0492	0,0113752	-0,966	182,595	1,1	0,7	1,9	-3,412
	IV	C' - C	22,4	-1	125	-6,405	0,522	0,0454	0,0050435	-0,113	17,639	1,1	0,7	1,9	-4,527
	I'	C - 6	240,6	-1	400	-68,279	0,543	0,0308	0,0011590	-0,279	4,084	1,1	-1,0	0,2	-68,091
	I'	6 - 101	52,8	-1	350	-68,279	0,710	0,0320	0,0023460	-0,124	1,814	1,1	-1,0	0,2	-68,091
I	101 - B'	165,3	-1	400	-78,259	0,623	0,0308	0,0015198	-0,251	3,210	1,1	-1,0	0,1	-78,113	
Tot										-7,90	3463,60				
										ΔQ	1,1			□	
III	IV	D - J	378,2	+1	250	38,325	0,781	0,0356	0,0044188	1,671	43,606	-0,5	0,7	0,3	38,578
	V	J - 30	69,4	+1	150	14,442	0,817	0,0423	0,0095971	0,666	46,118	-0,5	-0,7	-1,2	13,281
	V	30 - 29	63	+1	150	11,462	0,649	0,0424	0,0060605	0,382	33,310	-0,5	-0,7	-1,2	10,301
	V	29 - 28	84,3	+1	150	8,697	0,492	0,0426	0,0035024	0,295	33,948	-0,5	-0,7	-1,2	7,536
	V	28 - 26	74,6	+1	100	5,588	0,711	0,0492	0,0126885	0,947	169,398	-0,5	-0,7	-1,2	4,426
	V	26 - I	182,4	+1	60	2,448	0,866	0,0603	0,0383909	7,003	2861,059	-0,5	-0,7	-1,2	1,286

		I - 15	111,3	-1	150	-9,832	0,556	0,0425	0,0044674	-0,497	50,575				-9,832
		15 - E	275	-1	200	-16,275	0,518	0,0385	0,0026319	-0,724	44,472				-16,275
	I"	E - 9	111,1	-1	60	-1,491	0,527	0,0607	0,0143257	-1,592	1067,615	-0,5	0,3	-0,1	-1,635
	I"	9 - 10	66,6	-1	100	-3,366	0,429	0,0495	0,0046373	-0,309	91,755	-0,5	0,3	-0,1	-3,510
	I"	10 - 11	75,9	-1	100	-5,703	0,726	0,0492	0,0132159	-1,003	175,877	-0,5	0,3	-0,1	-5,848
	I"	11 - 12	74,2	-1	125	-7,827	0,638	0,0453	0,0075115	-0,557	71,212	-0,5	0,3	-0,1	-7,971
	I"	12 - 107	9,9	-1	150	-12,463	0,705	0,0424	0,0071577	-0,071	5,686	-0,5	0,3	-0,1	-12,607
	I'	107 - 14	144,1	-1	150	-14,337	0,811	0,0423	0,0094582	-1,363	95,066	-0,5	-1,0	-1,4	-15,773
	I'	14 - D	70,4	-1	200	-17,055	0,543	0,0385	0,0028885	-0,203	11,923	-0,5	-1,0	-1,4	-18,492
Tot										4,64	4801,62				
										ΔQ	-0,5			□	
	I'	D -18	70,6	+1	350	53,141	0,552	0,0321	0,0014255	0,101	1,894	-0,7	-1,0	-1,7	51,451
	I'	18 - C	72,6	+1	350	55,327	0,575	0,0321	0,0015443	0,112	2,026	-0,7	-1,0	-1,7	53,637
	II	C - C'	22,4	+1	125	6,405	0,522	0,0454	0,0050435	0,113	17,639	-0,7	-1,1	-1,9	4,527
	II	C'-19	84,9	+1	100	5,289	0,673	0,0492	0,0113752	0,966	182,595	-0,7	-1,1	-1,9	3,412
	II	19-H	191,9	+1	60	2,575	0,911	0,0603	0,0424750	8,151	3165,423	-0,7	-1,1	-1,9	0,698
		H - 21	66,3	+1	200	17,947	0,571	0,0384	0,0031963	0,212	11,807				17,947
		21 - 22	201,5	+1	200	17,801	0,567	0,0384	0,0031446	0,634	35,596				17,801
		22 - 25	163,4	+1	150	12,836	0,726	0,0423	0,0075906	1,240	96,625				12,836
		25 - K	88,2	+1	150	10,319	0,584	0,0424	0,0049179	0,434	42,036				10,319
	VI	K - 32	124,7	-1	60	-1,673	0,592	0,0606	0,0180188	-2,247	1342,838	-0,7	-0,1	-0,9	-2,544
	VI	32 - 31	86,7	-1	100	-5,993	0,763	0,0491	0,0145844	-1,264	210,993	-0,7	-0,1	-0,9	-6,864
	VI	31 - J	64,8	-1	150	-8,627	0,488	0,0426	0,0034463	-0,223	25,887	-0,7	-0,1	-0,9	-9,498
	III	J-D	378,2	-1	300	-38,325	0,542	0,0337	0,0016821	-0,636	16,599	-0,7	0,5	-0,3	-38,578
										7,59	5151,96				
										ΔQ	-0,7			□	
	VI	J - M	441,4	+1	150	13,657	0,773	0,0423	0,0085872	3,790	277,535	0,7	-0,1	0,5	14,201
	VII	M - 38	134,3	+1	100	5,330	0,679	0,0492	0,0115500	1,551	291,037	0,7	-0,5	0,2	5,509
	VII	38 - L	255,3	+1	100	3,426	0,436	0,0495	0,0048018	1,226	357,854	0,7	-0,5	0,2	3,605
		L - I	410,4	-1	150	-13,845	0,783	0,0423	0,0088236	-3,621	261,554				-13,845
	III	I -26	182,4	-1	60	-2,448	0,866	0,0603	0,0383909	-7,003	2861,059	0,7	0,5	1,2	-1,286
	III	26 - 28	74,6	-1	100	-5,588	0,711	0,0492	0,0126885	-0,947	169,398	0,7	0,5	1,2	-4,426
	III	28 - 29	84,3	-1	150	-8,697	0,492	0,0426	0,0035024	-0,295	33,948	0,7	0,5	1,2	-7,536

	III	29 - 30	63	-1	150	-11,462	0,649	0,0424	0,0060605	-0,382	33,310	0,7	0,5	1,2	-10,301
	III	30- J	69,4	-1	200	-14,442	0,460	0,0386	0,0020764	-0,144	9,978	0,7	0,5	1,2	-13,281
Tot										-5,82	4295,67				
										ΔQ	0,7			□	
VI	IV	J -31	64,8	+1	150	8,627	0,488	0,0426	0,0034463	0,223	25,887	0,1	0,7	0,9	9,498
	IV	31 - 32	86,7	+1	100	5,993	0,763	0,0491	0,0145844	1,264	210,993	0,1	0,7	0,9	6,864
	IV	32 - K	124,7	+1	60	1,673	0,592	0,0606	0,0180188	2,247	1342,838	0,1	0,7	0,9	2,544
		K - 34	118,9	+1	150	9,853	0,558	0,0425	0,0044869	0,533	54,145				9,853
		34 - 36	118,4	+1	125	7,345	0,599	0,0453	0,0066211	0,784	106,727				7,345
		36 - N	351,9	+1	125	6,529	0,532	0,0454	0,0052391	1,844	282,394				6,529
	VII	N -43	150,3	-1	60	-2,017	0,713	0,0604	0,0261178	-3,926	1946,412	0,1	-0,5	-0,4	-2,381
	VII	43 - M	65	-1	100	-3,608	0,459	0,0495	0,0053218	-0,346	95,874	0,1	-0,5	-0,4	-3,972
Tot	V	M- J	441,4	-1	150	-13,657	0,773	0,0423	0,0085872	-3,790	277,535	0,1	-0,7	-0,5	-14,201
										-1,17	4342,80				
										ΔQ	0,1			□	
VII		N - P	244,8	+1	100	3,285	0,418	0,0496	0,0044183	1,082	329,270				3,285
		P - O	400,1	-1	100	-5,369	0,684	0,0492	0,0117183	-4,689	873,302				-5,369
		O - L	319,3	-1	125	-7,237	0,590	0,0453	0,0064291	-2,053	283,645				-7,237
	V	L -38	255,3	-1	100	-3,426	0,436	0,0495	0,0048018	-1,226	357,854	0,5	-0,7	-0,2	-3,605
	V	38 - M	134,3	-1	100	-5,330	0,679	0,0492	0,0115500	-1,551	291,037	0,5	-0,7	-0,2	-5,509
	VI	M - 43	65	+1	100	3,608	0,459	0,0495	0,0053218	0,346	95,874	0,5	-0,1	0,4	3,972
Tot	VI	43 -N	150,3	+1	60	2,017	0,713	0,0604	0,0261178	3,926	1946,412	0,5	-0,1	0,4	2,381
										-4,17	4177,40				
										ΔQ	0,5			□	

Tableau A3.8 : Deuxième et troisième correction des débits avec la méthode de Hardy Cross

2ème approximation					Corrections			Q _{cor.}	3ème approximation					Corrections			Q _{cor.}
V (m/s)	□ ₀	j ₀ (m)	□H ₀ (m)	□H ₀ /Q ₀	Maille	Maille adj.	Total		V (m/s)	□ ₀	j ₀ (m)	□H ₀ (m)	□H ₀ /Q ₁	Maille	Maille adj.	Total	
0,709	0,0307	0,0019660	0,037	0,411				89,075	0,709	0,0307	0,0019660	0,037	0,411				89,075
0,622	0,0308	0,0015142	0,250	3,204	-0,6	0,1	-0,5	77,613	0,618	0,0308	0,0014950	0,247	3,184	0,0	0,4	0,4	78,003
0,597	0,0424	0,0051403	0,963	91,251	-0,6	-0,1	-0,7	9,896	0,560	0,0425	0,0045257	0,848	85,658	0,0	-0,3	-0,3	9,568
0,503	0,0454	0,0046883	0,346	56,047	-0,6	-0,1	-0,7	5,518	0,450	0,0455	0,0037528	0,277	50,190	0,0	-0,3	-0,3	5,191
0,168	0,0625	0,0015006	-0,279	587,540	-0,6	0,2	-0,4	-0,882	0,312	0,0613	0,0050608	0,942	1068,233	0,0	-0,3	-0,3	-1,224
0,478	0,0358	0,0016687	-0,408	17,399				-23,478	0,478	0,0358	0,0016687	0,408	17,399				-
			0,91	755,85								0,06	1225,07				23,478
			ΔQ	-0,6			□					□Q	0,0			□	
0,708	0,0320	0,0023332	0,123	1,809	0,1	0,1	0,2	68,246	0,709	0,0320	0,0023438	0,124	1,813	-0,3	0,4	0,1	68,356
0,511	0,0308	0,0010255	0,247	3,843	0,1	0,1	0,2	64,353	0,512	0,0308	0,0010304	0,248	3,852	-0,3	0,4	0,1	64,464
0,593	0,0321	0,0016394	0,119	2,088	0,1	-0,6	-0,5	56,509	0,587	0,0321	0,0016106	0,117	2,069	-0,3	0,0	-0,3	56,162
0,570	0,0321	0,0015169	0,107	1,953	0,1	-0,6	-0,5	54,324	0,565	0,0321	0,0014892	0,105	1,935	-0,3	0,0	-0,3	53,977
0,589	0,0384	0,0033919	0,239	12,913	0,1	-0,2	-0,2	18,302	0,583	0,0384	0,0033230	0,234	12,782	-0,3	-0,1	-0,4	17,879
0,893	0,0423	0,0114388	1,648	104,501	0,1	-0,2	-0,2	15,583	0,882	0,0423	0,0111660	1,609	103,253	-0,3	-0,1	-0,4	15,160
0,334	0,0612	0,0057978	-0,966	1023,364	0,1	0,3	0,4	-0,594	0,210	0,0620	0,0023234	0,387	652,081	-0,3	0,0	-0,3	-0,906
0,455	0,0495	0,0052321	-0,360	100,774	0,1	0,2	0,2	-3,328	0,424	0,0495	0,0045354	0,312	93,883	-0,3	-0,3	-0,6	-3,951
0,503	0,0454	0,0046883	-0,346	56,047	0,1	0,6	0,7	-5,518	0,450	0,0455	0,0037528	0,277	50,190	-0,3	0,0	-0,3	-5,846
0,597	0,0424	0,0051403	-0,963	91,251	0,1	0,6	0,7	-9,896	0,560	0,0425	0,0045257	0,848	85,658	-0,3	0,0	-0,3	-
			-0,15	1398,54								0,61	1007,52				10,223
			ΔQ	0,1			□					□Q	-0,3			□	
0,713	0,0423	0,0073235	0,073	5,751	-0,3	-0,2	-0,5	12,067	0,683	0,0424	0,0067122	0,066	5,507	0,0	-0,1	-0,1	11,939
0,650	0,0453	0,0077893	0,578	72,509	-0,3	-0,2	-0,5	7,430	0,605	0,0453	0,0067745	0,503	67,650	0,0	-0,1	-0,1	7,303
0,745	0,0492	0,0138894	1,054	180,278	-0,3	-0,2	-0,5	5,307	0,676	0,0492	0,0114524	0,869	163,788	0,0	-0,1	-0,1	5,180

0,447	0,0495	0,0050397	0,336	95,617	-0,3	-0,2	-0,5	2,970	0,378	0,0497	0,0036183	0,241	81,144	0,0	-0,1	-0,1	2,843
0,578	0,0606	0,0172104	1,912	1169,421	-0,3	-0,2	-0,5	1,095	0,387	0,0610	0,0077628	0,862	787,972	0,0	-0,1	-0,1	0,967
0,852	0,0423	0,0104314	-0,346	22,997				-15,060	0,852	0,0423	0,0104314	0,346	22,997				- 15,060
0,433	0,0609	0,0096786	-1,378	1126,555	-0,3	0,2	-0,1	-1,325	0,469	0,0608	0,0113392	1,615	1218,541	0,0	-0,3	-0,3	-1,652
0,467	0,0495	0,0054960	-0,867	236,351	-0,3	0,2	-0,1	-3,769	0,480	0,0494	0,0058025	0,915	242,798	0,0	-0,3	-0,3	-4,095
0,334	0,0612	0,0057978	0,966	1023,364	-0,3	-0,1	-0,4	0,594	0,210	0,0620	0,0023234	0,387	652,081	0,0	-0,3	-0,3	0,282
			2,33	3932,84								0,05	3242,48		-0,3		
			ΔQ	-0,3			□					ΔQ	0,0			□	
0,168	0,0625	0,0015006	0,279	587,540	-0,2	0,6	0,4	0,882	0,312	0,0613	0,0050608	0,942	1068,233	-0,3	0,0	-0,3	0,540
0,455	0,0495	0,0052321	0,360	100,774	-0,2	-0,1	-0,2	3,328	0,424	0,0495	0,0045354	0,312	93,883	-0,3	-0,3	-0,6	2,706
0,467	0,0495	0,0054960	0,867	236,351	-0,2	0,3	0,1	3,769	0,480	0,0494	0,0058025	0,915	242,798	-0,3	0,0	-0,3	3,442
0,433	0,0609	0,0096786	1,378	1126,555	-0,2	0,3	0,1	1,325	0,469	0,0608	0,0113392	1,615	1218,541	-0,3	0,0	-0,3	0,999
0,564	0,0384	0,0031144	-0,663	37,413				-17,715	0,564	0,0384	0,0031144	0,663	37,413				- 17,715
0,661	0,0384	0,0042752	-1,385	66,652				-20,776	0,661	0,0384	0,0042752	1,385	66,652				- 20,776
			0,84	2155,28								1,74	2727,52				
			ΔQ	-0,2			□					ΔQ	-0,3			□	
0,569	0,0357	0,0023564	0,372	13,319				27,935	0,569	0,0357	0,0023564	0,372	13,319				27,935
0,512	0,0357	0,0019069	0,139	5,543				25,111	0,512	0,0357	0,0019069	0,139	5,543				25,111
0,506	0,0357	0,0018650	0,216	8,712				24,832	0,506	0,0357	0,0018650	0,216	8,712				24,832
0,457	0,0358	0,0015231	0,091	4,042				22,422	0,457	0,0358	0,0015231	0,091	4,042				22,422
0,672	0,0384	0,0044098	0,516	24,450				21,102	0,672	0,0384	0,0044098	0,516	24,450				21,102
0,630	0,0384	0,0038811	0,649	32,772				19,789	0,630	0,0384	0,0038811	0,649	32,772				19,789
0,247	0,0617	0,0031894	-0,612	877,224	-0,1	-0,6	-0,7	-1,359	0,481	0,0607	0,0119262	2,289	1683,743	0,4	0,0	0,4	-0,989
0,434	0,0495	0,0047632	-0,404	118,529	-0,1	-0,6	-0,7	-4,073	0,519	0,0494	0,0067700	0,575	141,107	0,4	0,0	0,4	-3,703
0,369	0,0457	0,0025355	-0,057	12,545	-0,1	-0,6	-0,7	-5,189	0,423	0,0456	0,0033219	0,074	14,340	0,4	0,0	0,4	-4,818
0,542	0,0308	0,0011527	-0,277	4,073	-0,1	-0,1	-0,2	-68,246	0,543	0,0308	0,0011579	0,279	4,082	0,4	-0,3	0,1	- 68,136
0,708	0,0320	0,0023332	-0,123	1,809	-0,1	-0,1	-0,2	-68,246	0,709	0,0320	0,0023438	0,124	1,813	0,4	-0,3	0,1	- 68,136
0,622	0,0308	0,0015142	-0,250	3,204	-0,1	0,6	0,5	-77,613	0,618	0,0308	0,0014950	-	3,184	0,4	0,0	0,4	-

												0,247					77,222
			0,26	1106,22								-1,60	1937,11				
			□Q	-0,1								ΔQ	0,4			□	
0,786	0,0356	0,0044771	1,693	43,891	0,2	-0,6	-0,3	38,261	0,779	0,0356	0,0044042	1,666	43,534	-0,1	0,0	-0,2	38,099
0,752	0,0423	0,0081223	0,564	42,444	0,2	0,0	0,3	13,575	0,768	0,0423	0,0084839	0,589	43,374	-0,1	0,2	0,1	13,654
0,583	0,0424	0,0049011	0,309	29,975	0,2	0,0	0,3	10,595	0,600	0,0424	0,0051829	0,327	30,819	-0,1	0,2	0,1	10,674
0,426	0,0427	0,0026357	0,222	29,484	0,2	0,0	0,3	7,830	0,443	0,0426	0,0028434	0,240	30,614	-0,1	0,2	0,1	7,909
0,564	0,0493	0,0079845	0,596	134,571	0,2	0,0	0,3	4,720	0,601	0,0493	0,0090726	0,677	143,386	-0,1	0,2	0,1	4,800
0,455	0,0608	0,0106852	1,949	1515,527	0,2	0,0	0,3	1,580	0,559	0,0606	0,0160783	2,933	1856,125	-0,1	0,2	0,1	1,659
0,556	0,0425	0,0044674	-0,497	50,575				-9,832	0,556	0,0425	0,0044674	0,497	50,575				-9,832
0,518	0,0385	0,0026319	-0,724	44,472				-16,275	0,518	0,0385	0,0026319	0,724	44,472				-
0,578	0,0606	0,0172104	-1,912	1169,421	0,2	0,3	0,5	-1,095	0,387	0,0610	0,0077628	0,862	787,972	-0,1	0,0	-0,1	-1,222
0,447	0,0495	0,0050397	-0,336	95,617	0,2	0,3	0,5	-2,970	0,378	0,0497	0,0036183	0,241	81,144	-0,1	0,0	-0,1	-3,097
0,745	0,0492	0,0138894	-1,054	180,278	0,2	0,3	0,5	-5,307	0,676	0,0492	0,0114524	0,869	163,788	-0,1	0,0	-0,1	-5,434
0,650	0,0453	0,0077893	-0,578	72,509	0,2	0,3	0,5	-7,430	0,605	0,0453	0,0067745	0,503	67,650	-0,1	0,0	-0,1	-7,558
0,713	0,0423	0,0073235	-0,073	5,751	0,2	0,3	0,5	-12,067	0,683	0,0424	0,0067122	0,066	5,507	-0,1	0,0	-0,1	-
0,893	0,0423	0,0114388	-1,648	104,501	0,2	-0,1	0,2	-15,583	0,882	0,0423	0,0111660	1,609	103,253	-0,1	-0,3	-0,4	16,006
0,589	0,0384	0,0033919	-0,239	12,913	0,2	-0,1	0,2	-18,302	0,583	0,0384	0,0033230	0,234	12,782	-0,1	-0,3	-0,4	-
			-1,73	3531,93								0,82	3464,99				
			ΔQ	0,2								ΔQ	-0,1			□	
0,535	0,0321	0,0013369	0,094	1,834	0,6	-0,1	0,5	51,958	0,540	0,0321	0,0013632	0,096	1,852	0,0	-0,3	-0,3	51,611
0,557	0,0321	0,0014520	0,105	1,965	0,6	-0,1	0,5	54,144	0,563	0,0321	0,0014794	0,107	1,984	0,0	-0,3	-0,3	53,797
0,369	0,0457	0,0025355	0,057	12,545	0,6	0,1	0,7	5,189	0,423	0,0456	0,0033219	0,074	14,340	0,0	0,4	0,4	5,560
0,434	0,0495	0,0047632	0,404	118,529	0,6	0,1	0,7	4,073	0,519	0,0494	0,0067700	0,575	141,107	0,0	0,4	0,4	4,444
0,247	0,0617	0,0031894	0,612	877,224	0,6	0,1	0,7	1,359	0,481	0,0607	0,0119262	2,289	1683,743	0,0	0,4	0,4	1,730
0,571	0,0384	0,0031963	0,212	11,807				17,947	0,571	0,0384	0,0031963	0,212	11,807				17,947
0,567	0,0384	0,0031446	0,634	35,596				17,801	0,567	0,0384	0,0031446	0,634	35,596				17,801
0,726	0,0423	0,0075906	1,240	96,625				12,836	0,726	0,0423	0,0075906	1,240	96,625				12,836

0,584	0,0424	0,0049179	0,434	42,036				10,319	0,584	0,0424	0,0049179	0,434	42,036				10,319
0,900	0,0603	0,0414709	-5,171	2032,595	0,6	0,0	0,6	-1,957	0,692	0,0604	0,0245954	-	1567,379	0,0	0,4	0,4	-1,577
0,874	0,0491	0,0191068	-1,657	241,343	0,6	0,0	0,6	-6,276	0,799	0,0491	0,0159896	-	220,873	0,0	0,4	0,4	-5,897
0,537	0,0425	0,0041713	-0,270	28,459	0,6	0,0	0,6	-8,910	0,504	0,0425	0,0036747	-	26,724	0,0	0,4	0,4	-8,530
0,546	0,0337	0,0017043	-0,645	16,708	0,6	-0,2	0,3	-38,261	0,541	0,0337	0,0016766	-	16,572	0,0	-0,1	-0,2	38,424
			-3,95	3517,27								0,34	3860,64				
			ΔQ	0,6			□					ΔQ	0,0			□	
0,804	0,0423	0,0092808	4,097	288,471	0,0	0,0	0,0	14,177	0,802	0,0423	0,0092503	4,083	287,999	0,2	0,4	0,6	14,799
0,701	0,0492	0,0123357	1,657	300,717	0,0	-0,3	-0,4	5,154	0,656	0,0492	0,0108043	1,451	281,540	0,2	0,1	0,3	5,419
0,459	0,0495	0,0053131	1,356	376,259	0,0	-0,3	-0,4	3,250	0,414	0,0496	0,0043253	1,104	339,796	0,2	0,1	0,3	3,514
0,783	0,0423	0,0088236	-3,621	261,554				-13,845	0,783	0,0423	0,0088236	-	261,554				-13,845
0,455	0,0608	0,0106852	-1,949	1515,527	0,0	-0,2	-0,3	-1,580	0,559	0,0606	0,0160783	-	1856,125	0,2	-0,1	0,1	-1,501
0,564	0,0493	0,0079845	-0,596	134,571	0,0	-0,2	-0,3	-4,720	0,601	0,0493	0,0090726	-	143,386	0,2	-0,1	0,1	-4,641
0,426	0,0427	0,0026357	-0,222	29,484	0,0	-0,2	-0,3	-7,830	0,443	0,0426	0,0028434	-	30,614	0,2	-0,1	0,1	-7,750
0,583	0,0424	0,0049011	-0,309	29,975	0,0	-0,2	-0,3	-10,595	0,600	0,0424	0,0051829	-	30,819	0,2	-0,1	0,1	10,515
0,423	0,0386	0,0017584	-0,122	9,189	0,0	-0,2	-0,3	-13,575	0,432	0,0386	0,0018364	-	9,388	0,2	-0,1	0,1	13,495
			0,29	2945,75								-1,29	3241,22				
			ΔQ	0,0			□					ΔQ	0,2			□	
0,537	0,0425	0,0041713	0,270	28,459	0,0	-0,6	-0,6	8,910	0,504	0,0425	0,0036747	0,238	26,724	0,4	0,0	0,4	9,290
0,874	0,0491	0,0191068	1,657	241,343	0,0	-0,6	-0,6	6,276	0,799	0,0491	0,0159896	1,386	220,873	0,4	0,0	0,4	6,656
0,900	0,0603	0,0414709	5,171	2032,595	0,0	-0,6	-0,6	1,957	0,692	0,0604	0,0245954	3,067	1567,379	0,4	0,0	0,4	2,337
0,558	0,0425	0,0044869	0,533	54,145				9,853	0,558	0,0425	0,0044869	0,533	54,145				9,853
0,599	0,0453	0,0066211	0,784	106,727				7,345	0,599	0,0453	0,0066211	0,784	106,727				7,345

0,532	0,0454	0,0052391	1,844	282,394				6,529	0,532	0,0454	0,0052391	1,844	282,394				6,529
0,842	0,0603	0,0363450	-5,463	2294,160	0,0	-0,3	-0,3	-2,713	0,959	0,0603	0,0471262	-	2610,868	0,4	0,1	0,5	-2,223
0,506	0,0494	0,0064409	-0,419	105,393	0,0	-0,3	-0,3	-4,304	0,548	0,0493	0,0075530	-	114,063	0,4	0,1	0,5	-3,814
0,804	0,0423	0,0092808	-4,097	288,471	0,0	0,0	0,0	-14,177	0,802	0,0423	0,0108385	-	337,445	0,4	0,2	0,6	-
			0,28	5433,69								-4,51	5320,62				
			□Q	0,0			□					ΔQ	0,4			□	
0,418	0,0496	0,0044183	1,082	329,270				3,285	0,418	0,0496	0,0044183	1,082	329,270				3,285
0,684	0,0492	0,0117183	-4,689	873,302				-5,369	0,684	0,0492	0,0117183	-	873,302				-5,369
0,590	0,0453	0,0064291	-2,053	283,645				-7,237	0,590	0,0453	0,0064291	-	283,645				-7,237
0,459	0,0495	0,0053131	-1,356	376,259	0,3	0,0	0,4	-3,250	0,414	0,0496	0,0043253	-	339,796	0,1	0,2	0,3	-2,985
0,701	0,0492	0,0123357	-1,657	300,717	0,3	0,0	0,4	-5,154	0,656	0,0492	0,0108043	-	281,540	0,1	0,2	0,3	-4,889
0,506	0,0494	0,0064409	0,419	105,393	0,3	0,0	0,3	4,304	0,548	0,0493	0,0075530	0,491	114,063	0,1	0,4	0,5	4,794
0,842	0,0603	0,0363450	5,463	2294,160	0,3	0,0	0,3	2,713	0,959	0,0603	0,0471262	7,083	2610,868	0,1	0,4	0,5	3,203
			-2,79	4562,75								-0,64	4832,48				
			ΔQ	0,3			□					ΔQ	0,1			□	

Tableau A3.9 : calcul de nombre de Reynolds et Lamda

Tronçon	D _N	Q	V	Re		Lamda								
						1								
A - B'	400	0,400	89,075	0,709	283536		1	0,030427595	0,030709254	0,030707698	0,030707707	0,030707707	0,030707707	0,030707707
B' - 101	400	0,400	78,259	0,623	249105		1	0,030435887	0,030755908	0,030753905	0,030753917	0,030753917	0,030753917	0,030753917
101 - 102	150	0,150	10,509	0,595	89202		1	0,041995358	0,042441663	0,042438724	0,042438743	0,042438743	0,042438743	0,042438743
102 - 103	125	0,125	6,131	0,500	62453		1	0,044884091	0,045445714	0,04544133	0,045441364	0,045441364	0,045441364	0,045441364
103 - 108	60	0,060	-2,497	0,883	52992		1	0,059894079	0,060303888	0,060302046	0,060302054	0,060302054	0,060302054	0,060302054
108 - A	250	0,250	-23,478	0,478	119574		1	0,035308377	0,035782352	0,035778513	0,035778543	0,035778543	0,035778543	0,035778543
101 - 6	350	0,350	68,279	0,710	248386		1	0,031697119	0,03198901	0,031987398	0,031987407	0,031987407	0,031987407	0,031987407
6 - C	400	0,400	64,386	0,512	204948		1	0,03045059	0,030838345	0,030835416	0,030835438	0,030835438	0,030835438	0,030835438
C - 18	350	0,350	55,327	0,575	201269		1	0,031712032	0,032071207	0,032068776	0,032068793	0,032068793	0,032068793	0,032068793
18 - D	350	0,350	53,141	0,552	193318		1	0,031715264	0,032088975	0,032086346	0,032086364	0,032086364	0,032086364	0,032086364
D - 14	200	0,200	64,386	0,512	102474		1	0,038019633	0,038492895	0,038489302	0,038489329	0,038489328	0,038489328	0,038489328
14 - 107	150	0,150	55,327	0,575	86258		1	0,041999311	0,04246066	0,042457522	0,042457543	0,042457543	0,042457543	0,042457543
107 - 104	60	0,060	53,141	0,552	33140		1	0,059973808	0,060626672	0,060622025	0,060622058	0,060622058	0,060622058	0,060622058
104 - 103	100	0,100	-5,557	0,708	70754		1	0,048759613	0,049187862	0,049185475	0,049185488	0,049185488	0,049185488	0,049185488
103 - 102	125	0,125	-6,131	0,500	62453		1	0,044884091	0,045445714	0,04544133	0,045441364	0,045441364	0,045441364	0,045441364
102 - 101	150	0,150	-10,509	0,595	89202		1	0,041995358	0,042441663	0,042438724	0,042438743	0,042438743	0,042438743	0,042438743
107 - 12	150	0,150	12,463	0,705	105788		1	0,041977192	0,042354242	0,042352139	0,04235215	0,04235215	0,04235215	0,04235215
12 - 11	125	0,125	7,827	0,638	79722		1	0,044851125	0,045292395	0,045289677	0,045289693	0,045289693	0,045289693	0,045289693
11 - 10	100	0,100	5,703	0,726	72618		1	0,048756484	0,049173843	0,049171575	0,049171588	0,049171588	0,049171588	0,049171588
10 - 9	100	0,100	3,366	0,429	42857		1	0,048838923	0,049541782	0,049535408	0,049535466	0,049535465	0,049535465	0,049535465
9 - E	60	0,060	7,827	0,638	38267		1	0,059945307	0,060511458	0,060507956	0,060507978	0,060507978	0,060507978	0,060507978
E - 106	150	0,150	-15,060	0,852	127830		1	0,041960336	0,042272923	0,042271473	0,04227148	0,04227148	0,04227148	0,04227148
106 - 105	60	0,060	-1,911	0,676	40548		1	0,059934937	0,06046949	0,060466366	0,060466384	0,060466384	0,060466384	0,060466384
105 - 104	100	0,100	-4,354	0,554	55443		1	0,048793279	0,049338426	0,049334573	0,0493346	0,0493346	0,0493346	0,0493346
104 - 107	60	0,060	2,237	0,791	47467		1	0,059909576	0,060366746	0,060364457	0,060364468	0,060364468	0,060364468	0,060364468
108 - 103	60	0,060	2,497	0,883	52992		1	0,059894079	0,060303888	0,060302046	0,060302054	0,060302054	0,060302054	0,060302054
103 - 104	100	0,100	5,557	0,708	70754		1	0,048759613	0,049187862	0,049185475	0,049185488	0,049185488	0,049185488	0,049185488
104 - 105	100	0,100	4,354	0,554	55443		1	0,048793279	0,049338426	0,049334573	0,0493346	0,0493346	0,0493346	0,0493346
105 - 106	60	0,060	1,911	0,676	40548		1	0,059934937	0,06046949	0,060466366	0,060466384	0,060466384	0,060466384	0,060466384
106 - F	200	0,200	-17,715	0,564	112775		1	0,038009066	0,038439692	0,038436711	0,038436732	0,038436732	0,038436732	0,038436732

F - 108	200	0,200	-20,776	0,661	132263		1	0,037993569	0,038361487	0,038359306	0,038359319	0,038359318	0,038359318	0,038359318
B' - 2	250	0,250	27,935	0,569	142273		1	0,03529069	0,035690127	0,035687391	0,035687409	0,035687409	0,035687409	0,035687409
2 - G	250	0,250	25,111	0,512	127890		1	0,03530117	0,035744816	0,035741447	0,035741473	0,035741473	0,035741473	0,035741473
G - 3	250	0,250	24,832	0,506	126468		1	0,035302335	0,035750887	0,035747445	0,035747471	0,035747471	0,035747471	0,035747471
3 - 4	250	0,250	22,422	0,457	114195		1	0,035313596	0,035809501	0,035805303	0,035805338	0,035805338	0,035805338	0,035805338
4 - 5	200	0,200	21,102	0,672	134341		1	0,037992182	0,038354476	0,03835236	0,038352372	0,038352372	0,038352372	0,038352372
5 - H	200	0,200	19,789	0,630	125982		1	0,037998041	0,038384077	0,038381677	0,038381692	0,038381692	0,038381692	0,038381692
H - 19	60	0,060	-2,575	0,911	54643		1	0,059890053	0,060287551	0,060285818	0,060285825	0,060285825	0,060285825	0,060285825
19 - C'	100	0,100	-5,289	0,673	67343		1	0,048765791	0,049215529	0,049212899	0,049212914	0,049212914	0,049212914	0,049212914
C' - C	125	0,125	-6,405	0,522	65238		1	0,044877597	0,045415559	0,045411533	0,045411563	0,045411563	0,045411563	0,045411563
C - 6	400	0,400	-68,279	0,543	217338		1	0,030445863	0,030811879	0,030809266	0,030809284	0,030809284	0,030809284	0,030809284
6 -101	350	0,350	-68,279	0,710	248386		1	0,031697119	0,03198901	0,031987398	0,031987407	0,031987407	0,031987407	0,031987407
101-B'	400	0,400	-78,259	0,623	249105		1	0,030435887	0,030755908	0,030753905	0,030753917	0,030753917	0,030753917	0,030753917
D - J	250	0,250	38,325	0,781	195189		1	0,035265406	0,035557693	0,035556221	0,035556228	0,035556228	0,035556228	0,035556228
J - 30	150	0,150	14,442	0,817	122588		1	0,041963797	0,042289631	0,042288057	0,042288065	0,042288065	0,042288065	0,042288065
30 - 29	150	0,150	11,462	0,649	97296		1	0,041985721	0,042395312	0,042392833	0,042392848	0,042392848	0,042392848	0,042392848
29 - 28	150	0,150	8,697	0,492	73825		1	0,042019476	0,042557393	0,042553138	0,042553172	0,042553172	0,042553172	0,042553172
28 - 26	100	0,100	5,588	0,711	71146		1	0,048758942	0,049184857	0,049182497	0,04918251	0,049182509	0,049182509	0,049182509
26 - I	60	0,060	2,448	0,866	51938		1	0,05989678	0,060314849	0,060312933	0,060312942	0,060312942	0,060312942	0,060312942
I - 15	150	0,150	-9,832	0,556	83453		1	0,042003337	0,042479995	0,042476646	0,042476669	0,042476669	0,042476669	0,042476669
15 - E	200	0,200	-16,275	0,518	103608		1	0,038018367	0,038486526	0,038483009	0,038483035	0,038483035	0,038483035	0,038483035
E - 9	60	0,060	-1,491	0,527	31635		1	0,059983925	0,060667524	0,060662433	0,060662471	0,06066247	0,06066247	0,06066247
9 - 10	100	0,100	-3,366	0,429	42857		1	0,048838923	0,049541782	0,049535408	0,049535466	0,049535465	0,049535465	0,049535465
10 - 11	100	0,100	-5,703	0,726	72618		1	0,048756484	0,049173843	0,049171575	0,049171588	0,049171588	0,049171588	0,049171588
11 - 12	125	0,125	-7,827	0,638	79722		1	0,044851125	0,045292395	0,045289677	0,045289693	0,045289693	0,045289693	0,045289693
12 - 107	150	0,150	-12,463	0,705	105788		1	0,041977192	0,042354242	0,042352139	0,04235215	0,04235215	0,04235215	0,04235215
107 - 14	150	0,150	-14,337	0,811	121693		1	0,041964417	0,042292625	0,042291029	0,042291037	0,042291036	0,042291036	0,042291036
14 - D	200	0,200	-17,055	0,543	108579		1	0,038013129	0,03846016	0,03845695	0,038456973	0,038456973	0,038456973	0,038456973
D -18	350	0,350	53,141	0,552	193318		1	0,031715264	0,032088975	0,032086346	0,032086364	0,032086364	0,032086364	0,032086364
18 - C	350	0,350	55,327	0,575	201269		1	0,031712032	0,032071207	0,032068776	0,032068793	0,032068793	0,032068793	0,032068793
C - C'	125	0,125	6,405	0,522	65238		1	0,044877597	0,045415559	0,045411533	0,045411563	0,045411563	0,045411563	0,045411563
C'-19	100	0,100	5,289	0,673	67343		1	0,048765791	0,049215529	0,049212899	0,049212914	0,049212914	0,049212914	0,049212914
19-H	60	0,060	2,575	0,911	54643		1	0,059890053	0,060287551	0,060285818	0,060285825	0,060285825	0,060285825	0,060285825

H - 21	200	0,200	17,947	0,571	114256		1	0,038007703	0,03843282	0,038429914	0,038429934	0,038429934	0,038429934	0,038429934
21 - 22	200	0,200	17,801	0,567	113322		1	0,038008558	0,038437132	0,038434179	0,038434199	0,038434199	0,038434199	0,038434199
22 - 25	150	0,150	12,836	0,726	108957		1	0,04197435	0,042340541	0,042338556	0,042338567	0,042338567	0,042338567	0,042338567
25 - K	150	0,150	10,319	0,584	87587		1	0,041997494	0,042451927	0,042448881	0,042448901	0,042448901	0,042448901	0,042448901
K - 32	60	0,060	-1,673	0,592	35508		1	0,059959622	0,060569352	0,060565295	0,060565322	0,060565321	0,060565321	0,060565321
32 - 31	100	0,100	-5,993	0,763	76304		1	0,048750742	0,049148105	0,049146049	0,049146059	0,049146059	0,049146059	0,049146059
31 - J	150	0,150	-8,627	0,488	73226		1	0,042020619	0,042562869	0,042558546	0,04255858	0,04255858	0,04255858	0,04255858
J-D	300	0,300	-38,325	0,542	162658		1	0,033285269	0,033682768	0,033679919	0,033679939	0,033679939	0,033679939	0,033679939
J - M	150	0,150	13,657	0,773	115927		1	0,041968644	0,042313026	0,04231127	0,042311278	0,042311278	0,042311278	0,042311278
M - 38	100	0,100	5,330	0,679	67861		1	0,048764812	0,049211146	0,049208555	0,04920857	0,04920857	0,04920857	0,04920857
38 - L	100	0,100	3,426	0,436	43618		1	0,048835419	0,049526206	0,049520047	0,049520102	0,049520101	0,049520101	0,049520101
L - I	150	0,150	-13,845	0,783	117520		1	0,041967435	0,042307191	0,04230548	0,042305489	0,042305489	0,042305489	0,042305489
I -26	60	0,060	-2,448	0,866	51938		1	0,05989678	0,060314849	0,060312933	0,060312942	0,060312942	0,060312942	0,060312942
26 - 28	100	0,100	-5,588	0,711	71146		1	0,048758942	0,049184857	0,049182497	0,04918251	0,049182509	0,049182509	0,049182509
28 - 29	150	0,150	-8,697	0,492	73825		1	0,042019476	0,042557393	0,042553138	0,042553172	0,042553172	0,042553172	0,042553172
29 - 30	150	0,150	-11,462	0,649	97296		1	0,041985721	0,042395312	0,042392833	0,042392848	0,042392848	0,042392848	0,042392848
30-J	200	0,200	-14,442	0,460	91941		1	0,038032881	0,038559454	0,038555015	0,038555052	0,038555052	0,038555052	0,038555052
J -31	150	0,150	8,627	0,488	73226		1	0,042020619	0,042562869	0,042558546	0,04255858	0,04255858	0,04255858	0,04255858
31 - 32	100	0,100	5,993	0,763	76304		1	0,048750742	0,049148105	0,049146049	0,049146059	0,049146059	0,049146059	0,049146059
32 - K	60	0,060	1,673	0,592	35508		1	0,059959622	0,060569352	0,060565295	0,060565322	0,060565321	0,060565321	0,060565321
K - 34	150	0,150	9,853	0,558	83636		1	0,042003067	0,042478696	0,042475361	0,042475384	0,042475384	0,042475384	0,042475384
34 - 36	125	0,125	7,345	0,599	74818		1	0,044858942	0,045328804	0,045325726	0,045325746	0,045325746	0,045325746	0,045325746
36 - N	125	0,125	6,529	0,532	66500		1	0,044874832	0,045402714	0,045398836	0,045398864	0,045398864	0,045398864	0,045398864
N -43	60	0,060	-2,017	0,713	42798		1	0,059925793	0,060432465	0,060429657	0,060429672	0,060429672	0,060429672	0,060429672
43 - M	100	0,100	-3,608	0,459	45939		1	0,048825441	0,04948181	0,049476243	0,04947629	0,04947629	0,04947629	0,04947629
M-J	150	0,150	-13,657	0,773	115927		1	0,041968644	0,042313026	0,04231127	0,042311278	0,042311278	0,042311278	0,042311278
N - P	100	0,100	3,285	0,418	41824		1	0,048843889	0,049563856	0,049557172	0,049557233	0,049557232	0,049557232	0,049557232
P - O	100	0,100	-5,369	0,684	68357		1	0,04876389	0,04920702	0,049204466	0,049204481	0,049204481	0,049204481	0,049204481
O - L	125	0,125	-7,237	0,590	73718		1	0,044860837	0,045337626	0,045334457	0,045334478	0,045334478	0,045334478	0,045334478
L -38	100	0,100	-3,426	0,436	43618		1	0,048835419	0,049526206	0,049520047	0,049520102	0,049520101	0,049520101	0,049520101
38 - M	100	0,100	-5,330	0,679	67861		1	0,048764812	0,049211146	0,049208555	0,04920857	0,04920857	0,04920857	0,04920857
M - 43	100	0,100	3,608	0,459	45939		1	0,048825441	0,04948181	0,049476243	0,04947629	0,04947629	0,04947629	0,04947629
43 -N	60	0,060	2,017	0,713	42798		1	0,059925793	0,060432465	0,060429657	0,060429672	0,060429672	0,060429672	0,060429672

Tableau A3.10 : Résultats de la simulation sous Epanet des pressions et cote piézométrique au niveau de chaque nœud du redimensionnement avec la méthode des débits arbitraire

Nœuds	Côte terrain	cote piézométrique	débit aux nœuds	Pression
R	340	-	-	-
A	277,3	326,93	2,9697782	49,63
B'	274,35	326,89	3,8537212	52,54
101	270	326,71	4,4873641	56,71
102	268,5	326,14	6,4728536	57,64
102'	262,72	325,33	3,5290075	62,61
103	268,2	326,05	3,707149	57,85
108	274,28	326,47	8,5102071	52,19
6	268,2	326,66	4,0104407	58,46
C	260,74	326,48	3,7838176	65,74
18	257,6	326,44	4,1164237	68,84
D	259,46	326,4	5,853868	71,94
14	257,27	326,23	6,45	68,98
107	257,56	325,99	3,26	68,42
104	265,67	325,99	4,4	60,32
12	257,29	325,97	2,24	68,68
11	257,26	325,91	4,2201517	68,05
10	259,37	325,87	4,1310809	66,5
9	262	325,85	4,5279533	63,85
E	265,15	325,84	4,727517	60,69
106	265,42	325,86	4,3802537	60,44
105	265	325,82	5,1638512	60,82
105'	268,37	325,46	1,8141128	57,09
F	261,6	326,06	6,0511767	64,46
2	273,72	326,58	4,3543217	52,86
2'	269	326,26	1,750974	57,26
G	270,4	326,46	2,1309342	56,06
3	270,6	326,27	3,8311717	55,67
3'	265,6	325,89	1,852447	60,29
4	267	326,19	3,8661235	59,19
4'	258,2	325,8	1,8761241	67,6
5	261,23	326,05	4,3610865	64,82
5'	258,37	325,65	1,1489005	67,28
H	262,3	325,89	5,5731258	63,59
19	261,45	325,92	5,121007	64,47
C'	259,55	326,31	2,7859992	66,76
7	268,7	326,42	3,9845087	57,72
7'	261,47	325,53	2,4827075	64,06
8	268,39	325,76	3,8988204	57,43
8'	260	325,74	0,6167307	57,96
8''	267,98	324,87	2,4827075	64,87
J	241,34	325,76	6,4897658	84,42
30	241,34	325,66	5,2033129	84,32
29	281,3	325,59	5,5020947	83,76
28	241,53	325,54	5,5020947	84,01

26	240,51	325,52	4,4118231	85,01
I	239,08	325,51	4,8256076	86,43
15	247,59	325,53	4,9755623	77,94
16	246	322,06	2,4669228	76,06
16'	240,5	316,45	1,0045833	75,95
17	244,2	321,48	3,6079309	77,28
17'	240,2	321,41	1,0045833	81,21
17"	241,2	321,15	1,7611213	79,95
9'	247,9	325,54	2,5244242	77,64
10'	246,97	325,56	2,5244242	78,59
11'	246,92	325,6	2,5278066	78,68
13	252,31	325,56	6,7806552	73,25
13'	242,1	325,05	2,7420275	82,95
13"	242	325,16	2,7420275	83,16
14'	241,87	325,04	4,0397552	83,17
21	263,02	325,83	3,7432284	62,81
21'	258,37	325,81	0,7238411	67,44
22	257,74	325,69	4,9045311	70,95
23	254,9	324,61	2,613495	69,71
23'	250	324,56	0,914385	74,56
24	252	324,1	3,2561577	72,1
24'	247	323,92	1,4228778	76,92
24"	245	324,03	0,9245323	79,03
25	251,2	325,63	4,1468656	74,43
25'	245	325,48	1,3101299	80,48
K	246,55	325,6	3,7409734	79,05
32	240,36	325,59	5,5291542	85,23
31	240,16	325,64	5,2033129	85,48
18'	249,45	326,13	2,5018746	76,68
C"	245,89	326,14	2,0283337	71,25
20	260,33	325,07	4,1761801	64,74
20'	255	325	1,0271328	70
20"	258	324,94	1,0271328	66,94
M	238,47	325,38	7,2237542	86,91
38	241,82	325,27	6,9035504	83,45
L	235	325,26	7,9926945	90,26
27	238,2	323,36	4,9507577	85,16
27'	237,5	323,15	1,5164585	85,65
27"	237	323,24	1,2413537	86,24
28'	237,2	324,61	3,7105315	87,41
29'	239,05	324,66	3,7105315	85,61
30'	236	324,73	3,7105315	88,73
34	242	325,34	3,3373361	83,34
35	239,38	325,13	2,4860899	85,75
35'	237	325,1	0,7633029	88,1
35"	232,6	325,05	1,0609572	92,45
36	233,68	325,24	5,9564685	91,56
37	230,63	325,09	2,0723053	94,46
37'	223,25	325,06	0,7768326	101,81
37"	223	325,07	0,6415352	102,07
N	224,8	325,22	8,4222638	100,42

43	234	325,29	4,9124235	91,29
31'	233,85	324,85	3,4951831	91
33	229,5	325,04	5,9722532	101,54
33'	231	324,97	1,0598297	93,97
33"	226	324,71	1,7667587	98,71
P	227,85	324,76	7,2711083	96,91
O	246	324,97	8,1110797	78,97
L	235	325,26	7,9926945	90,26
38'	247,95	325,23	2,5108944	77,28
43'	240	325,29	2,4849624	91,29

Tableau A3.11 : Résultats de la simulation sous Epanet des vitesse et de pertes de charge au niveau de chaque tronçons du redimensionnement avec la méthode des débits arbitraires

Tronçon	L (ml)	Diamètre (mm)	Débit (l/s)	vitesse (m/s)	perte de charge	Etat	Rugosité
R-A	1992	600	390,05	1,38	2,55	ouvert	135
A-B'	18,6	600	315,75	1,12	1,72	ouvert	135
A-108	244,8	300	71,33	1,01	3,21	ouvert	135
B'-2	157,9	350	84,71	0,88	2,08	ouvert	135
B'-101	165,3	600	227,17	0,8	0,94	ouvert	135
101-102	187,3	200	26,5	0,84	3,69	ouvert	135
6-101	52,8	600	196,17	0,69	0,71	ouvert	135
6_7	62,3	150	12,92	0,73	3,96	ouvert	135
6-C	240,6	600	179,24	0,63	0,6	ouvert	135
C-C'	22,4	150	20,08	1,14	8,96	ouvert	135
18-C	72,6	600	155,39	0,55	0,46	ouvert	135
18-D	70,6	600	148,77	0,53	0,43	ouvert	135
18-18'	221,9	100	2,5	0,32	1,36	ouvert	135
D-14	70,4	300	11,16	0,16	0,10	ouvert	135
D-J	378,2	400	131,76	1,05	2,46	ouvert	135
14-14'	358,3	100	4,03	0,51	3,30	ouvert	135
107-12	9,9	300	2,83	0,04	3,8	ouvert	135
14-107	144,1	300	10,68	0,01	3,9	ouvert	135
12_13	115	150	12,26	0,69	3,6	ouvert	135
12_11	74,2	300	17,33	0,25	0,23	ouvert	135
13_13'	243,2	100	2,74	0,35	1,62	ouvert	135
13_13"	312,7	100	2,74	0,35	1,62	ouvert	135
11_11'	224,2	100	2,52	0,32	1,38	ouvert	135
11_10	75,9	300	24,07	0,34	0,43	ouvert	135
10_10'	223,9	100	2,52	0,32	1,38	ouvert	135
10_9	66,6	300	30,72	0,43	0,67	ouvert	135
9-E	111,1	300	37,77	0,53	0,99	ouvert	135
9-9'	223,9	100	2,52	0,32	1,38	ouvert	135

E-106	33,2	300	53,66	0,76	1,89	ouvert	135
E-15	275	300	11,16	0,16	0,024	ouvert	135
106-F	212,8	300	55,53	0,79	2,02	ouvert	135
106-105	142,4	80	2,51	0,5	4,08	ouvert	135
F-108	323,9	300	61,58	0,87	2,44	ouvert	135
108-103	186,1	80	1,24	0,25	1,11	ouvert	135
105-105'	160,9	80	1,82	0,36	2,25	ouvert	135
105-104	157,7	150	9,5	0,54	2,24	ouvert	135
104-107	166,7	150	0,1	0,01	2,04	ouvert	135
103-104	68,9	200	14,01	0,45	1,13	ouvert	135
103-102	73,8	200	16,07	0,52	1,53	ouvert	135
102-102'	313	100	3,53	0,45	2,58	ouvert	135
2-G	73	350	78,61	0,82	1,81	ouvert	135
2-2'	155,3	80	1,75	0,35	2,09	ouvert	135
G-3	116	350	76,48	0,79	1,72	ouvert	135
3-3'	164,3	80	1,86	0,37	2,34	ouvert	135
3_4	59,5	350	70,79	0,74	1,49	ouvert	135
4_5	117	350	65,02	0,68	1,27	ouvert	135
5_H	167,1	350	58,18	0,6	1,04	ouvert	135
5-5'	101,9	80	2,48	0,49	3,98	ouvert	135
7-7'	220,2	80	2,5	0,5	4,04	ouvert	135
7_8	70,9	100	7,02	0,89	9,23	ouvert	135
8-8"	220,2	80	2,5	0,5	0,04	ouvert	135
8-8'	54,7	80	0,62	0,12	0,31	ouvert	135
C'-19	84,9	150	15,29	0,86	5,4	ouvert	135
19-20	116,4	100	6,21	0,79	7,35	ouvert	135
19-H	191,9	150	3,94	0,22	0,44	ouvert	135
20-20'	91,1	80	1,02	0,2	0,77	ouvert	135
20-20"	162,9	80	1,02	0,2	0,77	ouvert	135
H-21	66,3	350	56,55	0,59	0,98	ouvert	135
21-22	201,5	350	52,09	0,54	0,85	ouvert	135
22-23	70,1	100	9,25	1,18	15,38	ouvert	135
22-25	163,4	350	37,94	0,39	0,47	ouvert	135
23-23'	81,1	80	0,9	0,18	0,61	ouvert	135
23-24	80,6	100	5,74	0,73	6,36	ouvert	135
24-24'	126,2	80	1,43	0,28	1,44	ouvert	135
24-24"	82	80	1,01	0,2	0,75	ouvert	135
25-25'	116,2	80	1,31	0,26	1,22	ouvert	135
25-K	88,2	350	32,43	0,34	0,35	ouvert	135
15-16	55	100	19,84	2,53	63,2	ouvert	135
15-I	111,3	300	13,69	0,19	0,15	ouvert	135
16-16'	89,1	80	11,01	2,19	62,96	ouvert	135

17-17'	89,1	80	1,01	0,2	0,75	ouvert	135
17-17"	156,2	80	1,76	0,35	2,11	ouvert	135
17-16	74,7	100	6,37	0,81	7,71	ouvert	135
I-L	410,4	250	11,43	0,23	0,26	ouvert	135
I-26	182,4	300	29,96	0,42	0,64	ouvert	135
26-27	194,5	100	7,76	0,99	11,11	ouvert	135
27-27"	110,1	80	1,24	0,25	1,1	ouvert	135
27-27'	134,5	80	1,51	0,3	1,59	ouvert	135
28-26	74,6	300	42,13	0,6	1,21	ouvert	135
28-28'	329,1	100	3,71	0,47	2,83	ouvert	135
28-29	84,3	300	51,34	0,73	1,74	ouvert	135
29-29'	329,1	100	3,71	0,47	2,83	ouvert	135
29-30	63	300	60,55	0,86	2,37	ouvert	135
30-30'	329,1	100	3,71	0,47	2,83	ouvert	135
J-30	69,4	300	69,46	0,98	3,05	ouvert	135
J-M	441,4	300	39,5	0,56	1,07	ouvert	135
J-31	64,8	200	16,32	0,52	1,5	ouvert	135
31-31'	310	100	3,5	0,45	2,54	ouvert	135
31-32	86,7	200	7,62	0,24	0,37	ouvert	135
32-33	279	150	8,8	0,5	1,94	ouvert	135
32-K	124,7	200	6,7	0,21	0,29	ouvert	135
33-33'	94	80	1,06	0,21	0,82	ouvert	135
33-33"	156,7	80	1,77	0,35	2,12	ouvert	135
K-34	118,9	200	21,98	0,7	2,61	ouvert	135
34-35	58,7	100	4,3	0,55	3,73	ouvert	135
34-36	118,4	200	14,34	0,46	1,18	ouvert	135
35-35'	67,7	80	0,76	0,15	0,45	ouvert	135
L-38	255,3	200	8,39	0,27	0,44	ouvert	135
37-37'	68,4	80	0,78	0,15	0,46	ouvert	135
37-36	58	100	3,49	0,44	2,53	ouvert	135
37-37"	56,9	80	0,64	0,13	0,33	ouvert	135
35-35"	94,1	80	1,06	0,21	0,83	ouvert	135
21-21'	64,2	80	0,72	0,14	0,4	ouvert	135
36-N	351,9	200	4,88	0,16	0,16	ouvert	135
M-43	65	200	14,5	0,46	1,21	ouvert	135
M-38	134,3	200	17,8	0,57	1,77	ouvert	135
38-38'	222,7	150	2,51	0,14	0,19	ouvert	135
43-43'	220,4	100	2,48	2,48	0,32	ouvert	135
43-N	150,3	200	7,1	0,23	0,32	ouvert	135
O-L	319,3	200	11,82	0,38	0,38	ouvert	135
O-P	400,1	150	3,71	0,21	0,39	ouvert	135
4-4'	166,4	80	1,87	0,37	2,36	ouvert	135

P-N	244.8	100	3,56	0,45	2,63	ouvert	135
C'-C''	179.9	100	2,02	0,26	0,92	ouvert	135

Tableau A3.12 : Résultats de la simulation sous Epanet des pressions et des cotes piézométrique au niveau de chaque nœud du redimensionnement avec la méthode de Hardy Cross

Nœuds	Côte terrain (m)	cote piézométrique(m)	débit aux nœuds (m 3/s)	Pression(m)
R	340	-	-	6,0
A	277,3	322,9	0,233	70,6
B'	274,35	324,81	0,0891	68,5
101	270	323,91	0,077613	78
102	268,5	327,20	0,009896	74
102'	262,72	326,78	0,004200	86
103	268,2	326,05	0,005518	69
108	274,28	326,47	0,000882	65
6	268,2	326,66	0,068246	77
C	260,74	326,48	0,064353	81
18	257,6	326,44	0,057	84
D	259,46	326,4	0,054	82
14	257,27	326,23	0,018	79,03
107	257,56	325,99	0,016	81,1
104	265,67	325,99	0,003	75,1
12	257,29	325,97	0,012	90,3
11	257,26	325,91	0,007	86
10	259,37	325,87	0,005	83,08
9	262	325,85	0,003	79,9
E	265,15	325,84	0,015	80,7
106	265,42	325,86	0,018	75,7
105	265	325,82	0,004	70,7
105'	268,37	325,46	0,001	80,8
F	261,6	326,06	0,021	86,8
2	273,72	323,58	0,028	69,9
2'	269	324,26	0,002	76,7
G	270,4	323,46	0,025	80,1
3	270,6	327,27	0,025	76,8
3'	265,6	327,89	0,00220	71,9
4	267	327,19	0,022	70,89
4'	258,2	325,98	0,00223	86,8
5	261,23	325,05	0,021	81
5'	258,37	325,65	0,001	84
H	262,3	325,89	0,020	81,5
19	261,45	325,92	0,004	83
C'	259,55	326,31	0,005	82,8
7	268,7	326,42	0,005	78
7'	261,47	325,53	0,00295	89,3
8	268,39	326,76	0,003	77,1
8'	260	328,74	0,0007	88,1
8''	267,98	329,87	0,0030	78
J	241,34	325,76	0,038	99,2

30	241,34	323,66	0,014	98,2
29	241,83	328,59	0,011	96,7
28	241,53	325,54	0,008	100,0
26	240,51	325,52	0,005	99,0
I	239,08	325,51	0,010	98,97
15	247,59	325,53	0,016	92,89
16	246	322,06	0,004	97,98
16'	240,5	316,45	0,001196	100
17	244,2	321,48	0,003	98,8
17'	240,2	321,41	0,00120	99,06
17"	241,2	321,15	0,00210	97,98
9'	247,9	325,54	0,003	94,8
10'	246,97	325,56	0,00300	97,3
11'	246,92	325,6	0,00301	96,7
13	252,31	325,56	0,006	91,3
13'	242,1	325,05	0,00326	95,9
13"	242	325,16	0,00420	96,8
14'	241,87	325,04	0,00481	98,8
21	263,02	325,83	0,0179	81,8
21'	258,37	325,81	0,0009	88,7
22	257,74	325,69	0,018	87,09
23	254,9	324,61	0,004	89,8
23'	250	324,56	0,001	89,9
24	252	324,1	0,003	90,9
24'	247	323,92	0,002	93,4
24"	245	324,03	0,00110	95,7
25	251,2	325,63	0,013	90,7
25'	245	326,48	0,002	97,2
K	246,55	323,6	0,0103	94,9
32	240,36	326,59	0,006	98,09
31	240,16	327,64	0,009	100,7
18'	249,45	329,13	0,00298	92,3
C"	245,89	328,14	0,00241	96
20	260,33	327,07	0,003	79,76
20'	255	327	0,001	87,89
20"	258	328,94	0,002	83,87
M	238,47	325,38	0,014	99,76
38	241,82	322,27	0,005	98,99
L	235	325,26	0,014	100,7
27	238,2	323,36	0,004	101,3
27'	237,5	323,15	0,002	99,7
27"	237	323,24	0,001	101,8
28'	237,2	324,61	0,00442	102
29'	239,05	324,66	0,00442	99,98
30'	236	324,73	0,00442	102,7
34	242	325,34	0,010	97,81
35	239,38	325,13	0,002	98,76
35'	237	325,1	0,00091	100,65
35"	232,6	325,05	0,00126	105
36	233,68	325,24	0,007	106,8
37	230,63	325,09	0,002	106

37'	223,25	325,06	0,00092	105,67
37"	223	325,07	0,00076	110,8
N	224,8	325,22	0,007	109,7
43	234	325,29	0,004	108
31'	233,85	324,85	0,004	106,7
33	229,5	325,04	0,006	113
33'	231	324,97	0,00126	111,7
33"	226	324,71	0,00210	115,98
P	227,85	324,76	0,005	109,7
O	246	324,97	0,007	94,56
38'	247,95	325,26	0,00299	92,34
43'	240	325,23	0,00296	100,7

Tableau A3.13 : Résultats de la simulation sous Epanet des vitesse et perte de charge au niveau de chaque tronçons du redimensionnements avec la méthode de Hardy Cross

Tronçon	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)	Perte de charge (m)	Rugosité
A - B'	18,6	400	0,709	0,0019660	130
B' - 101	165,3	400	0,622	0,0015142	130
101 - 102	187,3	150	0,597	0,0051403	130
102 - 103	73,8	125	0,503	0,0046883	130
103 - 108	186,1	60	0,168	0,0015006	130
108 - A	244,8	250	0,478	0,0016687	130
101 - 6	52,8	350	0,708	0,0023332	130
6 - C	240,6	400	0,511	0,0010255	130
C - 18	72,6	350	0,593	0,0016394	130
18 - D	70,6	350	0,570	0,0015169	130
D - 14	70,4	200	0,589	0,0033919	130
14 - 107	144,1	150	0,893	0,0114388	130
107 - 104	166,7	60	0,334	0,0057978	130
104 - 103	68,9	100	0,455	0,0052321	130
103 - 102	73,8	125	0,503	0,0046883	130
102 - 101	187,3	150	0,597	0,0051403	130
107 - 12	9,9	150	0,713	0,0073235	130
12 - 11	74,2	125	0,650	0,0077893	130

11 - 10	75,9	100	0,745	0,0138894	130
10 - 9	66,6	100	0,447	0,0050397	130
9 - E	111,1	60	0,578	0,0172104	130
E - 106	33,2	150	0,852	0,0104314	130
106 - 105	142,4	60	0,433	0,0096786	130
105 - 104	157,7	100	0,467	0,0054960	130
104- 107	166,7	60	0,334	0,0057978	130
108 - 103	186,1	60	0,168	0,0015006	130
103 - 104	68,9	100	0,455	0,0052321	130
104 - 105	157,7	100	0,467	0,0054960	130
105 - 106	142,4	60	0,433	0,0096786	130
106 - F	212,8	200	0,564	0,0031144	130
F - 108	323,9	200	0,661	0,0042752	130
B' - 2	157,9	250	0,569	0,0023564	130
2 - G	73	250	0,512	0,0019069	130
G - 3	116	250	0,506	0,0018650	130
3 - 4	59,5	250	0,457	0,0015231	130
4 - 5	117	200	0,672	0,0044098	130
5 - H	167,1	200	0,630	0,0038811	130
H - 19	191,9	60	0,247	0,0031894	130
19 - C'	84,9	100	0,434	0,0047632	130
C' - C	22,4	125	0,369	0,0025355	130
C - 6	240,6	400	0,542	0,0011527	130
6 -101	52,8	350	0,708	0,0023332	130
101-B'	165,3	400	0,622	0,0015142	130
D - J	378,2	250	0,786	0,0044771	130
J - 30	69,4	150	0,752	0,0081223	130
30 - 29	63	150	0,583	0,0049011	130
29 - 28	84,3	150	0,426	0,0026357	130

28 - 26	74,6	100	0,564	0,0079845	130
26 - I	182,4	60	0,455	0,0106852	130
I - 15	111,3	150	0,556	0,0044674	130
15 - E	275	200	0,518	0,0026319	130
E - 9	111,1	60	0,578	0,0172104	130
9 - 10	66,6	100	0,447	0,0050397	130
10 - 11	75,9	100	0,745	0,0138894	130
11 - 12	74,2	250	0,650	0,0077893	130
12 - 107	9,9	150	0,713	0,0073235	130
107 - 14	144,1	125	0,893	0,0114388	130
14 - D	70,4	150	0,589	0,0033919	130
D -18	70,6	350	0,535	0,0013369	130
18 - C	72,6	350	0,557	0,0014520	130
C - C'	22,4	125	0,369	0,0025355	130
C'-19	84,9	100	0,434	0,0047632	130
19-H	191,9	60	0,247	0,0031894	130
H - 21	66,3	200	0,571	0,0031963	130
21 - 22	201,5	200	0,567	0,0031446	130
22 - 25	163,4	150	0,726	0,0075906	130
25 - K	88,2	150	0,584	0,0049179	130
K - 32	124,7	60	0,900	0,0414709	130
32 - 31	86,7	100	0,874	0,0191068	130
31 - J	64,8	150	0,537	0,0041713	130
J-D	378,2	300	0,546	0,0017043	130
J - M	441,4	150	0,804	0,0092808	130
M - 38	134,3	100	0,701	0,0123357	130
38 - L	255,3	100	0,459	0,0053131	130
L - I	410,4	150	0,783	0,0088236	130
I -26	182,4	60	0,455	0,0106852	130

26 - 28	74,6	100	0,564	0,0079845	130
28 - 29	84,3	150	0,426	0,0026357	130
29 - 30	63	150	0,583	0,0049011	130
30- J	69,4	200	0,423	0,0017584	130
J -31	64,8	150	0,537	0,0041713	130
31 - 32	86,7	100	0,874	0,0191068	130
32 - K	124,7	60	0,900	0,0414709	130
K - 34	118,9	150	0,558	0,0044869	130
34 - 36	118,4	125	0,599	0,0066211	130
36 - N	351,9	125	0,532	0,0052391	130
N -43	150,3	60	0,842	0,0363450	130
43 - M	65	100	0,506	0,0064409	130
M- J	441,4	150	0,804	0,0092808	130
N - P	244,8	100	0,418	0,0044183	130
P - O	400,1	100	0,684	0,0117183	130
O - L	319,3	125	0,590	0,0064291	130
L -38	255,3	100	0,459	0,0053131	130
38 - M	134,3	100	0,701	0,0123357	130
M - 43	65	100	0,506	0,0064409	130
43 -N	150,3	60	0,842	0,0363450	130