

2020-12

# Modèle de réaménagement du réseau d'alimentation en eau potable en mairie de Bujumbura : cas du quartier Nyakabiga

Masabo, Armel.

UB

---

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/103>

*Téléchargé depuis le dépôt institutionnel officiel de l'Université du Burundi*

**UNIVERSITE DU BURUNDI**  
**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR (FSI)**  
**DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL**



**« MODELE DE REAMENAGEMENT DU RESEAU D'ALIMENTATION EN EAU  
POTABLE EN MAIRIE DE BUJUMBURA :  
CAS DU QUARTIER NYAKABIGA ».**

**Thèse défendue en vue de l'obtention du Grade de Master en Science de l'ingénieur.**  
**Option : Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets, présenté par MASABO  
Armel.**

**Sous la direction de :**  
**Dr Ir Joseph NZEYIMANA**

**Jury de soutenance de mémoire :**

- **Dr Ir MVUYEKURE Jean Claude (Président)**
- **Dr Ir NZEYIMANA Joseph (Directeur)**
- **Dr Ir HATUNGIMANA Daniel (Lecteur Principal)**
- **Dr Ir NIYONZIMA Nestor (Membre)**

**Bujumbura, le 06/10/2020**

**Tél : (257) 22 22 48 82 / (257) 22 22 47 94**

**Email : fsi-info@ub.edu**

## **IDENTIFICATIONS DES MEMBRES DU JURY**

Le jury de soutenance de mémoire est composé par :

- Dr Ir MVUYEKURE Jean Claude (Président)
- Dr Ir NZEYIMANA Joseph (Directeur de mémoire)
- Dr Ir HATUNGIMANA Daniel (Lecteur principal)
- Dr Ir NIYONZIMA Nestor (Membre)

## **DEDICACE**

A mes très chers parents ;

A mes très chers frères ;

A la famille NZEYIMANA Gérard ;

A mes chers amis ;

Je dédie ce travail

## **REMERCIEMENTS**

Au terme de ce travail, je remercie Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui m'a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

Ce travail a vu le jour sous la direction du Docteur Ingénieur NZEYIMANA Joseph, Professeur de l'Université du Burundi, qu'il trouve ici l'expression de mes sincères remerciements pour accepter de me diriger afin de mener à bien cette thèse. Pour ses conseils utiles, ses critiques fructueuses, je tiens à lui exprimer ici ma profonde reconnaissance.

J'éprouve un sentiment de reconnaissance en vers mes parents pour les nombreux sacrifices consentis tout au long de mes études depuis l'école primaire.

J'exprime ma gratitude au professeur Dr Ir MVUYEKURE Jean Claude qui me fait l'honneur de présider ce jury.

Aussi, je remercie les professeurs Dr Ir HATUNGIMANA Daniel, Dr Ir NIYONZIMA Nestor d'avoir accepté d'examiner ce travail malgré leurs nombreuses charges et préoccupations et je leur remercie pour l'intérêt qu'ils ont accordé à cette thèse.

Mes remerciements sont aussi adressés à l'endroit de tous ceux qui m'ont formé depuis l'école primaire jusqu'à l'Université du Burundi particulièrement ceux dans la faculté des Sciences de l'Ingénieur dans le département du Génie civil, Aménagement et Maitrises des projets dont leur compétence et dévouement nous ont été d'une grande utilité.

Je tiens également à remercier :

- Le directeur Général de la REGIDESO ;
- Le directeur Général du Cadastre ;

J'aimerais remercier tout autant à la famille NZEYIMANA Gérard, à mes chers frères, à mes chers amis qui ont contribué à leur manière à l'aboutissement de cette thèse.

A toutes les personnes qui m'ont assisté de près ou de loin, qu'elles trouvent dans ce modeste document l'expression de mes sincères remerciements

## **RESUME**

Notre travail consiste à faire le modèle de réaménagement du réseau d'alimentation en Eau en milieu urbain, cas de la zone NYAKABIGA dans la ville de Bujumbura, capitale Economique du Burundi.

L'objectif de ce travail porte sur la proposition du modèle de desserte en eau en milieu urbain ; afin de réduire les fuites et faciliter la détection et la réparation des pannes éventuelles dans les quartiers de la ville de Bujumbura, en commençant par le quartier NYAKABIGA. Ainsi, pour atteindre les objectifs visés, la démarche méthodologique adoptée a consisté sur :

- Le diagnostic du fonctionnement actuel du réseau
- La collecte des données techniques nécessaires sur la desserte en eau en Mairie de Bujumbura
- Le traitement des données
- L'élaboration d'un modèle hydraulique fiable de desserte en eau

L'étude diagnostic réalisée a montré la présence des pertes d'eau en quantité énorme, sur le réseau existant à cause d'un réseau anarchiquement maillé. De plus, pour réparer une panne quelconque, on est obligé de couper d'abord tout le réseau du quartier jusqu'à ce que toute la panne soit réparée, ce qui gêne énormément les usagers. C'est pour cette raison que nous concentrons notre recherche sur la proposition du modèle de réaménagement de tout le réseau, afin de minimiser le plus possible les fuites d'eau, et pouvoir réserver la quantité perdue dans ces fuites à la desserte des autres ménages nécessaires de la zone NYAKABIGA jusqu'à l'horizon 2045.

En effet, notre projet aboutira aux résultats ci-après :

- ✓ Elimination des fuites d'eaux et conséquemment des pertes d'eaux dans le réseau;
- ✓ Facilitation des raccordements aux nouveaux abonnés ;
- ✓ Récupération des eaux perdues pour les redistribuer aux nouveaux usagers.

## **MOTS CLES :**

Réseau d'eau potable, modèle, réaménagement, distribution, fuites d'eau.

## **ABSTRACT**

Our work consists in making the model for the redevelopment of the urban water supply network in urban areas, the case of the NYAKABIGA zone in the city of Bujumbura, economic capital of Burundi.

The objective of this work relates to the proposed model of water supply in urban areas; in order to reduce leaks and facilitate the detection and repair of possible breakdowns in the districts of the city of Bujumbura, starting with the Nyakabiga district.

Thus, to achieve the objectives, the methodological approach adopted consisted of:

- Diagnosis of the current operation of the network.
- Collect the necessary technical data on the water supply to Bujumbura Town Hall;
- Data processing;
- Development of a reliable hydraulic model of water supply.

The diagnostic study carried out showed the presence of water losses in enormous quantities on the existing network due to an anarchically meshed network. In addition, to repair any breakdown, we have to first cut the entire network in the neighborhood until the entire breakdown is repaired, which greatly inconveniences users. It is for this reason that we are focusing our research on the proposed model for the redevelopment of the entire network, in order to minimize water leaks as much as possible, and to be able to reserve the quantity lost in these leaks to serve other households needy in the Nyakabiga zone until 2045.

Indeed, our project will lead to the following results:

- Reduction of water leaks and consequently water losses;
- Access to the network in all users and subscribers,
- Distribute the collected water for other populations who need drinking water.

## **KEYWORDS:**

Drinking water network, model, redevelopment, distribution, water leaks.

## LISTES DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau II.6-1 Dénomination des diamètres les plus utilisés .....                                   | 13 |
| Tableau III.3-1:Evolution démographique .....   | 21 |
| Tableau III.3-2:Evolution de la population au niveau de la zone NYAKABIGA pour l’horizon 2045 ..... | 21 |
| Tableau III.4-1:Populations bénéficiaires.....  | 22 |
| Tableau III.4-2:Estimation de la population future .....  | 23 |
| Tableau III.4-3:Consommation moyenne journalier actuelle.....                                       | 24 |
| Tableau III.4-4:Consommation moyenne journalier future.....   | 25 |
| Tableau III.5-1:Nombre de ménages .....   | 25 |
| Tableau III.6-1:Ménages et les besoins pour le Quartier 1.....                                      | 27 |
| Tableau III.6-2: Ménages et les besoins pour le Quartier 2.....                                     | 28 |
| Tableau III.6-3: Ménages et les besoins pour le Quartier 3.....                                     | 29 |
| Tableau III.6-4: Ménages et les besoins pour le Quartier 4.....                                     | 30 |
| Tableau III.7-1:Répartition des débits horaires pendant la journée.....                             | 32 |
| Tableau V.1-1: Itération finale effectuée pour la première maille.....                              | 43 |
| Tableau V.1-2: Itération finale effectuée pour la deuxième maille.....                              | 43 |
| Tableau V.1-3: Itération finale effectuée pour la troisième maille .....                            | 44 |
| Tableau V.1-4: Itération finale effectuée pour la quatrième maille .....                            | 45 |
| Tableau V.1-5: Pertes des charges dans les tronçons.....  | 49 |
| Tableau V.1-6: Pression dans les tronçons .....   | 51 |
| Tableau V.1-7: Pressions dans les nœuds .....   | 52 |
| Tableau V.1-8:Calcul hydraulique du réseau de distribution.....                                     | 53 |
| Tableau VI.1-1: Conduites à commander .....   | 68 |
| Tableau VI.2-1: fouille d’excavation.....   | 71 |
| Tableau VI.2-2: Quantitatifs des fournitures des travaux.....                                       | 72 |
| Tableau VI.2-3: Quantitatifs des fournitures des matériaux.....                                     | 73 |
| Tableau VI.2-4:Synthèse des quantitatifs des fournitures .....                                      | 73 |
| Tableau VI.6-1: Planification des tâches .....  | 74 |

## LISTES DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure II.4-1 : Schéma général des installations du réseau d'AEP en Mairie de Bujumbura .... | 5  |
| Figure II.6-1: Conduite de transport d'AEP.....  | 12 |
| Figure II.6-2: Pose de la conduite de transport d'AEP .....                                  | 12 |
| Figure IV.4-1: Localisation de fuites.....   | 16 |
| Figure IV.4-2: Fuite sur une conduite.....   | 17 |
| Figure III.1-1: Plan de localisation de la zone du Projet.....                               | 20 |
| Figure III.4-1: Population bénéficiaire.....   | 22 |
| Figure III.4-2: Population future .....  | 23 |
| Figure III.6-1: Histogramme des besoins pour le Quartier 1 .....                             | 28 |
| Figure III.6-2: Histogramme des besoins pour le Quartier 2 .....                             | 29 |
| Figure III.6-3: Histogramme des besoins pour le Quartier 3 .....                             | 30 |
| Figure III.6-4: Histogramme des besoins pour le Quartier 4 .....                             | 31 |
| Figure III.7-1: Courbe de la consommation journalière.....                                   | 32 |
| Figure IV.2-1: Modèle proposé d'alimentation en eau potable .....                            | 34 |
| Figure V.1-1: Application du modèle proposé .....  | 41 |
| Figure VI.7-1: Graphique de Gantt .....  | 75 |

## LISTES DES ABREVIATIONS

a : Accroissement de la dotation

AEP : Alimentation en eau potable

IGEBU : Institut géographique du Burundi

ISTEEBU : Institut des Statistiques et des Etudes Economique du Burundi

n : Intervalle des années considéré

Be: Besoin en eau

C,M,A : Correction de la maille adjacente

C,M,P : Correction de la maille principale

Dthé : Diamètre théorique

MRRZN : Modèle de réaménagement du réseau de la zone Nyakabiga

Pn : Population à l'horizon considéré

Po : Population de base

PS : Pression au sol

Qcor : Débit corrigé

Qmax j : consommation maximale journalière

Qe : Débit entrant

Qmoy,j : Débit moyen journalier

Qmoy,h : Débit moyen horaire

OMS : Organisation mondiale de la Santé

Qs : Débit sortant

R : Résistance de la conduite

REGIDESO : Régie de Production et de Distribution d'Eau et d'Electricité

V : Vitesse

$\tau$  : Taux d'accroissement moyen de la population

$\Delta H_t$  : Perte de charge totale

## TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY .....   | i         |
| DEDICACE .....   | iii       |
| REMERCIEMENTS .....  | iii       |
| RESUME.....  | iv        |
| ABSTRACT .....   | v         |
| LISTE DES TABLEAUX .....   | vi        |
| LISTE DES FIGURES .....  | vii       |
| LISTE DES ABREVIATIONS.....  | viii      |
| <b>Table des matières .....</b>  | <b>ix</b> |
| AVANT-PROPOS .....   | xii       |
| CHAP.I. INTRODUCTION GENERALE .....  | 1         |
| I.1. Introduction .....  | 1         |
| I.2. Problématiques .....  | 2         |
| I.3. Objectifs .....   | 2         |
| I.3.1. Objectif principal.....   | 2         |
| I.3.2. Objectifs spécifiques .....   | 2         |
| I.4. Méthodologie .....  | 2         |
| I.5. Solutions proposées.....  | 3         |
| CHAP.II. REVUE DE LA LITTERATURE.....  | 4         |
| II.1. Potentiel en eau douce au Burundi.....   | 4         |
| II.2.Taux de couverture d'alimentation en eau potable (AEP) en milieu urbain au Burundi..... | 4         |
| II.3. Ressources en eau dans la zone d'étude .....   | 4         |
| II.4. Réseau d'alimentation en eau en Mairie de Bujumbura .....                              | 4         |
| II.4.1. Méthode actuelle de desserte .....   | 5         |
| II.4.2. Principe de la méthode de HARDY-CROSS.....   | 6         |
| II.4.3. Application de la méthode du model rugueux de référence (MMR).....                   | 9         |
| II.5. Traitement de l'eau du lac Tanganyika .....  | 11        |
| II.6. Distribution par pompage .....   | 11        |
| II.7. Facilitation du modèle dans la détection et la réparation des pannes .....             | 14        |
| II.7.1. Mesure globale des fuites.....   | 14        |

|  |    |
|--|----|
| II.7.2. Recherche et localisation des fuites .....                               | 15 |
| CHAP.III. PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE ET ESTIMATION DES BESOINS              | 19 |
| III.1. Situation géographique.....   | 19 |
| III.2. Climatologie .....  | 20 |
| III.3. Nombre des usagers.....   | 21 |
| III.4. Estimation des besoins en eau .....                                       | 21 |
| III.5. Estimation actuelle en 2020.....  | 22 |
| III.6. Estimation future en 2045.....  | 23 |
| III.7. Consommation moyenne journalière.....                                     | 24 |
| III.8. Calcul de la consommation réelle actuelle d’un ménage à Nyakabiga .....   | 25 |
| III.9. La quantité d’eau totale injectée dans le quartier .....                  | 26 |
| III.10. Consommation journalière d’un ménage simple de Nyakabiga.....            | 26 |
| III.11. Calcul des besoins réels de la zone Nyakabiga .....                      | 26 |
| III.12. Calcul du débit moyen horaire .....                                      | 31 |
| CHAP.IV. MODELE PROPOSE POUR LA DESSERTE EN EAU EN MILIEU URBAIN AU BURUNDI..... | 33 |
| IV.1. Raison d’un nouveau modèle.....  | 33 |
| IV.2. Modèle proposé.....  | 33 |
| IV.3. Facilitation dans le calcul de la maille.....                              | 35 |
| IV.4. Facilitation dans les extensions de distribution .....                     | 37 |
| IV.5. Système de distribution.....   | 37 |
| IV.6. Conception d'un réseau .....   | 38 |
| IV.7. Principes du tracé du réseau.....  | 38 |
| IV.8. Mode de distribution.....  | 38 |
| IV.9. Conditions sur les vitesses et les pressions.....                          | 38 |
| IV.10. Mode de pose des conduites .....  | 40 |
| CHAP.V. APPLICATION DU MODELE SUR LE QUARTIER NYAKABIGA.....                     | 41 |
| V.1. Maille proposée et son calcul.....  | 41 |
| V.1.1. Par la méthode de HARDY-CROSS.....  | 42 |
| V.1.1.1. Equilibre des mailles.....  | 42 |
| V.1.1.2. Calcul hydraulique du réseau maillé.....                                | 45 |
| V.1.1.3. Calcul des pertes de charge dans chaque tronçon.....                    | 48 |

|  |    |
|--|----|
| V.1.1.4. Calcul des pressions dans les tronçons .....                        | 51 |
| V.1.2. Calcul des pressions dans les nœuds .....                             | 52 |
| V.2. Facilitation du modèle dans le calcul de la maille .....                | 65 |
| V.3. Facilitation du modèle dans la détection et réparation des pannes ..... | 66 |
| V.4. Facilitation dans le raccordement des extensions éventuelles .....      | 66 |
| CHAP.VI. ESTIMATION DU COUT DU PROJET .....                                  | 68 |
| VI.1. Quantitatif des fournitures.....                                       | 68 |
| VI.1.1. Tuyauteries .....  | 68 |
| VI.1.2. Accessoires à la tuyauterie .....                                    | 69 |
| VI.2. Quantitatif des travaux .....  | 69 |
| VI.2.1. Déblai .....   | 69 |
| VI.2.2. Remblai .....  | 71 |
| VI.2.3. La pose des tuyaux .....   | 72 |
| VI.2.4. La construction des chambres de vannes .....                         | 72 |
| VI.3. Estimation des délais d'exécution des travaux.....                     | 74 |
| VI.4. Planification des tâches .....   | 74 |
| VI.5. Planning de Gantt .....  | 75 |
| VI.6. Devis estimatif.....   | 76 |
| CHAP.VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....                                | 78 |
| VII.1. Conclusion .....  | 78 |
| VII.2. Recommandations .....   | 78 |
| REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....   | 79 |
| ANNEXE : .....   | 81 |

## **AVANT-PROPOS**

L'eau, source de la vie et de développement, compte parmi les richesses naturelles les plus précieuses dans les différents domaines, ayant une importance considérable pour le développement économique du pays.

L'alimentation des besoins en eau d'une agglomération nous exige de donner une norme fixée pour chaque catégorie des utilisateurs, cette norme unitaire (dotation) est définie comme un rapport entre le débit journalier et l'unité d'utilisateur. Cette estimation en eau dépend de plusieurs facteurs (l'augmentation de la population, équipements sanitaires, niveau de vie de la population...), elle dépend d'une période à autre et d'une agglomération à autre.

Ainsi, pour calculer la consommation réelle d'un ménage, on doit d'abord chercher les données à la REGIDESO. Nous avons rassemblé toutes les facturations de la zone Nyakabiga couvrant la période du 01/09/2018 au 28/02/2019. Et puis on peut faire le comptage des ménages existant dans notre zone.

# **CHAP.I.INTRODUCTION GENERALE**

## **I.1 Introduction**

Plusieurs quartiers de la Mairie de Bujumbura plus particulièrement les anciens quartiers ont actuellement des problèmes d'approvisionnement en eau potable, et le réseau en entier accuse beaucoup de pertes d'eau, et la réparation des pannes devient très difficile.

Devant une telle situation, il est impératif de proposer le modèle de desserte le plus fiable pour l'élimination des pertes et la protection du réseau. Ce modèle consiste à la pose d'une conduite principale autour de tout le quartier et de laquelle partiront des conduites secondaires entrant dans le quartier et formant ainsi les anneaux de la maille de desserte. Les conduites tertiaires de raccordements dans les parcelles partiront des conduites secondaires allongées le long des pistes intérieures du quartier, comme le montre la figure n° IV.2-1

Ce modèle sera appliqué dans tous les anciens quartiers, et nouveaux quartiers viabilisés par l'Etat. La première application, qui est l'objet de ma Thèse, est faite sur le quartier NYAKABIGA, afin de régler définitivement les problèmes de pertes d'eau et de réparation des pannes éventuelles.

Notre travail a pour mission de résoudre tous les problèmes ci-haut cités en vue de satisfaire les abonnés du quartier Nyakabiga en quantité suffisante, et de récupérer les pertes d'eau pour les raccorder aux nouveaux abonnés éventuels.

Enfin, le modèle proposé est un modèle qui facilite les calculs de vérification des débits et des pressions qui circulent dans les conduites, afin de garantir le confort des usagers du quartier en matière d'alimentation en eau potable.

Le résultat fondamental attendu de cette étude est d'assurer l'approvisionnement en eau potable aux habitants de Nyakabiga, en quantité suffisante et en récupérant les eaux des anciennes fuites pour les redistribuer aux nouveaux abonnés éventuels.

## **I.2 Problématiques**

- ❖ Le réseau de desserte en eau du quartier NYAKABIGA est anarchiquement maillé, ce qui provoque beaucoup de fuite d'eau, car les pressions dans les conduites ne sont pas contrôlées.
- ❖ En cas de réparation d'une panne quelconque, on est obligé de couper sur la vanne principale et tous les usagers sont obligés d'attendre la fin de la réparation pour le réapprovisionnement en eau.

## **I.3 Objectifs**

### **I.3.1 Objectif principal**

Proposer un modèle d'aménagement le plus fiable des réseaux d'alimentation en eau, dans des quartiers viabilisés de la ville de Bujumbura et à l'intérieur du pays.

Obtenir un réaménagement du réseau, pour le rendre plus fiable en éliminant les fuites d'eau et en facilitant la détection et la réparation des pannes éventuelles.

### **I.3.2 Objectifs spécifiques**

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

- Proposer un modèle de desserte d'eau qui élimine les fuites ;
- Concevoir un modèle de distribution d'eau qui facilite la détection des pannes
- Proposer un modèle de desserte en eau qui facilite le contrôle des pressions dans les conduites ;
- Appliquer le modèle proposé sur le Quartier Nyakabiga ;
- Faire une nouvelle distribution d'eau potable dans le quartier

## **I.4 Méthodologie**

La méthodologie à suivre est :

- Revue de la littérature,
- Collectes des données,
- Traitements des données,
- Concevoir un modèle.

## **I.5 Solutions proposées**

Le réarrangement du réseau dans tout le quartier supposera la fermeture des anciens raccordements et l'ouverture des nouveaux qui répondront à la facilitation des détections des pannes et à l'élimination des fuites. Les conduites resteront inchangées mais les raccordements seront carrément modifiés pour répondre aux objectifs du nouveau modèle.

## **CHAP.II. REVUE DE LA LITTERATURE**

### **II.1 Potentiel en eau douce au Burundi**

Les potentialités hydrauliques du Burundi comprennent les ressources en eaux pluviales, les ressources en eaux de surface y compris les lacs et les rivières ainsi que les ressources en eaux souterraines [NTAKARUTIMANA Francine, 2016].

### **II.2 Taux de couverture d'alimentation en eau potable (AEP) en milieu urbain au Burundi**

Le taux de couverture en eau potable définit le pourcentage de la population qui a accès à une source d'approvisionnement en eau potable.

### **II.3 Ressources en eau dans la zone d'étude**

Les sources en eau captées se situent dans le lac Tanganyika proche de la ville de Bujumbura et l'eau produite arrive à la population par pompage. La prise est effectuée à 3500m du bord du Lac TANGANYIKA. Le Lac étant considéré comme un décanteur naturel, le captage de l'eau à une grande distance de la rive et à une profondeur suffisante suppose que l'endroit contient moins de corps en suspension qu'à la rive où les eaux sont chargées de boues et d'autres impuretés. Les conduites d'amenées sont équipées à leurs entrées par des équipements de prise d'eau munis de crépines qui arrêtent les éventuels corps flottant qui viendraient s'introduire dans la prise d'eau [Rapport d'étude intermédiaire Tome III].

### **II.4 Réseau d'alimentation en eau en Mairie de Bujumbura**

Il est constitué par 5 étapes à savoir le captage, le traitement, le pompage, le stockage et la distribution, comme le montre la figure ci-dessous

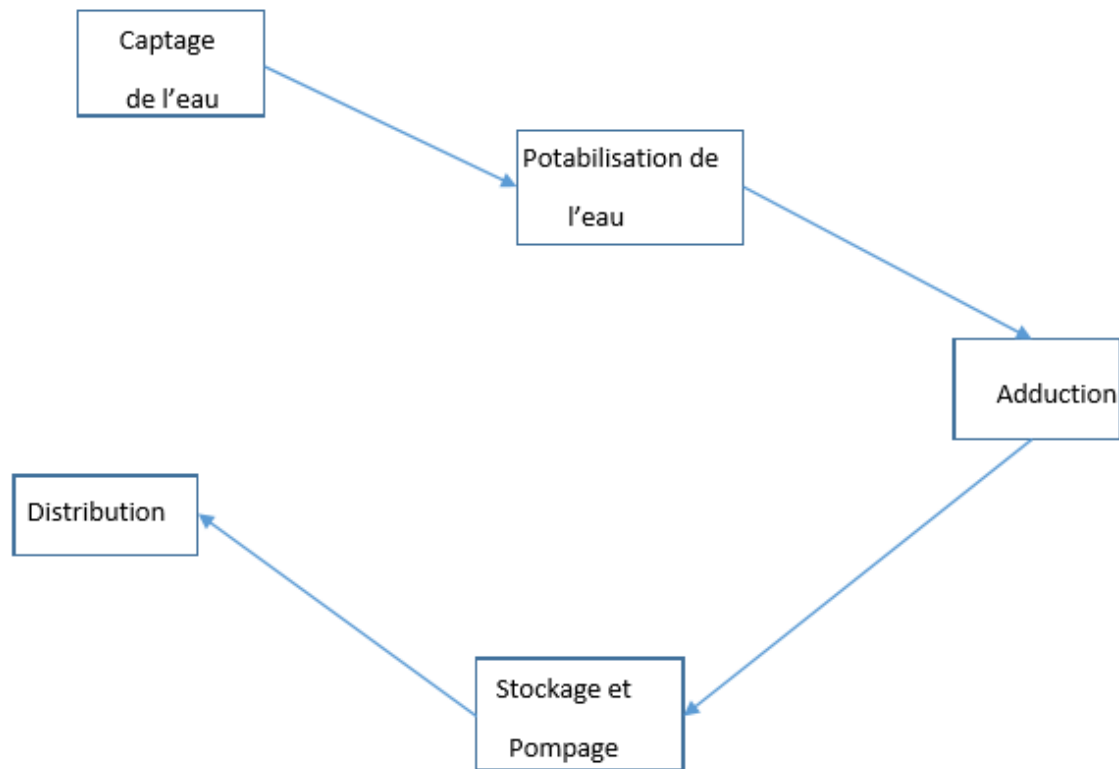
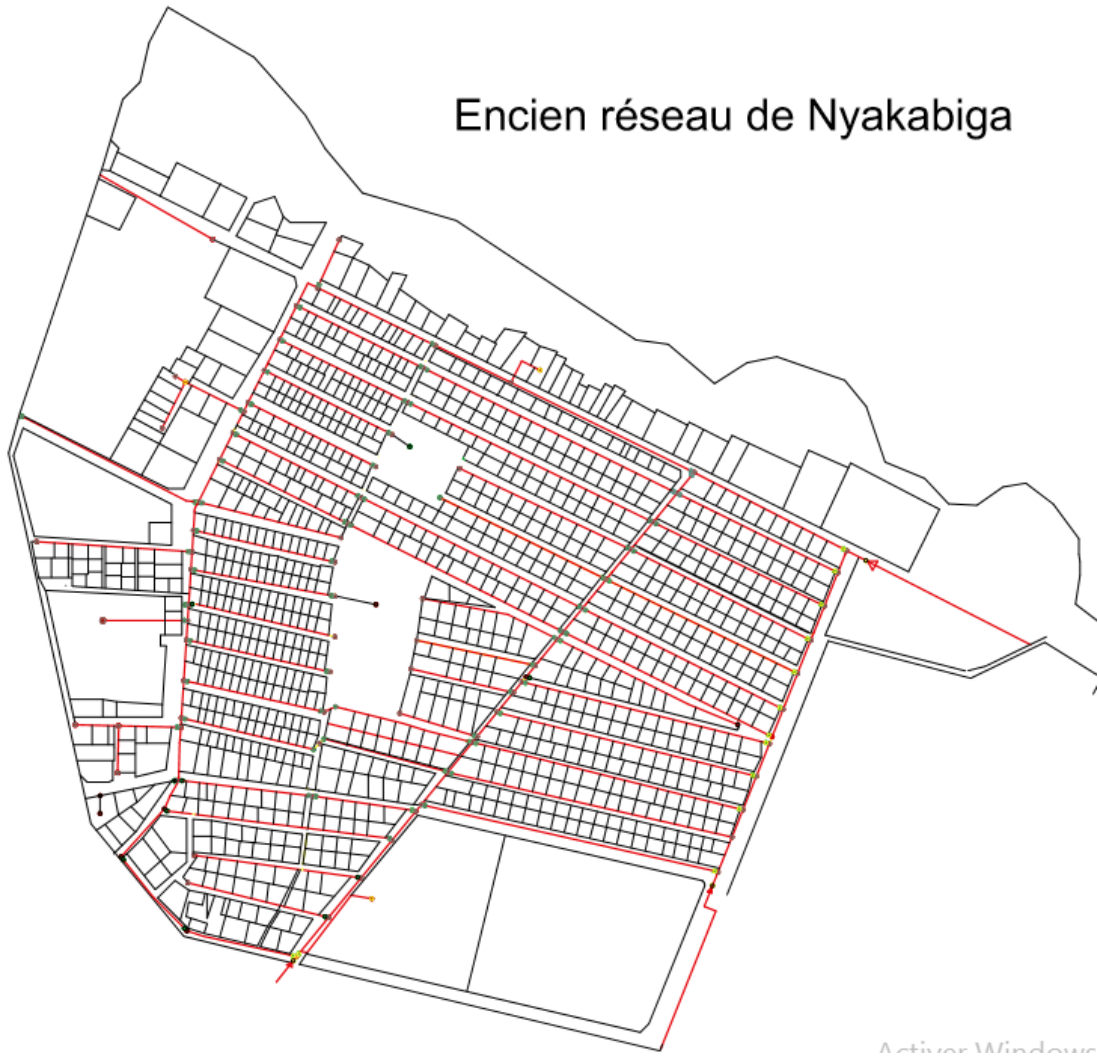


Figure II.4-1 Schéma général des installations du réseau d'AEP en Mairie de Bujumbura

#### II.4.1 Méthode actuelle de desserte

La desserte actuelle est constituée des mailles anarchiques que les agents de la REGIDESO ont établi entre les avenues, en raccordant vaille que vaille aux parcelles des usagers qui sollicitent les raccordements. Cette façon de desserte en eau a rendu difficile la détection des pannes, à tel point que si on veut réparer une fuite quelconque, on est obligé de couper sur la conduite principale, jusqu'à ce que la panne soit réparée ! En plus, avec la desserte anarchique actuelle, il est quasiment impossible de vérifier les pressions dans les conduites d'alimentation, puisqu'on ne sait pas de quel nœud doit-on commencer les calculs (voir le Schémas ci-dessous).

## Encien réseau de Nyakabiga



C'est pour cela que je propose un modèle des dessertes qui facilitera en même temps la vérification des pressions dans les nœuds qui ont proche dans les parcelles par la méthode simple de Hardy-Cross et la méthode du modèle rugueux de référence (MMR).

### II.4.2 Principe de la méthode de HARDY-CROSS

Avant toute étude, on doit d'abord montrer la répartition initiale des débits, qui respecte le quota de la moitié à gauche et la moitié à droite du débit entant dans le quartier. Les autres débits qui circulent dans les tronçons sont calculés en soustrayant systématiquement les débits d'alimentation indiqués sur chaque nœud. Ainsi on obtient une maille fermée qui vérifie les deux lois de HARDY-CROSS à savoir la loi des nœuds et la loi des pertes de charge. Le calcul de la maille se fait donc en 7 étapes ci-dessous.

**Opération1** : Numérotter les tronçons et les nœuds et montrer le sens positif de l'écoulement,

qui, en général, est le sens des aiguilles d'une montre. .

**Opération 2 :** Suivant la distribution initiale des débits, déterminer les conduites à utiliser pour chaque tronçon.

**Opération 3 :** Calculer le coefficient des pertes de charge pour chaque tronçon

Selon NIKURADZE, dans les conduites industrielles, le coefficient des pertes de charge  $\lambda$  se

calcule avec la formule : 
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 + 2 \log \frac{D}{2k} \quad (\text{II.1})$$

**Opération 4 :** Calculer les débits réels qui circulent dans les tronçons en appliquant les lois de HARDY-CROSS qui sont énoncées sous deux théorèmes suivants.

A. Théorème des nœuds : Dans une maille fermée, au niveau de chaque nœud, le débit doit

satisfaire la relation : 
$$\sum_{i=1}^n \delta_i Q_i = 0 \quad (\text{II.2})$$

Où  $\delta_i$  = Signe conventionnel affecté au tronçon suivant le sens de l'écoulement

$\delta_i = +$  si le débit est entrant dans le nœud considéré

$\delta_i = -$  si le débit est sortant du nœud considéré

$n$  = le nombre de tronçons qui se rencontrent sur le nœud.

$Q_i$  = débit de chaque tronçon formant le nœud.

B. Théorème des pertes de charge : Dans une maille fermée, la somme des pertes de charge est nulle. Selon DARCY on a :

$$J = \frac{\lambda v^2}{2gd} l \quad \text{avec} \quad V = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad \text{ça donne : } J = \frac{8\lambda l}{g\pi^2 d^5} \cdot Q^2 (m) \quad (\text{II.3})$$

Si on pose  $R = 8\lambda L / g\pi^2 d^5$  (Résistance hydraulique de la conduite) ;

On obtiendra :  $j = R Q^2 (m)$

Selon le théorème des pertes de charge dans une maille, on doit avoir :

$$\sum_{i=1}^m \varepsilon_i R_i Q_i^2 = 0 \quad (\text{II.4})$$

Où  $\varepsilon_i$  = signe conventionnel affecté au sens d'écoulement dans un tronçon considéré

$\varepsilon_i = +1$  si l'écoulement dans le tronçon a le même sens que le sens positif de la maille.

$\varepsilon_i = -1$  si l'écoulement dans le tronçon a le sens contraire au sens positif de la maille.

$m$  = nombre de tronçon formant la maille

### C. La méthode de HARDY-CROSS

D'une manière générale, la répartition initiale des débits étant faite, il est facile de constater que :

$$(i) \text{ cette répartition satisfait toujours la relation } \sum_{i=1}^n \delta_i Q_i = 0 \quad (1) \quad (II.5)$$

$$(ii) \text{ Cette répartition ne satisfait pas toujours la relation } \sum_{i=1}^m \varepsilon_i R_i Q_i^2 = 0 \quad (II.6)$$

la valeur n'est pas nulle, il faut donc un débit de correction  $\Delta Q_i$  qu'il faut ajouter ou retrancher dans chaque tronçon, jusqu'à annuler la somme des pertes des charge.

Après correction, le débit dans chaque tronçon sera :  $Q_i + \varepsilon_i \Delta Q$  avec  $i=1, 2, \dots, m$

Maintenant, introduisons les débits de la relation (3) dans la relation (2).

$$\text{On aura : } \sum_{i=1}^m \varepsilon_i R_i (Q_i + \varepsilon_i \Delta Q)^2 = 0 \quad (II.7)$$

$$\text{Comme : } (Q_i + \varepsilon_i \Delta Q)^2 = Q_i^2 + 2\varepsilon_i Q_i \Delta Q + \varepsilon_i^2 \Delta Q^2 \approx Q_i^2 + 2\varepsilon_i Q_i \Delta Q \quad (II.8)$$

Car  $\varepsilon_i^2 \Delta Q^2$  est négligeable

$$(4) \text{ devient : } \sum_{i=1}^m \varepsilon_i R_i Q_i^2 + \sum_{i=1}^m 2\varepsilon_i^2 R_i Q_i \Delta Q = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^m \varepsilon_i R_i Q_i^2 + \sum_{i=1}^m 2R_i Q_i \Delta Q = 0 \quad (II.9)$$

Car  $\varepsilon_i^2 = 1$

$$\text{On résout l'équation et on trouve : } \Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^m \varepsilon_i R_i Q_i^2}{2\sum_{i=1}^m R_i Q_i} \quad (II.10)$$

- Donc dans chaque anneau de la maille, on doit utiliser la formule (5) pour calculer  $\Delta Q$ , et après utiliser  $\varepsilon_i \Delta Q$  pour corriger le débit dans chaque tronçon de l'anneau. Si la nouvelle répartition n'est pas satisfaisante, on recalcule  $\Delta Q$  avec les nouveaux débits, et on revérifie avec  $\varepsilon_i \Delta Q$  les nouveaux résultats...et ainsi de suite jusqu'à avoir  $\Delta Q = 0$ .

Les débits calculés pour  $\Delta Q = 0$  constitueront alors la répartition finale qui vérifiera la

$$\text{relation: } \sum_{i=1}^m \varepsilon_i R_i Q_i^2 = 0 \quad (II.11)$$

### II.4.3. Application de la méthode du model rugueux de référence (MMR)

C'est une méthode proposée par Achour.B (2007), Professeur au département d'Hydraulique de Biskra et chef du laboratoire LARHYSS c'est une nouvelle méthode et approche pour le calcul de l'écoulement turbulent dans une conduite.

Elles s'appliquent dans toute la gamme de rugosités relatives  $0 \leq \varepsilon / D \leq 5.10^{-2}$  et pour toute valeurs du nombre de Reynolds  $R > 2300$ [4].

Les étapes préconisées pour un tel calcul sont :

- Proposition de pressions aux niveaux des nœuds (Pressions aux sols) variant entre 10 m.c.e et 40 m.c.e et qu'il faut vérifier après le calcul hydraulique (choix du diamètre) ;
- Détermination du gradient hydraulique J pour chaque tronçon suivant la relation :

PA : Pression supposée en amont du tronçon

PB : Pression supposée en aval du tronçon

- Elaboration d'une répartition arbitraire des débits (cas des réseaux maillés).
- Détermination du diamètre géométrique D pour chaque tronçon en fonction des débits des tronçons et des gradients J en application de la relation (12) ou (13) ou (16). Cette évaluation repose sur le calcul des paramètres  $\bar{D}$ ,  $R$   $\psi$  et R du modèle de référence ; le diamètre  $\bar{D}$  est déterminé avec la relation suivante :

$$\bar{D} = (2 \pi^2)^{-1/5} [(Q)^2 / (g * J)]^{1/5} \quad (\text{II.12})$$

Le nombre de Reynolds  $\bar{R}$  est, en vertu de la relation suivante pour  $\bar{Q} = Q$

$$\bar{R} = \frac{4 * Q}{\pi * \bar{D} * V}$$

(II.13)

Les paramètres  $\bar{D}$  et  $\bar{R}$  permettent d'évaluer le facteur  $\psi$  selon la relation (11), soit :

$$\psi = 1,35 * \left[ \log \left( \frac{\bar{D}}{4,75} + \frac{8,5}{\bar{R}} \right) \right]^{-2/5}$$

(I.14)

Le diamètre D se calcule par la relation ci-après :

$$D = \psi \bar{D}$$

## A. Types de réseaux de desserte.

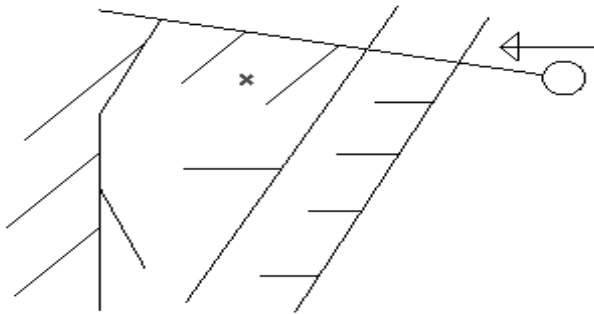
On distingue trois types de réseaux :

### ❖ Le réseau ramifié

L'eau circule dans les tronçons dans un seul sens : des conduites principales vers les conduites secondaires caractérisées par une alimentation à sens unique.

Avantage : Il est plus économique : on utilise peu de tuyaux. Ce réseau est plus facile à calculer.

Inconvénient : En cas de panne en amont, les abonnés de l'aval n'auront pas d'eau. Manque de sécurité, de souplesse en cas de rupture.

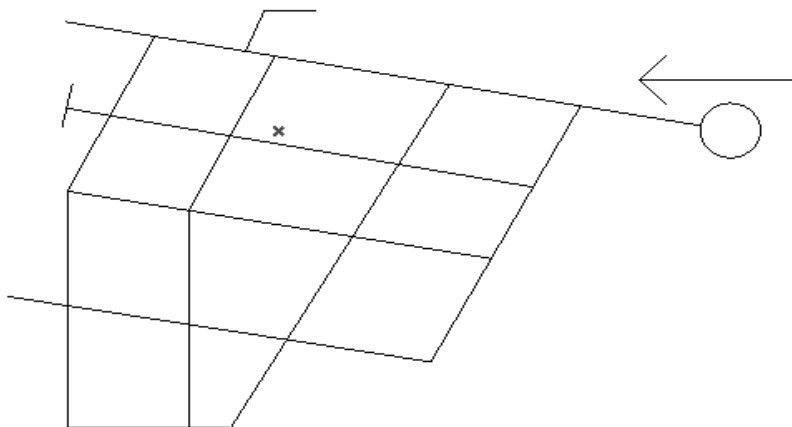


### ❖ Le réseau maillé

Un réseau maillé est un réseau fermé, où les débits se compensent les uns les autres dans une boucle qu'on appelle « La maille ».

Avantage : Il a plus de sécurité dans l'alimentation en cas de rupture ou de fuite d'eau quelque part, il suffit d'isoler la partie défectueuse par un bypass, et le reste du réseau continu à fonctionner normalement.

Inconvénient : Il est plus coûteux et plus difficile à calculer.



## ❖ **Le réseau mixte**

Un réseau est dit mixte (ramifié et maillé), lorsque ce dernier est composé d'une partie ramifiée et une autre maillée. Ce type de schéma est utilisé pour desservir les quartiers périphériques de la ville par ramification issue des mailles utilisées dans le centre du quartier viabilisé.

## **II.5 Traitement de l'eau du lac Tanganyika**

L'eau dans le lac Tanganyika exige généralement un traitement pour le rendre potable.

Les procédés de traitement des eaux les plus utilisés sont :

- Le dégrillage et le dessablage ;
- Coagulation-floculation ;
- Le traitement physico-chimique ;
- La désinfection.

Le traitement des eaux peut être plus ou moins complexe en fonction de l'origine de l'eau de surface. L'objectif du traitement est alors de protéger les consommateurs de micro-organismes pathogènes et d'impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé.

## **II.6 Distribution par pompage**

La distribution par pompage est le moyen d'acheminement de l'eau depuis le lieu de captage jusqu'au niveau des usagers ainsi que des abonnées et depuis le lieu de l'implantation des usagers jusqu'au lieu d'implantation des eaux déjà usées. Mais pour notre travail, l'étude sera orientée sur l'alimentation d'eau jusqu'au lieu d'utilisation.

D'après la formule de Strickler, la capacité de transport d'une conduite est la fonction du diamètre nominal exposant huit tiers [<https://www.dipra.org>, le 20 mai 2020 à 8h]

## ❖ **Catégories des conduites :**

Les conduites les plus employées sont : Tuyaux en matière plastique (PVC), Tuyaux en acier ; Tuyaux en fonte et Tuyaux en béton.



**Figure II.6-1: Conduite de transport d'AEP**



**Figure II.6-2: Pose de la conduite de transport d'AEP**

**a) Les tuyaux en matière plastique :**

Ces tuyaux sont notamment utilisés dans les petites distributions d'eau potable. Parmi ces tuyaux, les plus rencontrés sur terrain sont :

- Le polychlorure de vinyle ou chlorure de polyvinyle (PVC). Ils sont approuvés pour le transport de l'eau potable. Ce genre de tuyau résiste aux pressions de 6 ; 10 et 16bars.
- Le polyéthylène (PEX) : souple et thermoplastique. C'est un tuyau flexible fait pour le transport d'eau ce genre de tuyau résiste aux pressions de 4 ; 6 ; 10 et 16bars.

Le chlorure de polyvinyle (PVC) est souvent utilisé grâce à sa légèreté, sa résistance à la corrosion, sa facilité de pose et sa faiblesse de pertes de charge.

Sur marché, on rencontre les diamètres nominaux (DN) de 20 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50 ; 63 ; 75 ; 90 ; 110 et 160mm.

La durée de vie prévue des systèmes de tuyauterie en plastique dépasse 50 années.

### **b) Les tuyaux en acier**

La fiabilité et la solidité de l'acier sont des qualités qui permettent d'obtenir des structures résistantes et durables. On le retrouve généralement dans des installations collectives, comme le système de chauffage d'immeubles. L'acier peut être utilisé en élévation, être incorporé au bâtiment ou se trouver sous terre.

Ils sont particulièrement employés pour la distribution qui se fait sur une grande distance et aux débits élevés avec de fortes pressions allant au-delà de 40bars.

L'acier le plus utilisé est l'acier galvanisé (AG). Ces tuyaux présentent les diamètres nominaux (DN) suivants :

Tableau II.6-1 Dénomination des diamètres les plus utilisés

| DN (mm) | Norme     | Pouces |
|---------|-----------|--------|
| 15      | 21.3*2.3  | 1/2"   |
| 20      | 26.9*2.3  | 3/4"   |
| 25      | 33.7*2.9  | 1"     |
| 32      | 42.4*2.9  | 1 1/4" |
| 40      | 48.3*2.9  | 1 1/2" |
| 50      | 60.3*3.2  | 2"     |
| 65      | 76.1*3.2  | 2 1/2" |
| 80      | 88.9*3.2  | 3"     |
| 100     | 114.3*3.6 | 4"     |
| 150     | 165.1*4.5 | 6"     |

Source: [www.ltdpipeline.com/fr](http://www.ltdpipeline.com/fr) ; le 04 Août 2020

### **c) Les tuyaux en fonte**

La fonte est le matériau le plus préféré à la fabrication des conduites enterrées. Les tuyaux en fonte sont capables de supporter une pression jusqu'à la pression normale PN et sont résistants à la corrosion et leurs diamètres normalisés sont : 60 ; 80 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200 ; 250 ; 300 ; 350 ; 400 ; 450 ; 500 ; 600 ; 700 ; 800 ; 900 ; 1000 ; 1100 et 1250mm. Ces tuyaux ont une longueur de 6m chacun ; mais avec un emboîtement après le montage du joint.

## **II.7 Facilitation du modèle dans la détection et la réparation des pannes**

Lorsque l'on considère les problèmes de fuites sur le réseau d'alimentation en eau potable, on peut envisager deux types d'intervention.

➤ Une intervention curative

C'est le cas de la grosse fuite qui prive d'eau un quartier ou un certain nombre d'abonnés.

➤ Une recherche systématique

Avant d'engager une recherche systématique des fuites, il faut recueillir un maximum d'informations sur le fonctionnement du réseau.

### **II.7.1 Mesure globale des fuites**

Sur un réseau délimité et connu, la consommation est pratiquement nulle entre minuit et 4 heures du matin; ceci s'entend après élimination de certaines consommations nocturnes exceptionnelles et bien connues telles que : chasses d'égouts, etc... sous réserve que ces consommations soient annulées (par fermeture des branchements correspondants après avis aux abonnés concernés), on peut dire que le débit minimum nocturne absorbé par le réseau est en fait le débit de fuite.

Toute méthode de recherche globale de fuites part de cette hypothèse consiste à mesurer le débit minimum nocturne [METRAVIB, 1986].

#### **➤ Le réseau étudié**

Il faut en premier lieu disposer d'un plan de réseau et, mieux encore, d'un schéma comportant les vannes de sectionnement. Ce schéma est essentiel et préalable à toute recherche de fuites.

Il est également indispensable de s'assurer de la parfaite fermeture des vannes de sectionnement, si quelques-unes d'entre elles sont défectueuses, il convient au préalable d'en assurer la réparation ou le remplacement [METRAVIB,1986].

#### **➤ Localisation des fuites**

D'une manière générale, on divise le réseau en plusieurs parties bien délimitées et on procède à la localisation des fuites en étudiant successivement chaque partie du réseau. Si la totalité du réseau ne peut être étudiée au cours de la même nuit, chaque partie du réseau sera l'objet d'une étude particulière.

La remise en eau d'une conduite provoque des perturbations du débit en cours de mesure. Il ne faudra donc pas rouvrir une vanne fermée. Toute fuite se traduira par une diminution du débit

à partir du moment de la fermeture de la vanne isolant la partie défectueuse du réseau. Le programme de sectionnement doit être établi en indiquant les vannes à manœuvrer en précisant l'horaire de l'ordre. [Van Gogh, 1986].

### ➤ **Interprétation des résultats**

Les indications recueillies doivent être transformées en débits moyens qui représentent en principe les débits d'eau qui sont perdus à cause des fuites sur l'ensemble de la partie des réseaux dont les vannes sont restées ouvertes. Toute diminution du débit moyen est la conséquence de fuites. Sachant quelle est la vanne à manœuvrer ayant provoqué cette chute de débit, il est possible de localiser la partie du réseau où se situe la fuite [METRAVIB, 1986].

### ➤ **Matériel et personnel**

Pour mener à bien la localisation des fuites, il faut disposer d'un personnel qualifié et du matériel approprié, chargé d'effectuer des relevés des compteurs aux instants préalablement fixés. Il sera muni d'une fiche de relevés et d'un chronomètre.

### ➤ **Remarque**

Cette méthode n'est applicable que pour des réseaux de dimensions réduites du type rural ou semi-rural. En effet, il ne serait pas possible, du fait du nombre de manœuvres des vannes que cela nécessiterait, de l'appliquer à un réseau urbain.

### ➤ **Choix des tronçons à examiner en priorité**

Pour choisir entre plusieurs réseaux, ou entre plusieurs morceaux d'un même réseau, celui sur lequel doit porter en priorité l'effort de recherche et de récupération des fuites, il faudra prendre en compte non seulement le débit de fuite, mais aussi la longueur du réseau correspondant.

Exemple :

Après mesure du débit de fuites sur différents tronçons d'un réseau, il a été obtenu la fiche complète (voir en annexe 2)

A priori, le choix se porterait en principalement sur le tronçon n°..., ensuite sur le n° ..., puis sur le n°...

## **II.7.2 Recherche et localisation des fuites**

La recherche des fuites sur les systèmes de distribution comporte plusieurs étapes [METRAVIB, 1986] :

- Mesure globale des fuites et détermination des parties de réseaux susceptibles de posséder les fuites les plus importantes. C'est la partie qui vient d'être traitée (II.7.1).
- La recherche et la localisation des fuites sur les canalisations enterrées, afin que l'on puisse procéder dans les meilleurs délais à la réparation ou à la rénovation des secteurs jugés trop défectueux.

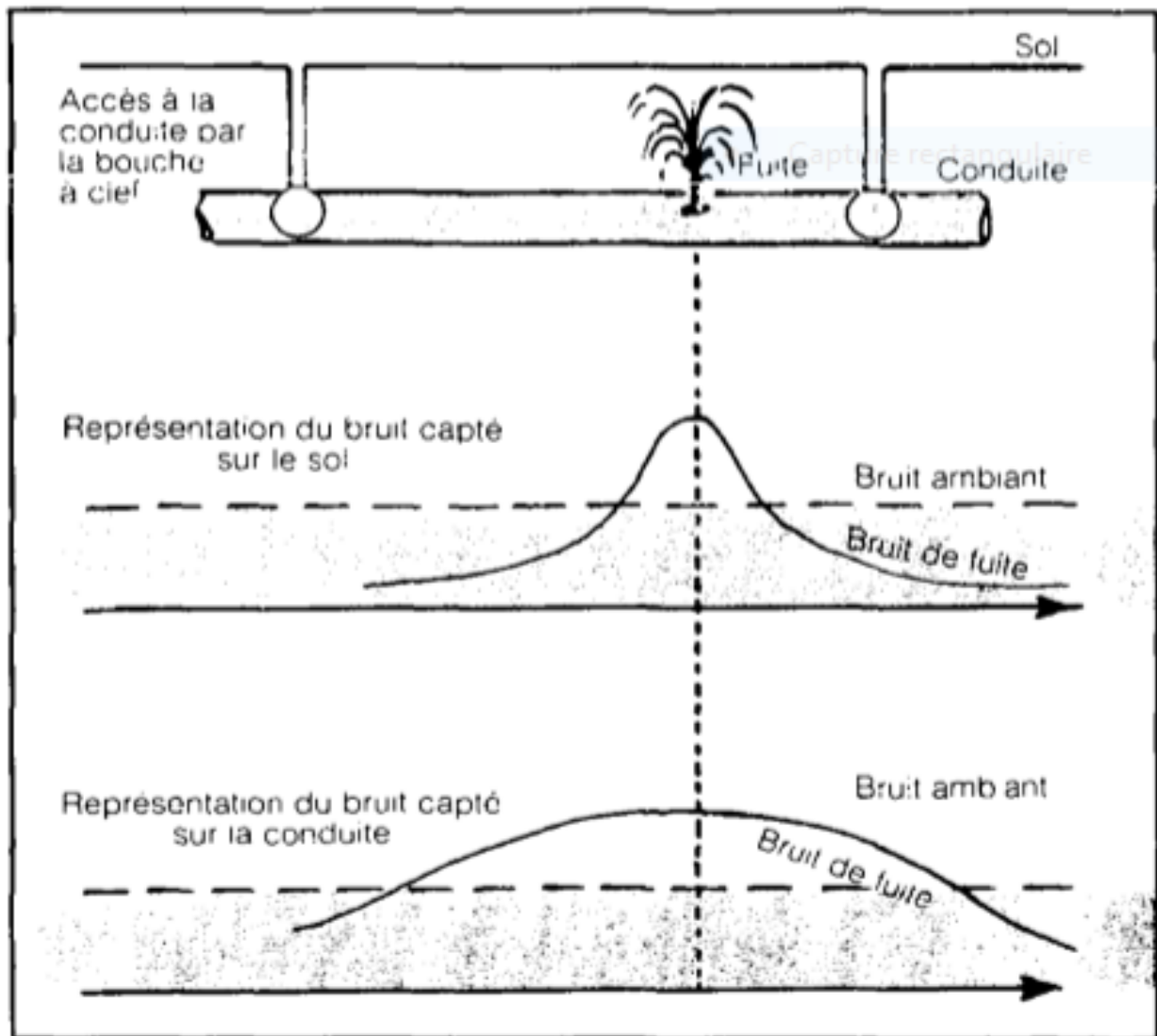


Figure II.7-1: Localisation de fuites

Les appareils mis à la disposition de l'exploitant sont pratiquement tous basés sur le principe du stéthoscope, complété ensuite par des systèmes amplificateurs mécaniques ou électroniques.

On peut les classer en deux catégories :

- Les amplificateurs mécaniques,
- Les amplificateurs électroniques ;

### a. Les amplificateurs mécaniques

Pour, situer les fuites, nos aînés dans la profession utilisaient la clé de manœuvre.

En posant une extrémité sur un point de la conduite et en collant l'oreille sur l'autre extrémité, ils pouvaient, en cas de fuite, entendre le bruit propagé sur une section du réseau ; la transmission étant faible, il fallait une oreille exercée pour en apprécier l'éloignement afin de la localiser précisément. (Van Gogh).

Les détecteurs mécaniques sont généralement utilisés pour des écoutes directes sur le réseau.

### b. Les amplificateurs électroniques

Ils sont basés sur le même principe que les détecteurs mécaniques

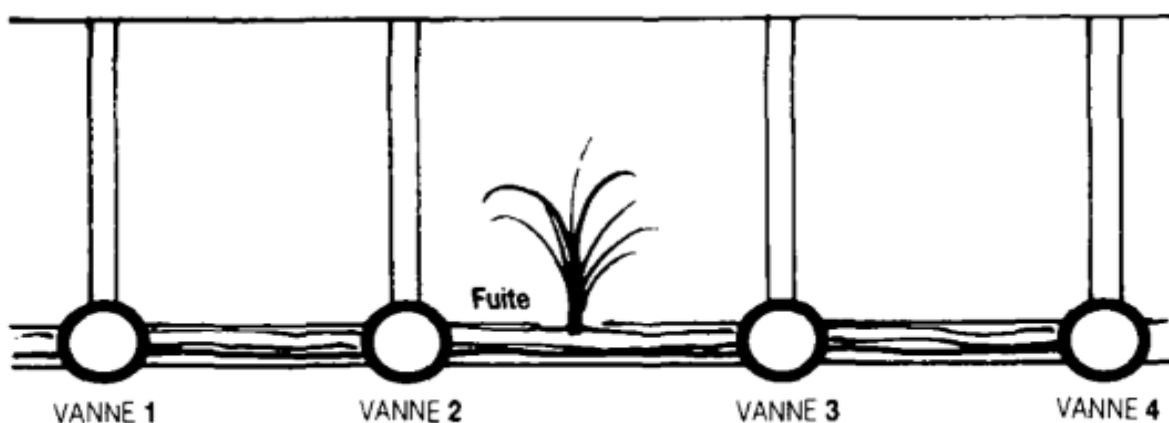
Ils sont constitués de trois éléments principaux :

- Un capteur
- Un amplificateur
- Des écouteurs

La méthode générale d'utilisation de ce type d'appareil consiste à écouter et analyser les bruits captés par contact direct sur les appareils reliés au réseau (arrivées au compteur).

La recherche de fuites avec ces deux types d'appareils nécessite également une certaine habitude (ou expérience aidant) de l'appareil pour obtenir de bons résultats.

Considérons la conduite suivante :



**Figure II.7-2:Fuite sur une conduite**

En premier lieu, on fait une écoute sur la conduite et sur les différentes vannes. Les bruits les plus importants vont se situer aux points d'écoute 2 et 3. Ce qui nous permet de dire que la fuite se situe entre les vannes 2 et 3.

Pour les localisés précisément, on fait une écoute au sol (tous les 50 cm). Lorsque le bruit perçu est maximum, on est au-dessus de la fuite [METRAVIB, 1986].

### **Conclusion :**

L'objectif de ce travail porte sur l'étude du fonctionnement hydraulique du réseau d'alimentation en eau potable pour établir un programme de conception du modèle en milieu urbain afin de réaménager le système de distribution d'eau potable de la zone NYAKABIGA en mairie de Bujumbura.

La problématique du réseau anarchique réside sur les problèmes des fuites ; le réseau est raccordé n'importe comment c'est-à-dire que le réseau est raccordé sur la conduite principale et la conduite secondaire.

En Mairie de Bujumbura, tous les réseaux existant surtout sur les anciens Quartiers viabilisé dans le milieu urbain c'est par rapport aux pistes, routes, voiries, avenues, allés ...c'est une allé que chaque allé qu'il y aura un raccordement d'un côté et un raccordement d'un autre côté sans boucher le milieu. Actuellement, quand il y aura une fuite on est obligé de couper tout le quartier pour résoudre leur panne et la réparation de la panne trop dérangé le fonctionnement du réseau.

Techniquement, les fuites actuelles viennent des surpressions dans les nœuds, ils ne voulaient pas calculés les mailles de cet ancien réseau.

C'est dans cet objectif de proposé un nouveau modèle simple, fiable et applicable calculé par les deux méthodes : la méthode simple de Hardy-Cross et la méthode du modèle rugueux de référence (MMR).

## **CHAP.III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET ESTIMATION DES BESOINS**

Dans ce chapitre, la zone d'étude est présentée, mais aussi les ressources en eau alimentant la Zone Nyakabiga dans la ville de Bujumbura ainsi que les besoins en eau de la population. Les indicateurs de performance sont développés pour décrire le fonctionnement du réseau d'AEP de cette zone.

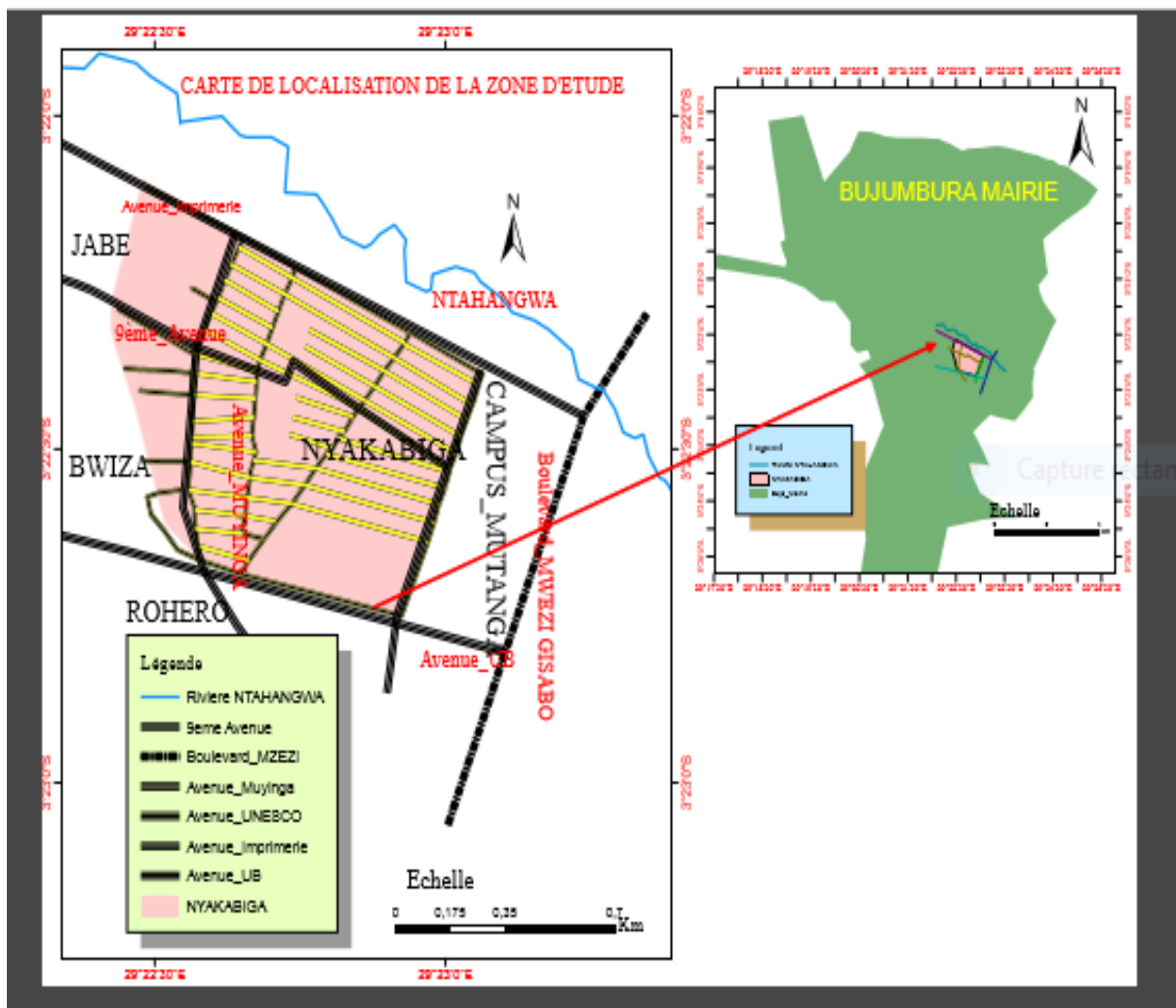
### **III.1 Situation géographique**

Nyakabiga est une zone du Burundi de la commune MUKAZA, se trouvant dans la Mairie de Bujumbura. Elle comptait, en 2008, 18800 habitants et elle compte en 2020, 21185 habitants.

Les environs de Nyakabiga sont constitués d'une mosaïque de terres agricoles et de végétations naturelles. Mais la zone est densément peuplée, avec 613hab/km<sup>2</sup>.

Cette zone, physiquement rattachée à la capitale économique Bujumbura, fait partie des « interminables quartiers de terre et de tôle » de la capitale économique du Burundi. La couverture était enlevée autour du centre-ville.

Le site du projet se situe à l'extrême Ouest de Jabe, elle est limitée géographiquement au Nord par la rivière Ntakangwa, Nord-Est par le campus Mutanga et au Sud par la zone Rohero.



**Figure III.1-1: Plan de localisation de la zone du Projet**

### III.2 Climatologie

Le climat de la région est tempéré. La température moyenne annuelle dans cette zone est de 32,27<sup>0</sup>c. Le mois le plus chaud est Février, lorsque la température moyenne est de 35,30<sup>0</sup>c, et le plus froid est janvier avec 17<sup>0</sup>c.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 1037,30mm. Le mois de décembre est le plus pluvieux, avec une moyenne de 246mm de précipitations et le plus sec est juillet avec 3,7mm de précipitations.

La zone, en même temps que la ville, jouit d'un climat tropical tempéré par l'altitude. Ceci parce qu'elle est située au -3,32<sup>0</sup> Latitude Sud, 783mm altitude et 29,32<sup>0</sup> longitudes Est [AMIROUCHE M ; 2017].

### III.3 Nombre des usagers

En 2008, la population de NYAKABIGA était de 18 800 habitants contre 21185 habitants en 2020. Il donne l'évolution de la population (OMS, 2008):

Evolution démographique au niveau de la zone NYAKABIGA (OMS, 2008)

Tableau III.3-1:Evolution démographique

|           |        |        |       |
|-----------|--------|--------|-------|
| Années    | 1990   | 2008   | 2020  |
| Habitants | 15 738 | 18 800 | 21185 |

L'évolution de la démographie est estimée selon la loi des accroissements, donnée par la formule statistique suivante :

$$P_n = P_0 * (1 + \tau)^n$$

(III.1)

Avec :

$P_n$  : Population à l'horizon considéré

$P_0$  : Population de base

$N$  : Intervalle des années considéré (25ans)

$\tau$  : Taux d'accroissement moyen de la population

Le résultat est donné par le tableau suivant :

Tableau III.3-2:Evolution de la population au niveau de la zone NYAKABIGA pour l'horizon 2045

|        |        |       |       |
|--------|--------|-------|-------|
| 1990   | 2008   | 2020  | 2045  |
| 15 738 | 18 800 | 21185 | 27169 |

### III.4 Estimation des besoins en eau

L'estimation des besoins en eau d'une agglomération dépend de plusieurs facteurs (évolution de la population, des équipements sanitaires, du niveau de vie de la population, commerce et utilisation publique, etc.). Elle diffère aussi d'une période à une autre et d'une agglomération à une autre.

### III.5 Estimation actuelle en 2020

L'évolution de la démographie est estimée selon la loi des accroissements (voir III.3).

Tableau III.5-1:Populations bénéficiaires

| Agglomération/<br>Localité               | Taux<br>d'accroissement<br>Moyen en % | Population<br>Actuelle Po en 2008 | Population à<br>l'horizon Pn en 2020 |
|--|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Nyakabiga I                              | 1.0                                   | 6253                              | 7046                                 |
| Nyakabiga II                             | 1.0                                   | 5717                              | 6442                                 |
| Nyakabiga III                            | 1.0                                   | 5693                              | 6415                                 |
| Q.Kigwati                                | 1.0                                   | 1138                              | 1282                                 |
| Population touchée par la présente étude |                                       | 18800                             | 21185                                |

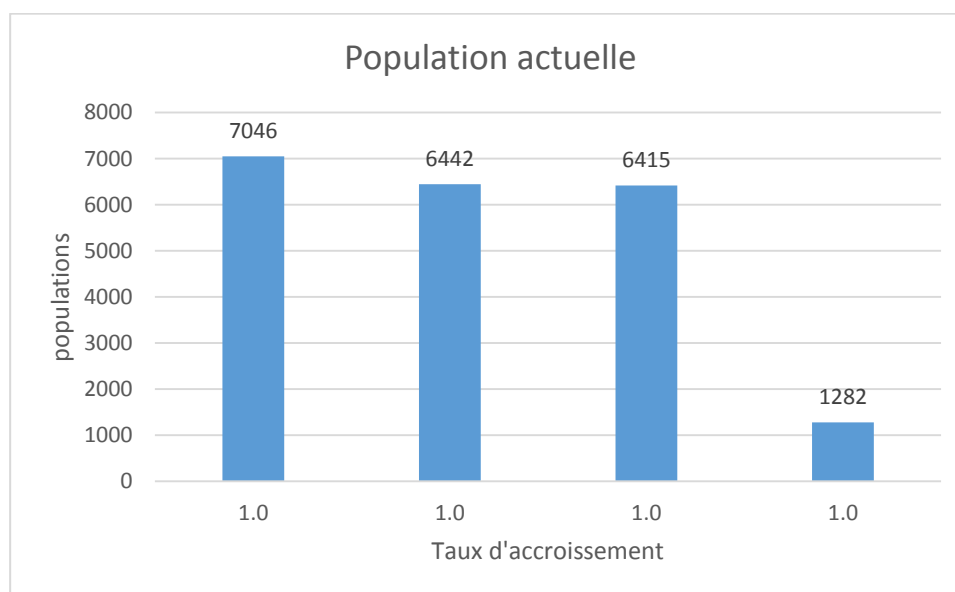


Figure III.5-1:Population bénéficiaire

### III.6 Estimation future en 2045

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour établir la prévision d'évolution d'une population,

Ces méthodes sont les suivantes :

- la méthode graphique, qui consiste à tracer une extrapolation de la courbe de Croissance de la population, tenant compte des événements antérieurs de la variation de la population dans le temps;
- la méthode comparative, qui procède par évaluation avec d'autres quartiers ayant connu des évolutions similaires, en examinant leurs caractéristiques socio-économiques comparables ;
- L'hypothèse de croissance géométrique, c'est-à-dire d'un taux de croissance proportionnel à la population.

Le taux d'accroissement de l'aire d'étude est de 1.0%.

Tableau III.6-1: Estimation de la population future

| Agglomération/<br>Localité               | Taux d'accroissement<br>Moyen en % | Population<br>Actuelle Po en 2020 | Population à l'horizon<br>Pn en 2045 |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Nyakabiga I                              | 1.0                                | 7046                              | 9036                                 |
| Nyakabiga II                             | 1.0                                | 6442                              | 8261                                 |
| Nyakabiga III                            | 1.0                                | 6415                              | 8227                                 |
| Q.Kigwati                                | 1.0                                | 1185                              | 1644                                 |
| Population touchée par la présente étude |                                    | 21185                             | 27168                                |

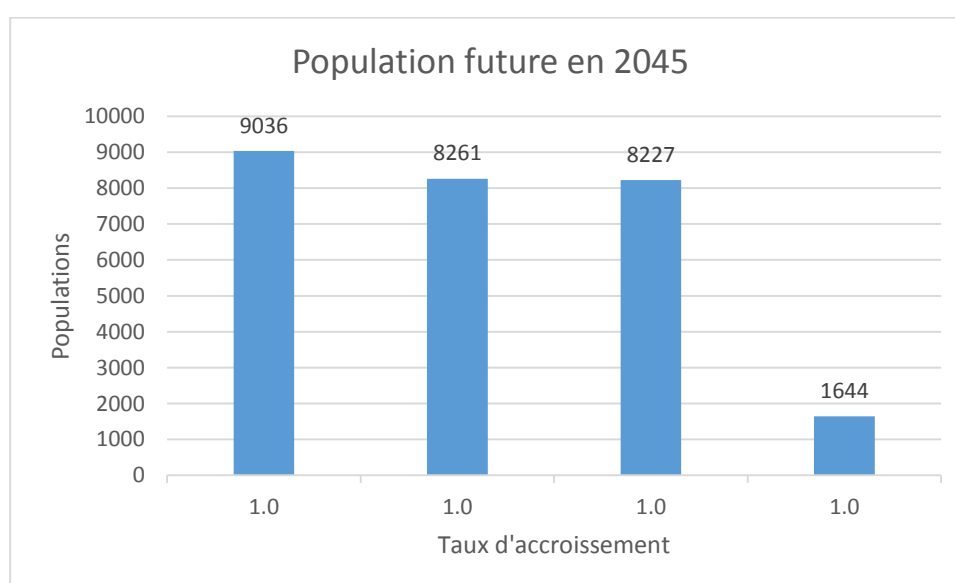


Figure III.6-1: Population future

### III.7 Consommation moyenne journalière

Avant tout projet d'alimentation en eau potable, il est important de réaliser un recensement de toutes les familles de consommateurs rencontrés au niveau d'une agglomération.

Pour notre étude, il est nécessaire d'étudier sur les différents paramètres de besoins, tels que :

- Les besoins domestiques ;
- Les besoins administratifs ;
- Les besoins sanitaires ;
- Les besoins socio-culturels ;
- Les besoins scolaires ;
- et les besoins commerciaux.

La consommation moyenne journalière est définie comme étant le produit de la dotation moyenne journalière par le nombre de consommateurs, pour répondre à toutes les sortes de consommation.

Elle est calculée par la formule suivante :

$$Q_{moy, j} = \frac{T * N}{1000}$$

(III.2)

Où :

- $Q_{moy, j}$  : débit moyen journalier ( $m^3/j$ ) ;
- T : dotation moyenne journalière (l/j/hab) ;
- N : nombre d'usage pour chaque catégorie de consommateurs.

Les besoins en eau sont donnés dans le tableau ci-après :

Tableau III.7-1: Consommation moyenne journalier actuelle

| Agglomérations | Populations | Dotation (l/j/hab) | Débit moyen journalier ( $m^3/j$ ) |
|----------------|-------------|--------------------|------------------------------------|
|                | 2020        |                    | 2020                               |
| Nyakabiga I    | 7046        | 100                | 704,6                              |
| Nyakabiga II   | 6442        | 100                | 644,2                              |
| Nyakabiga II   | 6415        | 100                | 641,5                              |
| Q.Kigwati      | 1282        | 100                | 128,2                              |
| Total          | 21185       |                    | 2118,5                             |

Tableau III.7-2: Consommation moyenne journalier future

| Agglomérations | Populations | Dotation (l/j/hab) | Débit moyen journalier (m <sup>3</sup> /j) |
|----------------|-------------|--------------------|--|
|                | 2045        | 100                | 2045                                       |
| Nyakabiga I    | 9036        | 100                | 903,6                                      |
| Nyakabiga II   | 8261        | 100                | 826,1                                      |
| Nyakabiga II   | 8227        | 100                | 822,7                                      |
| Q.Kigwati      | 1644        | 100                | 164,4                                      |
| Total          | 27168       |                    | 2716,8                                     |

### III.8 Calcul de la consommation réelle actuelle d'un ménage à Nyakabiga

Pour calculer la consommation réelle d'un ménage, on doit d'abord chercher les données à la REGIDESO. Nous avons rassemblé toutes les facturations de la zone Nyakabiga couvrant la période du 01/09/2018 au 28/02/2019 (voir Annexe4 « Rapport des ventes par catégorie d'abonné). Et puis on peut faire le comptage des ménages existant dans notre zone.

Tableau III.8-1: Nombre de ménages

| Quartiers | Ménages |
|-----------|---------|
| Q1        | 149     |
| Q2        | 360     |
| Q3        | 166     |
| Q4        | 426     |
| Total     | 1101    |

Les principales données pour le calcul de la consommation réelle d'un ménage sont :

- Nombre de jours considérés de cette période : 181 jours
- Quantité totale d'eau pendant la période : 249306 m<sup>3</sup>/j
- Nombre total de parcelles (ménages) : 1101 ménages

### III.9 La quantité d'eau totale injectée dans le quartier

La détermination de la quantité d'eau par jour pour toute la zone est le rapport de la quantité totale d'eau durant une période par le nombre total de jours.

La quantité d'eau par jour pour toute la zone 
$$= \frac{\text{Quantité totale d'eau}}{\text{Nombre de jours}}$$
  
(III.3)

La quantité d'eau par jour pour toute la zone 
$$= \frac{249306}{181} = 1377,381215 \text{ m}^3/\text{j}$$

### III.10. Consommation journalière d'un ménage simple de Nyakabiga

La détermination de la quantité d'eau par jour par ménage est le rapport entre la quantité d'eau par jour pour toute la zone et le nombre total des ménages.

La quantité d'eau par jour /ménage 
$$= \frac{\text{Quantité d'eau /j pour toute la zone}}{\text{Nombre total des ménages}}$$
  
(III.4)

La quantité d'eau par jour par ménage 
$$= \frac{1377,381215}{1101} = 1,251027 \text{ m}^3/\text{j}$$

La consommation réelle d'un ménage de cette zone est égale à  $1,251027 \text{ m}^3/\text{j}$

### III.11. Calcul des besoins réels de la zone Nyakabiga

Pour le calcul des besoins de la zone NYAKABIGA, on a eu recours au recensement des ménages en subdivisant la zone Nyakabiga en quatre quartiers. Après avoir trouvé la totalité des ménages pour chaque quartier, on a fait la sommation des ménages de la zone.

Ainsi, il faut choisir la norme utilisée en se référant à la consommation moyenne réelle calculée par ménage. En effet, le calcul des besoins se fait alors premièrement en multipliant chaque ménage par leur norme et puis en faisant la sommation.

Les tableaux 1, 2, 3 et 4 respectivement des histogrammes montrent les effectifs des ménages et la quantité des besoins sur chaque nœud du réseau.

Tableau 0-1: Ménages et les besoins pour le Quartier 1

| Nœuds | Ménages | Norme (m <sup>3</sup> /j) | Besoin (m <sup>3</sup> /j) |
|-------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 1     | 6       | 1,5                       | 9                          |
| 2     | 6       |                           | 9                          |
| 3     | 6       |                           | 9                          |
| 4     | 7       |                           | 10,5                       |
| 5     | 6       |                           | 9                          |
| 6     | 7       |                           | 10,5                       |
| 7     | 7       |                           | 10,5                       |
| 8     | 7       |                           | 10,5                       |
| 9     | 7       |                           | 10,5                       |
| 10    | 8       |                           | 12                         |
| 11    | 8       |                           | 12                         |
| 12    | 8       |                           | 12                         |
| 13    | 7       |                           | 10,5                       |
| 14    | 7       |                           | 10,5                       |
| 15    | 7       |                           | 10,5                       |
| 16    | 6       |                           | 9                          |
| 17    | 7       |                           | 10,5                       |
| 18    | 6       |                           | 9                          |
| 19    | 7       |                           | 10,5                       |
| 20    | 6       |                           | 9                          |
| 21    | 6       |                           | 9                          |
| 22    | 7       |                           | 10,5                       |
| Total | 149     |                           | 223,5                      |

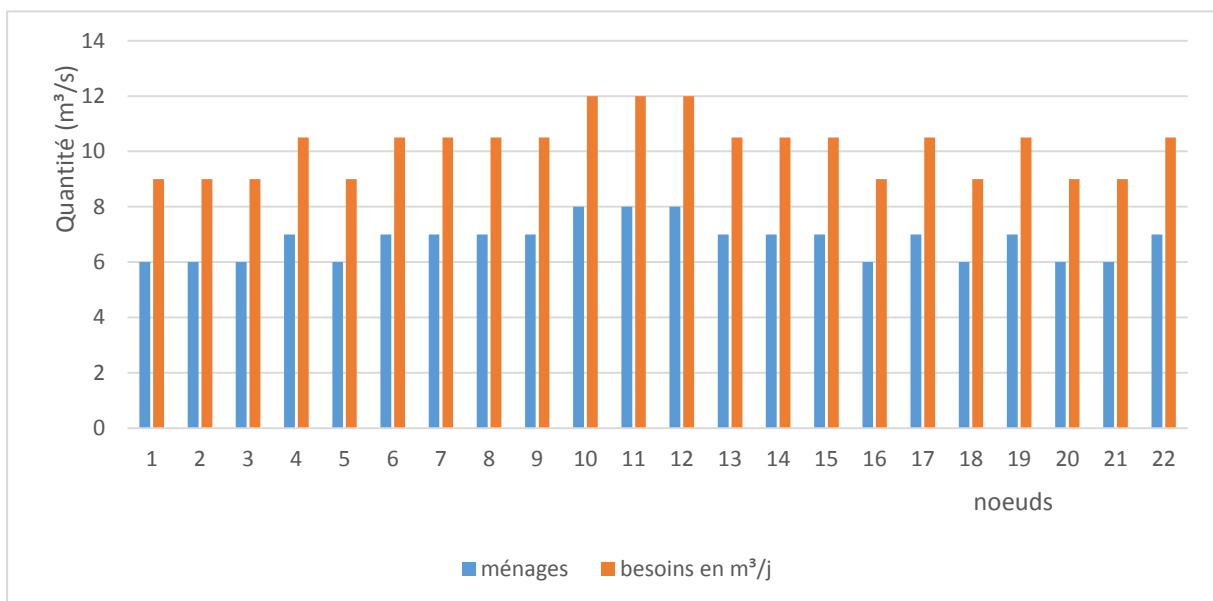


Figure 0-1: Histogramme des besoins pour le Quartier 1

Tableau 0-2: Ménages et les besoins pour le Quartier 2

| Nœuds | Ménages | Norme (m <sup>3</sup> /j) | Besoin (m <sup>3</sup> /j) |
|-------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 1     | 16      | 1,5                       | 24                         |
| 2     | 15      |                           | 22,5                       |
| 3     | 15      |                           | 22,5                       |
| 4     | 19      |                           | 28,5                       |
| 5     | 10      |                           | 15                         |
| 6     | 12      |                           | 18                         |
| 7     | 12      |                           | 18                         |
| 8     | 10      |                           | 15                         |
| 9     | 17      |                           | 25,5                       |
| 10    | 13      |                           | 19,5                       |
| 11    | 12      |                           | 18                         |
| 12    | 12      |                           | 18                         |
| 13    | 13      |                           | 19,5                       |
| 14    | 18      |                           | 27                         |
| 15    | 13      |                           | 19,5                       |
| 16    | 13      |                           | 19,5                       |
| 17    | 14      |                           | 21                         |
| 18    | 10      |                           | 15                         |
| 19    | 18      |                           | 27                         |
| 20    | 10      |                           | 15                         |
| 21    | 18      |                           | 27                         |
| 22    | 15      |                           | 22,5                       |
| 23    | 15      |                           | 22,5                       |
| 24    | 15      |                           | 22,5                       |
| 25    | 12      |                           | 18                         |
| 26    | 13      |                           | 19,5                       |
| Total | 360     |                           | 540                        |

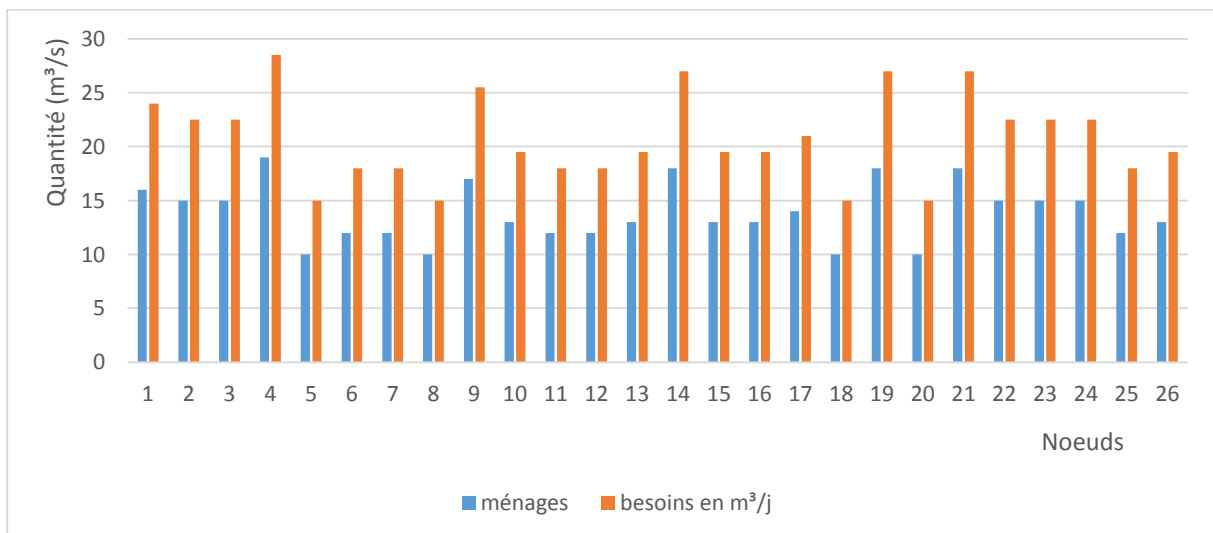


Figure 0-2: Histogramme des besoins pour le Quartier 2

Tableau 0-3: Ménages et les besoins pour le Quartier 3

| Nœuds | Ménages | Norme (m <sup>3</sup> /j) | Besoin (m <sup>3</sup> /j) |
|-------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 1     | 8       | 1,5                       | 12                         |
| 2     | 6       |                           | 9                          |
| 3     | 7       |                           | 10,5                       |
| 4     | 7       |                           | 10,5                       |
| 5     | 6       |                           | 9                          |
| 6     | 7       |                           | 10,5                       |
| 7     | 20      |                           | 30                         |
| 8     | 14      |                           | 21                         |
| 9     | 6       |                           | 9                          |
| 10    | 15      |                           | 22,5                       |
| 11    | 12      |                           | 18                         |
| 12    | 15      |                           | 22,5                       |
| 13    | 15      |                           | 22,5                       |
| 14    | 16      |                           | 24                         |
| 15    | 16      |                           | 24                         |
| 16    | 16      |                           | 24                         |
| 17    | 15      |                           | 22,5                       |
| 18    | 6       |                           | 9                          |
| 19    | 14      |                           | 21                         |
| 20    | 16      |                           | 24                         |
| 21    | 14      |                           | 21                         |
| 22    | 6       |                           | 9                          |
| 23    | 3       |                           | 4,5                        |
| 24    | 15      |                           | 22,5                       |
| 25    | 14      |                           | 21                         |
| 26    | 11      | 1,5                       | 16,5                       |
| 27    | 7       |                           | 10,5                       |
| 28    | 8       |                           | 12                         |
| 29    | 8       |                           | 12                         |
| 30    | 7       |                           | 10,5                       |
| 31    | 6       |                           | 9                          |
| 32    | 6       |                           | 9                          |
| 33    | 4       |                           | 6                          |
| 34    | 5       |                           | 7,5                        |
| 35    | 11      |                           | 16,5                       |
| 36    | 10      |                           | 15                         |
| 37    | 10      |                           | 15                         |
| 38    | 9       |                           | 13,5                       |
| 39    | 7       |                           | 10,5                       |
| 40    | 6       |                           | 9                          |
| 41    | 6       |                           | 9                          |
| 42    | 5       |                           | 7,5                        |
| 43    | 4       |                           | 6                          |
| 44    | 7       |                           | 10,5                       |
| Total | 426     |                           | 639                        |

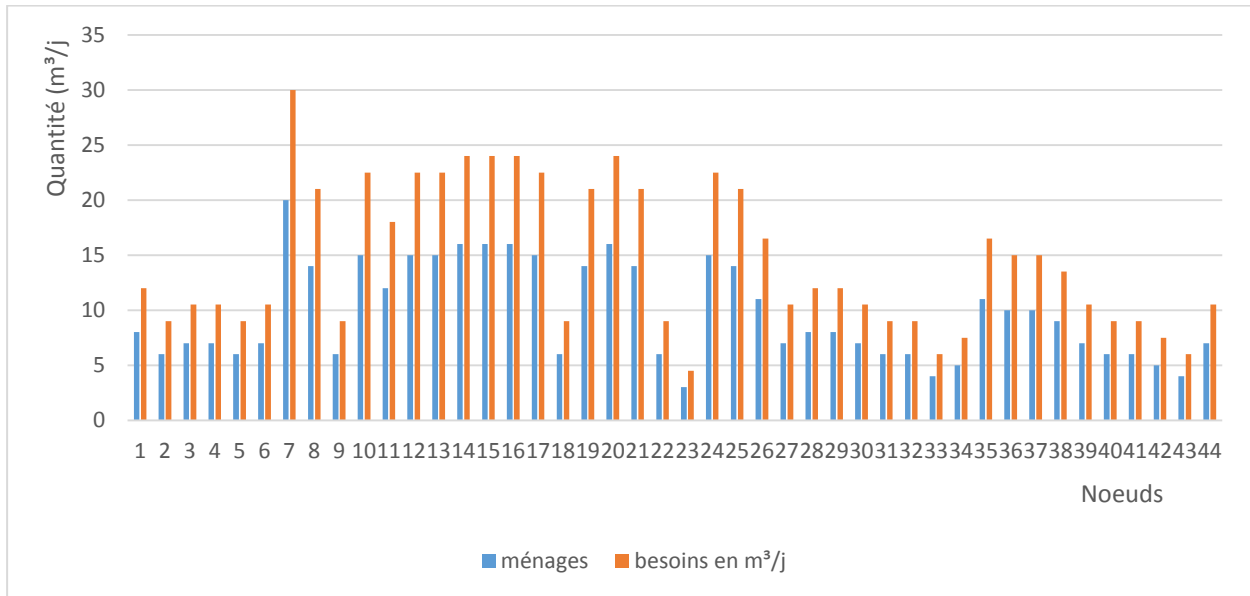


Figure 0-3: Histogramme des besoins pour le Quartier 3

Tableau 0-4: Ménages et les besoins pour le Quartier 4

| Nœuds | Ménages | Norme (m³/j) | Besoin (m³/j) |
|-------|---------|--------------|---------------|
| 1     | 10      | 1,5          | 15            |
| 2     | 10      |              | 15            |
| 3     | 9       |              | 13,5          |
| 4     | 9       |              | 13,5          |
| 5     | 9       |              | 13,5          |
| 6     | 9       |              | 13,5          |
| 7     | 8       |              | 12            |
| 8     | 8       |              | 12            |
| 9     | 7       |              | 10,5          |
| 10    | 8       |              | 12            |
| 11    | 5       |              | 7,5           |
| 12    | 9       |              | 13,5          |
| 13    | 8       |              | 12            |
| 14    | 9       |              | 13,5          |
| 15    | 9       |              | 13,5          |
| 16    | 9       |              | 13,5          |
| 17    | 9       |              | 13,5          |
| 18    | 10      |              | 15            |
| 19    | 11      |              | 16,5          |
| Total | 166     |              |               |

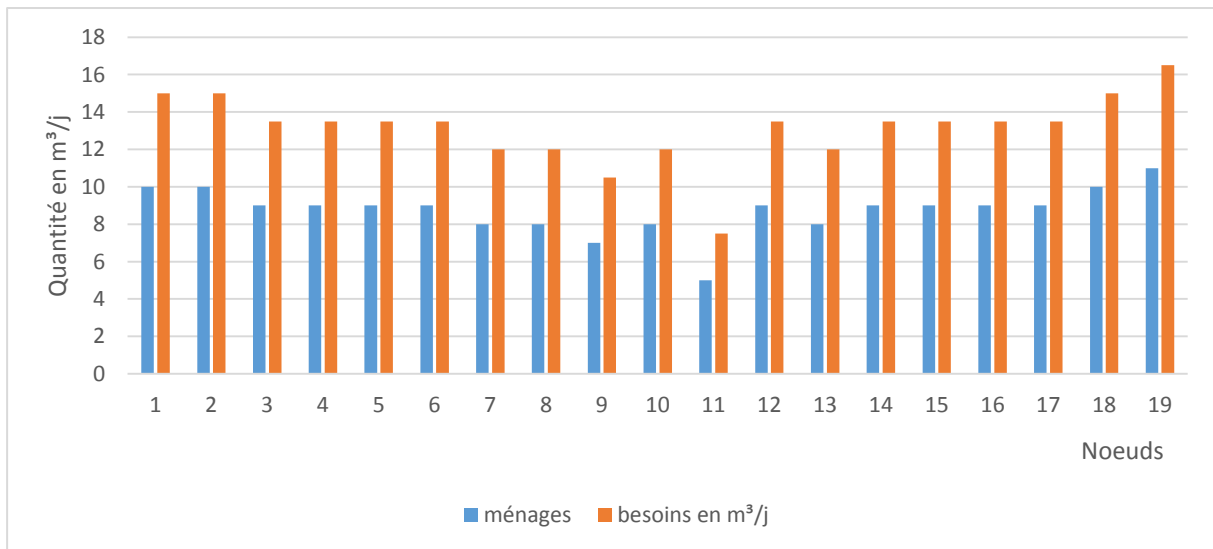


Figure 0-4: Histogramme des besoins pour le Quartier 4

Nous avons calculé les besoins en eau potable de la zone d'étude. La quantité d'eau réelle utilisée dans toute la zone est égale à 1737,420 m³/j.

C'est un débit journalier qui doit satisfaire tous les usagers et les abonnés de la zone Nyakabiga.

### III.12. Calcul du débit moyen horaire

C'est le rapport entre le débit de la consommation réelle journalière et les heures respectives de la journée.

Le débit moyen horaire est donné par la relation ci-après :

$$Q_{moy,h} = \frac{Q_{moy,j}}{24} \quad (\text{en} \quad \text{m}^3/\text{h})$$

(III.7)

Donc, on aura :

$$Q_{moy,h} = \frac{1737,420}{24} = 72,3925 \text{ m}^3/\text{h}$$

Selon les données réelles de la consommation des abonnés de la REGIDESO, la répartition des débits horaires pendant la journée se fait de la manière suivante :

Tableau 0-1: Répartition des débits horaires pendant la journée

| Heures | cons. Tot m <sup>3</sup> /h | Heures | cons. Tot m <sup>3</sup> /h |
|--------|-----------------------------|--------|-----------------------------|
| 0_1    | 32,4                        | 12_13  | 100,2                       |
| 1_2    | 28,2                        | 13_14  | 101,7                       |
| 2_3    | 55,7                        | 14_15  | 94,6                        |
| 3_4    | 83,1                        | 15_16  | 94,2                        |
| 4_5    | 86,5                        | 16_17  | 93,2                        |
| 5_6    | 91,9                        | 17_18  | 92                          |
| 6_7    | 116,4                       | 18_19  | 94,5                        |
| 7_8    | 131,4                       | 19_20  | 100,1                       |
| 8_9    | 125,9                       | 20-21  | 98                          |
| 9_10   | 118,8                       | 21_22  | 102,8                       |
| 10_11  | 106,6                       | 22_23  | 94,4                        |
| 11_12  | 96,2                        | 23_24  | 79,8                        |
|        |                             | Total  | 2218,6                      |

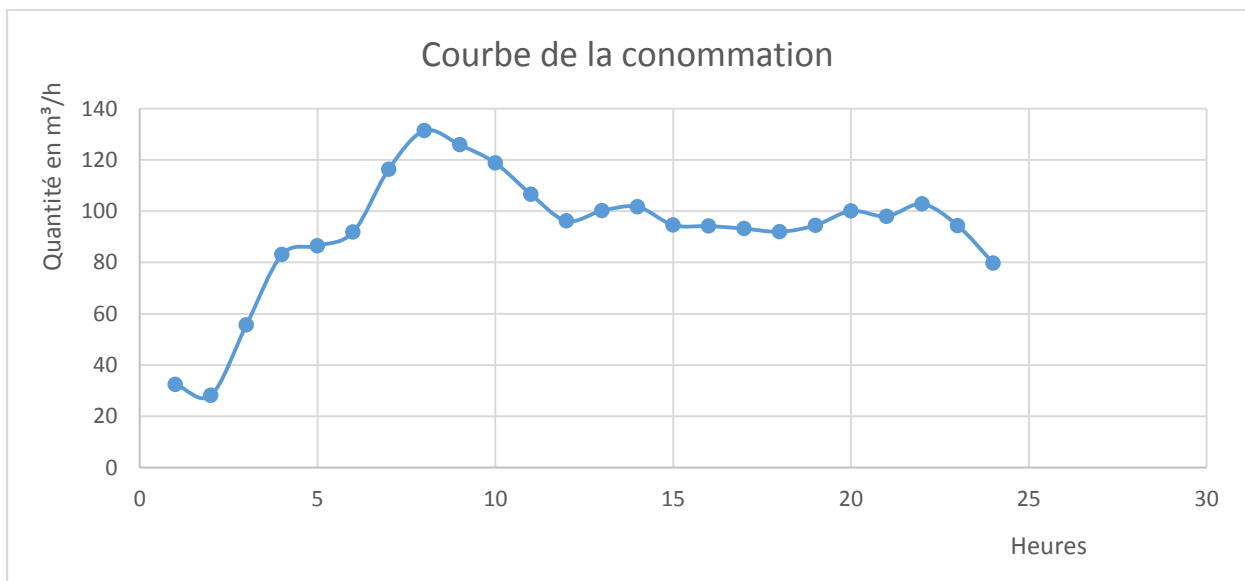


Figure 0-1: Courbe de la consommation journalière

## **CHAP.IV. MODELE PROPOSE POUR LA DESSERTE EN EAU EN MILIEU URBAIN AU BURUNDI**

### **IV.1 Raison d'un nouveau modèle**

Le but de notre travail est de trouver un model fiable d'alimentation en eau dans les quartiers urbains viabilisés, afin d'aboutir à l'élimination complète des fuites, et à faciliter la détection et la réparation des pannes.

L'objectif principal du réaménagement des réseaux d'alimentation en eau potable est donc de réussir à appréhender un nouveau réseau avec le coût le plus bas possible, économique, tout en respectant les normes, c'est-à-dire les contraintes de pression et de vitesse tout en assurant le bon fonctionnement de ce dernier.

### **IV.2 Modèle proposé**

Le modèle proposé tient compte de la facilitation des calculs et des vérifications des débits, des vitesses, des diamètres et des pressions aux nœuds et dans les tronçons. Le modèle proposé étant dans un quartier bien viabilisé, dans un milieu urbain. La conception de ce modèle est ci-après : toute la zone est ceinturée par des conduites principales. De celles-ci, on raccorde les conduites secondaires pour chaque quartier. Ainsi, un raccordement tertiaire sera envisagé pour chaque piste et cette alimentation passe de part et d'autre pour se rencontrer au milieu, lequel milieu sera fermé.

Ce modèle sera appliqué dans tous les quartiers quels que soient les anciens et nouveaux quartiers.

La figure ci-dessous montre le modèle proposé :

.

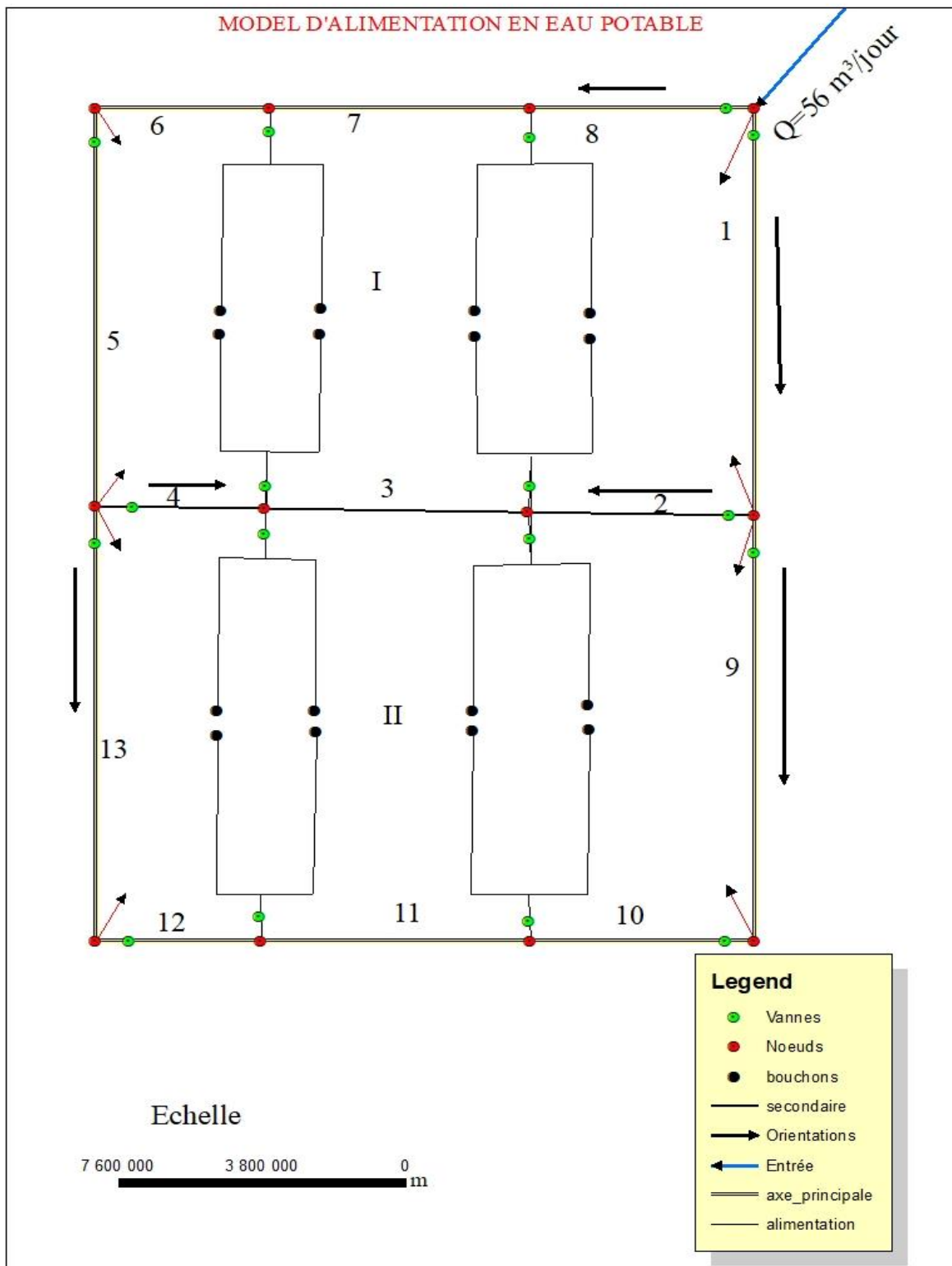


Figure IV.2-1: Modèle proposé d'alimentation en eau potable

### IV.3 Facilitation dans le calcul de la maille

La facilitation du réseau est représentée schématiquement avec des différents nœuds du réseau et de leurs liaisons physiques (ou conduites). L'organisation des nœuds et des conduites dépend de la localisation des abonnés, de la présence des pistes (voir le schéma de calcul en annexe 4.a), et la présence d'autres réseaux.

#### Calcul de la maille I :

##### Première itération

| Tronçons | L (m) | Qi (m³/s) | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | ai    | $\epsilon_i$ | bi      | $\Delta Qi$ | Qi+1 (m³/s) |
|----------|-------|-----------|--------|-----------|----------|-------|--------------|---------|-------------|-------------|
| 1        | 88    | 0,00031   | 0,11   | 0,037     | 16581,33 | 5,18  | 1            | 0,0016  | 0,00002     | 0,00033     |
| 2        | 45    | 0,00013   | 0,09   | 0,039     | 24751,07 | 3,15  | 1            | 0,0004  | 0,00002     | 0,00015     |
| 3        | 48    | 0,00002   | 0,09   | 0,039     | 26401,14 | 0,61  | 1            | 0,0000  | 0,00002     | 0,00005     |
| 4        | 47    | 0,00008   | 0,09   | 0,039     | 25851,12 | 2,09  | -1           | -0,0002 | 0,00002     | 0,00006     |
| 5        | 88    | 0,00020   | 0,11   | 0,039     | 17746,52 | 3,49  | -1           | -0,0007 | 0,00002     | 0,00018     |
| 6        | 47    | 0,00022   | 0,11   | 0,037     | 8855,93  | 1,95  | -1           | -0,0004 | 0,00002     | 0,00020     |
| 7        | 48    | 0,00027   | 0,11   | 0,037     | 9044,36  | 2,41  | -1           | -0,0006 | 0,00002     | 0,00025     |
| 8        | 45    | 0,00031   | 0,11   | 0,037     | 8479,09  | 2,65  | -1           | -0,0008 | 0,00002     | 0,00030     |
|          |       |           |        |           |          | 21,53 |              | -0,0007 |             |             |

##### Deuxième itération

| Tronçons | L (m) | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | Qi (m³/s) | ai     | $\epsilon_i$ | bi      | $\Delta Qi$ | Qi+1 (m³/s)    |
|----------|-------|--------|-----------|----------|-----------|--------|--------------|---------|-------------|----------------|
| 1        | 88    | 0,11   | 0,037     | 16581,33 | 0,00033   | 5,458  | 1            | 0,0018  | 0,00000     | 0,00033        |
| 2        | 45    | 0,09   | 0,039     | 24751,07 | 0,00015   | 3,696  | 1            | 0,0006  | 0,00000     | <b>0,00014</b> |
| 3_       | 48    | 0,09   | 0,039     | 26401,14 | 0,00005   | 1,191  | 1            | 0,0001  | 0,00000     | <b>0,00003</b> |
| 4        | 47    | 0,09   | 0,039     | 25851,12 | 0,00006   | 1,525  | -1           | -0,0001 | 0,00000     | 0,00007        |
| 5        | 88    | 0,11   | 0,039     | 17746,52 | 0,00018   | 3,194  | -1           | -0,0006 | 0,00000     | 0,00018        |
| 6        | 47    | 0,11   | 0,037     | 8855,93  | 0,00020   | 1,800  | -1           | -0,0004 | 0,00000     | 0,00020        |
| 7        | 48    | 0,11   | 0,037     | 9044,36  | 0,00025   | 2,257  | -1           | -0,0006 | 0,00000     | 0,00025        |
| 8        | 45    | 0,11   | 0,037     | 8479,09  | 0,00030   | 2,508  | -1           | -0,0007 | 0,00000     | 0,00030        |
|          |       |        |           |          |           | 21,629 |              | 0,0001  |             |                |

## Calcul de la maille II :

### Première itération

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | ai    | $\epsilon_i$ | bi      | $\Delta Q_i$ | Qi (m <sup>3</sup> /s) |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|-------|--------------|---------|--------------|------------------------|
| 9        | 100   | 0,00014 | 0,11   | 0,037     | 18842,41 | 2,62  | 1            | 0,0004  | -0,00001     | 0,00013                |
| 10       | 45    | 0,00010 | 0,11   | 0,037     | 8479,09  | 0,88  | 1            | 0,0001  | -0,00001     | 0,00010                |
| 11       | 48    | 0,00003 | 0,11   | 0,037     | 9044,36  | 0,31  | 1            | 0,0000  | -0,00001     | 0,00003                |
| 12       | 47    | 0,00003 | 0,11   | 0,037     | 8855,93  | 0,31  | -1           | 0,0000  | -0,00001     | 0,00004                |
| 13       | 100   | 0,00007 | 0,11   | 0,037     | 18842,41 | 1,31  | -1           | -0,0001 | -0,00001     | 0,00007                |
| 4        | 47    | 0,00008 | 0,09   | 0,039     | 25851,12 | 2,09  | 1            | 0,0002  | -0,00001     | 0,00006                |
| 3        | 48    | 0,00002 | 0,09   | 0,039     | 26401,14 | 0,61  | -1           | 0,0000  | -0,00001     | 0,00005                |
| 2        | 45    | 0,00013 | 0,09   | 0,039     | 24751,07 | 3,15  | -1           | -0,0004 | -0,00001     | 0,00015                |
|          |       |         |        |           |          | 11,28 |              | 0,0001  |              |                        |

### Deuxième itération

| Tronçons | L (m) | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | Qi (m <sup>3</sup> /s) | ai     | $\epsilon_i$ | bi      | $\Delta Q_i$ | Qi (m <sup>3</sup> /s) |
|----------|-------|--------|-----------|----------|------------------------|--------|--------------|---------|--------------|------------------------|
| 9        | 100   | 0,11   | 0,037     | 18842,41 | 0,00013                | 2,517  | 1            | 0,0003  | 0,00001      | 0,00014                |
| 10       | 45    | 0,11   | 0,037     | 8479,09  | 0,00010                | 0,838  | 1            | 0,0001  | 0,00001      | 0,00011                |
| 11       | 48    | 0,11   | 0,037     | 9044,36  | 0,00003                | 0,267  | 1            | 0,0000  | 0,00001      | 0,00004                |
| 12       | 47    | 0,11   | 0,037     | 8855,93  | 0,00004                | 0,353  | -1           | 0,0000  | 0,00001      | 0,00003                |
| 13       | 100   | 0,11   | 0,037     | 18842,41 | 0,00007                | 1,406  | -1           | -0,0001 | 0,00001      | 0,00007                |
| 4        | 47    | 0,09   | 0,039     | 25851,12 | 0,00006                | 1,525  | 1            | 0,0001  | 0,00001      | 0,00007                |
| 3        | 48    | 0,09   | 0,039     | 26401,14 | 0,00005                | 1,191  | -1           | -0,0001 | 0,00001      | 0,00003                |
| 2        | 45    | 0,09   | 0,039     | 24751,07 | 0,00015                | 3,696  | -1           | -0,0006 | 0,00001      | 0,00014                |
|          |       |        |           |          |                        | 11,793 |              | -0,0002 |              |                        |

### Troisième itération

| Tronçons | L (m) | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | Qi (m <sup>3</sup> /s) | ai     | $\epsilon_i$ | Bi      | $\Delta Q_i$ | Qi (m <sup>3</sup> /s) |
|----------|-------|--------|-----------|----------|------------------------|--------|--------------|---------|--------------|------------------------|
| 9        | 100   | 0,11   | 0,037     | 18842,41 | 0,00014                | 2,683  | 1            | 0,0004  | 0,00000      | 0,00014                |
| 10       | 45    | 0,11   | 0,037     | 8479,09  | 0,00011                | 0,913  | 1            | 0,0001  | 0,00000      | 0,00011                |
| 11       | 48    | 0,11   | 0,037     | 9044,36  | 0,00004                | 0,346  | 1            | 0,0000  | 0,00000      | 0,00004                |
| 12       | 47    | 0,11   | 0,037     | 8855,93  | 0,00003                | 0,276  | -1           | 0,0000  | 0,00000      | 0,00003                |
| 13       | 100   | 0,11   | 0,037     | 18842,41 | 0,00007                | 1,240  | -1           | -0,0001 | 0,00000      | 0,00007                |
| 4        | 47    | 0,09   | 0,039     | 25851,12 | 0,00007                | 1,792  | 1            | 0,0001  | 0,00000      | 0,00007                |
| 3        | 48    | 0,09   | 0,039     | 26401,14 | 0,00003                | 0,918  | -1           | 0,0000  | 0,00000      | 0,00004                |
| 2        | 45    | 0,09   | 0,039     | 24751,07 | 0,00014                | 3,440  | -1           | -0,0005 | 0,00000      | 0,00014                |
|          |       |        |           |          |                        | 11,608 |              | 0,0000  |              |                        |

#### IV.2.1.1. Calcul des pertes de charges

| Tronçon | Ri        | Qi (m <sup>3</sup> /s) | Qi <sup>2</sup> (m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ) | J (m)    |
|---------|-----------|------------------------|---|----------|
| 1       | 16581,325 | 0,000330               | 0,000000109141                                    | 0,001810 |
| 2       | 24751,071 | 0,000141               | 0,000000019877                                    | 0,000492 |
| 3       | 26401,143 | 0,000037               | 0,000000001353                                    | 0,000036 |
| 4       | 25851,119 | 0,000067               | 0,000000004531                                    | 0,000117 |
| 5       | 17746,523 | 0,000179               | 0,000000031982                                    | 0,000568 |
| 6       | 8855,935  | 0,000202               | 0,000000040818                                    | 0,000361 |
| 7       | 9044,359  | 0,000248               | 0,000000061670                                    | 0,000558 |
| 8       | 8479,087  | 0,000295               | 0,000000086810                                    | 0,000736 |
| 9       | 18842,415 | 0,000142               | 0,000000020056                                    | 0,000378 |
| 10      | 8479,087  | 0,000107               | 0,000000011432                                    | 0,000097 |
| 11      | 9044,359  | 0,000038               | 0,000000001408                                    | 0,000013 |
| 12      | 8855,935  | 0,000032               | 0,000000001016                                    | 0,000009 |
| 13      | 18842,415 | 0,000067               | 0,000000004433                                    | 0,000084 |

#### IV.4 Facilitation dans les extensions de distribution

L'eau doit être distribuée à l'aide des canalisations sur lesquelles des branchements seront piqués en vue de satisfaire les consommateurs. Toutefois, une étude préliminaire doit être faite afin d'attribuer un diamètre adéquat à la canalisation, permettant d'assurer le débit maximal à tous les besoins (domestiques, industriels, etc...).

#### IV.5 Système de distribution

Le système de distribution est le dernier maillon de la chaîne du système classique d'approvisionnement en eau potable. Son rôle est de transporter l'eau du stockage jusqu'à l'abonné.

Quatre exigences sont recherchées [AMEUR Salah & QUAZZI]:

- L'accessibilité technique et financière aux usagers ;
- Une qualité de l'eau répondant aux normes de potabilité ;
- La continuité de service ;
- Une pression de service suffisante.

## **Remarque**

Dans notre travail, nous avons préféré un réseau maillé car Chaque point du réseau maillé peut être alimenté par une ou deux nœuds. En raison de ces deux degrés de liberté, la sécurité dans la distribution et la qualité du service sont plus grandes. Les risques de perturbation de service sont ainsi réduits.

## **IV.6 Conception d'un réseau**

Pour construire un réseau de distribution, nous sommes appelés à prendre en compte un certain nombre de facteurs, qui peuvent influencer sur le réseau, parmi lesquels nous avons :

- l'emplacement des consommateurs ;
- Les routes.
- le souci d'assurer un service souple et précis ;

## **IV.7 Principes du tracé du réseau**

L'objectif du tracé du réseau de distribution est d'assurer l'accès au réseau des usagers de l'eau dans des conditions économiques optimales tout en prévenant les difficultés d'exploitation et d'entretien. Les principes du tracé d'un réseau sont les suivantes :

- Optimisation de la longueur du réseau par le choix des rues qui doivent recevoir les conduites et le choix de leur emplacement dans ces dernières ;
- Fonctionnement hydraulique simple et efficace ;
- Continuité de service en évitant la création de points de faiblesse ou en prévoyant des alternatives en cas de rupture ;
- Equipement minimum afin de faciliter la maîtrise du réseau et son entretien : vannes, ventouses, ...

## **IV.8 Mode de distribution**

Le réseau de distribution projeté pour Nyakabiga sera un réseau maillé sur une longueur de 4288,008m.

## **IV.9 Conditions sur les vitesses et les pressions**

### **IV.9.1.1 Vitesse d'écoulement**

La vitesse de l'eau dans les conduites doit, en général, être de l'ordre de 0,5 à 1,5 m/s. En effet une vitesse faible favorise la formation des dépôts et la stagnation de l'eau dans les conduites pouvant entraîner une dégradation de sa qualité, une vitesse forte entraînant

d'importantes pertes de charge, donc une chute notable de la pression [Rapport d'étude intermédiaire Tome II].

#### **IV.9.1.2 Pressions à satisfaire**

Pour l'ensemble des nœuds constituant le réseau, les pressions doivent satisfaire les conditions de pression minimale et de pression maximale [Rapport d'étude intermédiaire I].

La pression au nœud doit être calculée après le dimensionnement du réseau et comparée à la pression à satisfaire.

- Pression au nœud = côte piézométrique – côte du terrain naturel ;
- Pression au nœud > Pression minimale = 10 m ;
- Pression au nœud < Pression maximale = 60 m

En tout point du réseau de distribution, la pression ne doit pas dépasser 60 mètres. Si de telles valeurs devraient se manifester, il y aurait lieu, en vue de les diminuer, soit d'envisager une distribution étagée, soit de prévoir l'installation sur le réseau d'appareils réducteurs de pressions.

#### **IV.9.1.3 Aspects technologiques des réseaux de distribution**

Les principales technologies utilisées dans les réseaux de distribution d'eau potable impliquent :

##### **IV.9.1.3.1 Les conduites**

La sécurité du service est fonction de la qualité de la canalisation, de son aptitude à résister aux atteintes du temps, aux attaques du sol et à celles du fluide transporté, aux chocs et aux variations de température [www.almo-handiss.com/Chapitre 6/ réseau de distribution, consulté le 15/6/2020].

##### **IV.9.1.3.1.1 Nature des conduites**

On distingue les conduites suivant le matériau principal qui établit leur structure :

- Fonte ductile ;
- Acier ;
- Béton ;
- Amiante - Ciment ;
- Matières Plastiques Synthétiques.

#### **IV.9.1.3.1.2 Organes accessoires des réseaux**

Pour assurer un bon fonctionnement du réseau de distribution, faciliter sa gestion et son exploitation, il doit être équipé de vannes, ventouses, pièces spéciales (coudes, tés,...)

#### **IV.10 Mode de pose des conduites**

Pour des mesures de sécurité et de commodité, les conduites seront toutes enterrées afin d'éviter l'encombrement des voies de communication ou leur écrasement par les charges trop lourdes. Ce qui évitera du coup l'échauffement de l'eau et l'ensoleillement des conduites qui pourrait leur être préjudiciable. On aura des tranchées de dimensions suivantes [TARAR, A, 2012] :

$$H_{min} \geq D_{ext} + 0,5m$$

$$L_{min} \geq D_{ext} + 0,4m$$

- $H_{min}$ : Profondeur minimale de la tranchée (m) ;
- $L_{min}$  : Largeur minimale de la tranchée (m);
- $D_{ext}$  : Diamètre extérieur de la conduite (m).

La pose de la conduite en tranchée voir en Annexe4

## CHAP.V. APPLICATION DU MODELE SUR LE QUARTIER NYAKABIGA.

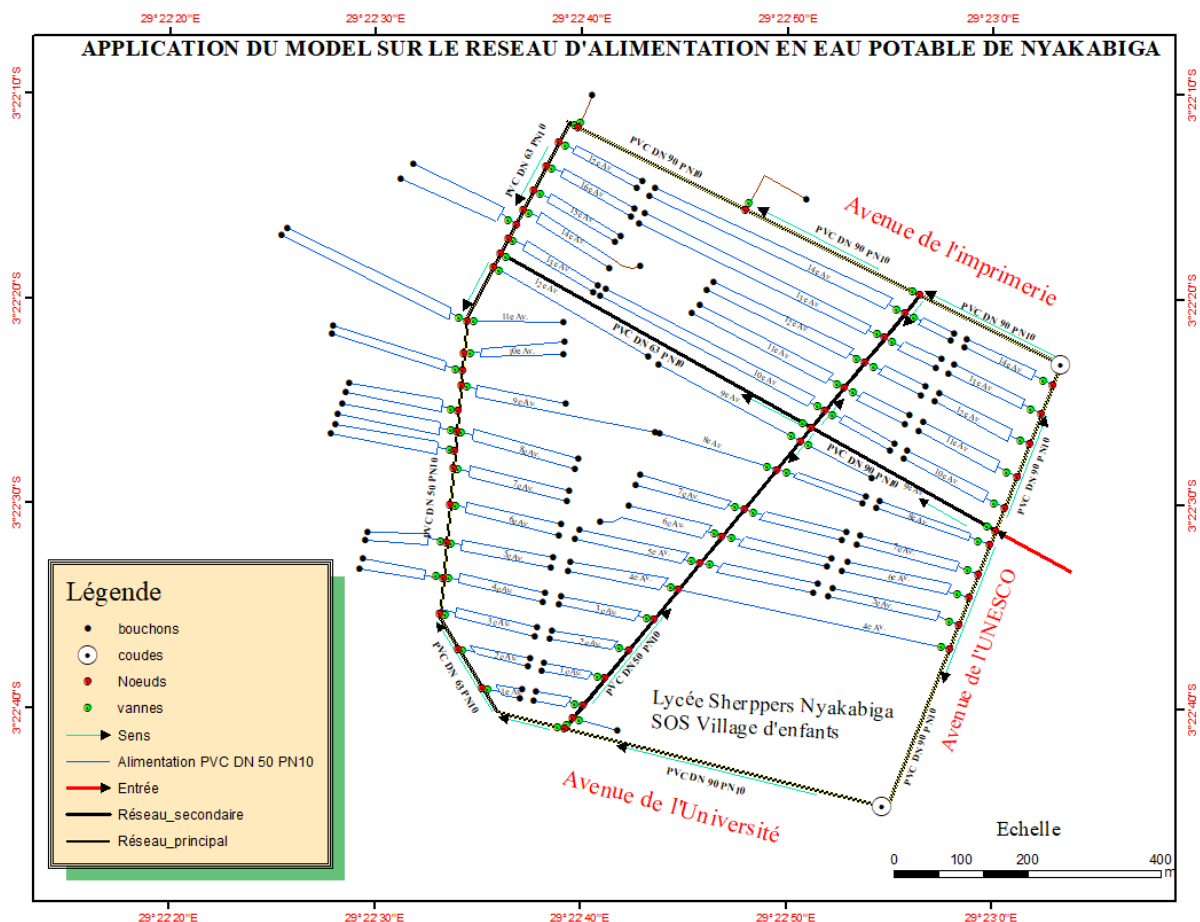
L'application de ce modèle nous facilite la distribution de l'eau potable dans la zone Nyakabiga. L'alimentation passe de part et d'autre de chaque rue dans les sous-quartiers.

Ainsi, on va faire des notes de calcul pour vérifier le bon fonctionnement du réseau (assurer le diamètre, la pression et la vitesse).

L'objectif est de parvenir à satisfaire la demande des consommateurs tant en débit qu'en pression et pour cela, différents tronçons de canalisation du réseau devront avoir des diamètres optimums et seront dimensionnés en conséquence, sans ignorer le critère économique risquant de feindre les autres projets de développement.

### V.1 Maille proposée et son calcul

Figure V.1-1: Application du modèle proposé



## V.1.1 Par la méthode de HARDY-CROSS

### V.1.1.1. Equilibre des mailles

Dans chaque maille, la somme des pertes de charge est nulle. On convient de considérer comme positive la perte de charge pour un tronçon orienté selon le sens de pourtour de la maille, négative au cas contraire.

Cette opération vise à corriger successivement le débit de chaque tronçon dans le but de répondre à ces deux lois ci-haut citées ou pour éliminer ce déficit, par la correction soit  $\Delta Q$ . Il faudra l'ajouter sur chaque  $Q_i$ , ou le retrancher de chaque  $Q_i$  suivant le sens de l'écoulement, dont il faut l'affecter du coefficient de correction.

La correction  $\Delta Q$  sera déterminée par le théorème des pertes de charges, on doit avoir la formule suivante :

$$\Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^n \varepsilon_i * R_i * Q_i^2}{2 \sum_{i=1}^n R_i * Q_i}$$

(V.1)

Avec  $R_i$  et  $Q_i^2$ : la perte de charge dans le tronçon  $i$  de la maille considérée

$Q_i$ : le débit circulant dans le tronçon  $i$  de la maille

$\varepsilon_i$  : Signe conventionnel +1 de tronçon positif et -1 de tronçon négatif

D'une façon générale, les tronçons seront corrigés positivement dans leurs mailles respectives et négativement dans la maille adjacente en utilisant  $\varepsilon_i \Delta Q$  pour corriger le débit dans chaque tronçon de l'anneau. Après correction, le débit dans chaque tronçon sera donc :  $Q_i + \varepsilon_i * \Delta Q$  avec  $i=1, 2, 3, \dots, n$

Dans notre travail, le modèle que j'ai proposé est constitué de quatre mailles.

Le critère d'arrêt des itérations sera donc:

$$\sum_{i=1}^m \varepsilon_i * R_i * Q_i^2 = 0$$

(V.2)

Les tableaux suivants montrent les itérations finales pour chaque maille.

Tableau V.1-1: Itération finale effectuée pour la première maille.

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda_{\text{p}}$ | Ri        | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | $Q_i + \epsilon_i \Delta Q_i$ |
|----------|-------|---------|--------|----------------------|-----------|---------|--------------|--------|--------------|-------------------------------|
| 1        | 330   | 0,00694 | 0,11   | 0,0367               | 62179,969 | 431,789 | 1            | 2,998  | 0,000000     | 0,00694                       |
| 2        | 6     | 0,00186 | 0,09   | 0,0393               | 3300,143  | 6,151   | 1            | 0,011  | 0,000000     | 0,00186                       |
| 3        | 40    | 0,00138 | 0,09   | 0,0393               | 22000,952 | 30,317  | 1            | 0,042  | 0,000000     | 0,00138                       |
| 4        | 34    | 0,00081 | 0,09   | 0,0393               | 18700,809 | 15,203  | 1            | 0,012  | 0,000000     | 0,00081                       |
| 5        | 35    | 0,00030 | 0,09   | 0,0393               | 19250,833 | 5,871   | 1            | 0,002  | 0,000000     | 0,00031                       |
| 6        | 36    | 0,00060 | 0,09   | 0,0393               | 19800,857 | 11,940  | -1           | -0,007 | 0,000000     | 0,00060                       |
| 7        | 37    | 0,00132 | 0,09   | 0,0393               | 35751,547 | 47,157  | -1           | -0,062 | 0,000000     | 0,00132                       |
| 8        | 37    | 0,00208 | 0,09   | 0,0393               | 33001,428 | 68,743  | -1           | -0,143 | 0,000000     | 0,00208                       |
| 9        | 264   | 0,00555 | 0,11   | 0,0367               | 49743,975 | 276,083 | -1           | -1,532 | 0,000000     | 0,00555                       |
| 10       | 35    | 0,00576 | 0,11   | 0,0367               | 6594,845  | 37,974  | -1           | -0,219 | 0,000000     | 0,00576                       |
| 11       | 37    | 0,00598 | 0,11   | 0,0367               | 6971,693  | 41,719  | -1           | -0,250 | 0,000000     | 0,00598                       |
| 12       | 42    | 0,00621 | 0,11   | 0,0367               | 7913,814  | 49,145  | -1           | -0,305 | 0,000000     | 0,00621                       |
| 13       | 39    | 0,00645 | 0,11   | 0,0367               | 7348,542  | 47,428  | -1           | -0,306 | 0,000000     | 0,00645                       |
| 14       | 28,5  | 0,00672 | 0,11   | 0,0367               | 5370,088  | 36,061  | -1           | -0,242 | 0,000000     | 0,00671                       |
|          |       |         |        |                      |           | 1105,58 |              | -0,001 |              |                               |

Tableau V.1-2: Itération finale effectuée pour la deuxième maille

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri        | ai       | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | $Q_i + \epsilon_i \Delta Q_i$ |
|----------|-------|---------|--------|-----------|-----------|----------|--------------|--------|--------------|-------------------------------|
| 15       | 6     | 0,00645 | 0,11   | 0,0367    | 1130,545  | 7,292    | 1            | 0,047  | 0,000000     | 0,00645                       |
| 16       | 25    | 0,00619 | 0,11   | 0,0367    | 4710,604  | 29,157   | 1            | 0,180  | 0,000000     | 0,00619                       |
| 17       | 28    | 0,00589 | 0,11   | 0,0367    | 5275,876  | 31,100   | 1            | 0,183  | 0,000000     | 0,00589                       |
| 18       | 30    | 0,00558 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724  | 31,558   | 1            | 0,176  | 0,000000     | 0,00558                       |
| 19       | 32    | 0,00525 | 0,11   | 0,0367    | 6029,573  | 31,672   | 1            | 0,166  | 0,000000     | 0,00525                       |
| 20       | 502   | 0,00506 | 0,11   | 0,0367    | 94588,922 | 478,784  | 1            | 2,423  | 0,000000     | 0,00506                       |
| 21       | 30    | 0,00211 | 0,09   | 0,0393    | 16500,714 | 34,785   | 1            | 0,073  | 0,000000     | 0,00211                       |
| 22       | 32    | 0,00141 | 0,09   | 0,0393    | 17600,762 | 24,889   | 1            | 0,035  | 0,000000     | 0,00141                       |
| 23       | 35    | 0,00122 | 0,09   | 0,0393    | 19250,833 | 23,545   | 1            | 0,029  | 0,000000     | 0,00122                       |
| 24       | 30    | 0,00103 | 0,09   | 0,0393    | 16500,714 | 17,030   | 1            | 0,018  | 0,000000     | 0,00103                       |
| 25       | 33    | 0,00081 | 0,09   | 0,0393    | 18150,786 | 14,631   | 1            | 0,012  | 0,000000     | 0,00081                       |
| 26       | 30    | 0,00055 | 0,09   | 0,0393    | 16500,714 | 9,010    | 1            | 0,005  | 0,000000     | 0,00055                       |
| 27       | 42    | 0,00008 | 0,09   | 0,0393    | 23101,000 | 1,780    | 1            | 0,000  | 0,000000     | 0,00008                       |
| 28       | 43    | 0,00055 | 0,09   | 0,0393    | 23651,024 | 12,983   | -1           | -0,007 | 0,000000     | 0,00055                       |
| 29       | 52    | 0,00107 | 0,09   | 0,0393    | 28601,238 | 30,573   | -1           | -0,033 | 0,000000     | 0,00107                       |
| 30       | 45    | 0,00159 | 0,09   | 0,0393    | 24751,071 | 39,353   | -1           | -0,063 | 0,000000     | 0,00159                       |
| 31       | 60    | 0,00199 | 0,09   | 0,0393    | 33001,428 | 65,671   | -1           | -0,131 | 0,000000     | 0,00199                       |
| 32       | 41    | 0,00227 | 0,09   | 0,0393    | 22550,976 | 51,144   | -1           | -0,116 | 0,000000     | 0,00227                       |
| 1        | 330   | 0,00694 | 0,11   | 0,0367    | 62179,969 | 431,789  | -1           | -2,998 | 0,000000     | 0,00694                       |
|          |       |         |        |           |           | 1366,744 |              | 0,001  |              |                               |

Tableau V.1-3: Itération finale effectuée pour la troisième maille

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri        | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | $Q_i + \epsilon_i \Delta Q_i$ |
|----------|-------|---------|--------|-----------|-----------|---------|--------------|--------|--------------|-------------------------------|
| 33       | 350   | 0,00295 | 0,11   | 0,0367    | 65948,452 | 194,790 | 1            | 0,575  | 0,000000     | 0,00295                       |
| 34       | 46    | 0,00271 | 0,11   | 0,0367    | 8667,511  | 23,495  | 1            | 0,064  | 0,000000     | 0,00271                       |
| 35       | 41    | 0,00247 | 0,11   | 0,0367    | 7725,390  | 19,056  | 1            | 0,047  | 0,000000     | 0,00247                       |
| 36       | 40    | 0,00224 | 0,11   | 0,0367    | 7536,966  | 16,888  | 1            | 0,038  | 0,000000     | 0,00224                       |
| 37       | 45    | 0,00152 | 0,11   | 0,0367    | 8479,087  | 12,902  | 1            | 0,020  | 0,000000     | 0,00152                       |
| 38       | 39    | 0,00081 | 0,11   | 0,0367    | 7348,542  | 5,957   | 1            | 0,005  | 0,000000     | 0,00081                       |
| 39       | 45    | 0,00057 | 0,11   | 0,0367    | 8479,087  | 4,839   | 1            | 0,003  | 0,000000     | 0,00057                       |
| 40       | 62    | 0,00029 | 0,11   | 0,0367    | 11682,297 | 3,442   | 1            | 0,001  | 0,000000     | 0,00030                       |
| 41       | 24    | 0,00034 | 0,11   | 0,0367    | 4522,180  | 1,516   | -1           | -0,001 | 0,000000     | 0,00033                       |
| 42       | 16    | 0,00094 | 0,11   | 0,0367    | 3014,786  | 2,844   | -1           | -0,003 | 0,000000     | 0,00094                       |
| 43       | 30    | 0,00127 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724  | 7,158   | -1           | -0,009 | 0,000000     | 0,00127                       |
| 44       | 18    | 0,00167 | 0,11   | 0,0367    | 3391,635  | 5,655   | -1           | -0,009 | 0,000000     | 0,00167                       |
| 45       | 32    | 0,00182 | 0,11   | 0,0367    | 6029,573  | 10,994  | -1           | -0,020 | 0,000000     | 0,00182                       |
| 46       | 25    | 0,00213 | 0,11   | 0,0367    | 4710,604  | 10,016  | -1           | -0,021 | 0,000000     | 0,00213                       |
| 47       | 16    | 0,00284 | 0,11   | 0,0367    | 3014,786  | 8,572   | -1           | -0,024 | 0,000000     | 0,00284                       |
| 48       | 60    | 0,00329 | 0,11   | 0,0367    | 11305,449 | 37,165  | -1           | -0,122 | 0,000000     | 0,00329                       |
| 49       | 380   | 0,00281 | 0,11   | 0,0367    | 71601,176 | 201,361 | -1           | -0,566 | 0,000000     | 0,00281                       |
| 32       | 41    | 0,00227 | 0,09   | 0,0393    | 22550,976 | 51,144  | 1            | 0,116  | 0,000000     | 0,00227                       |
| 31       | 35    | 0,00199 | 0,09   | 0,0393    | 19250,833 | 38,308  | 1            | 0,076  | 0,000000     | 0,00199                       |
| 30       | 36    | 0,00159 | 0,09   | 0,0393    | 19800,857 | 31,482  | 1            | 0,050  | 0,000000     | 0,00159                       |
| 29       | 40    | 0,00107 | 0,09   | 0,0393    | 22000,952 | 23,518  | 1            | 0,025  | 0,000000     | 0,00107                       |
| 28       | 43    | 0,00055 | 0,09   | 0,0393    | 23651,024 | 12,983  | 1            | 0,007  | 0,000000     | 0,00055                       |
| 27       | 63    | 0,00008 | 0,09   | 0,0393    | 34651,500 | 2,670   | -1           | 0,000  | 0,000000     | 0,00008                       |
| 26       | 35    | 0,00055 | 0,09   | 0,0393    | 19250,833 | 10,512  | -1           | -0,006 | 0,000000     | 0,00055                       |
| 25       | 35    | 0,00081 | 0,09   | 0,0393    | 19250,833 | 15,517  | -1           | -0,013 | 0,000000     | 0,00081                       |
| 24       | 50    | 0,00103 | 0,09   | 0,0393    | 27501,190 | 28,383  | -1           | -0,029 | 0,000000     | 0,00103                       |
| 23       | 50    | 0,00122 | 0,09   | 0,0393    | 27501,190 | 33,636  | -1           | -0,041 | 0,000000     | 0,00122                       |
| 22       | 59    | 0,00141 | 0,09   | 0,0393    | 32451,404 | 45,888  | -1           | -0,065 | 0,000000     | 0,00141                       |
| 21       | 40    | 0,00211 | 0,09   | 0,0393    | 22000,952 | 46,379  | -1           | -0,098 | 0,000000     | 0,00211                       |
|          |       |         |        |           |           | 907,072 |              | -0,001 |              |                               |

Tableau V.1-4: Itération finale effectuée pour la quatrième maille

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\Lambda$ | Ri         | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | $Q_i + \epsilon_i \Delta Q_i$ |
|----------|-------|---------|--------|-----------|------------|---------|--------------|--------|--------------|-------------------------------|
| 49       | 540   | 0,00281 | 0,11   | 0,0367    | 101749,040 | 286,145 | 1            | 0,805  | 0,000000     | 0,00281                       |
| 50       | 30    | 0,00048 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724   | 2,685   | -1           | -0,001 | 0,000000     | 0,00048                       |
| 51       | 25    | 0,00081 | 0,11   | 0,0367    | 4710,604   | 3,792   | -1           | -0,003 | 0,000000     | 0,00081                       |
| 52       | 30    | 0,00110 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724   | 6,190   | -1           | -0,007 | 0,000000     | 0,00110                       |
| 53       | 30    | 0,00146 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724   | 8,253   | -1           | -0,012 | 0,000000     | 0,00146                       |
| 54       | 28    | 0,00184 | 0,11   | 0,0367    | 5275,876   | 9,687   | -1           | -0,018 | 0,000000     | 0,00184                       |
| 55       | 26    | 0,00232 | 0,11   | 0,0367    | 4899,028   | 11,356  | -1           | -0,026 | 0,000000     | 0,00232                       |
| 56       | 20    | 0,00279 | 0,11   | 0,0367    | 3768,483   | 10,499  | -1           | -0,029 | 0,000000     | 0,00279                       |
| 57       | 200   | 0,00316 | 0,11   | 0,0367    | 37684,830  | 119,200 | -1           | -0,377 | 0,000000     | 0,00316                       |
| 58       | 210   | 0,00347 | 0,11   | 0,0367    | 39569,071  | 137,189 | -1           | -0,476 | 0,000000     | 0,00347                       |
| 8        | 37    | 0,00208 | 0,09   | 0,0393    | 33001,428  | 68,743  | 1            | 0,143  | 0,000000     | 0,00208                       |
| 7        | 37    | 0,00132 | 0,09   | 0,0393    | 35751,547  | 47,157  | 1            | 0,062  | 0,000000     | 0,00132                       |
| 6        | 36    | 0,00060 | 0,09   | 0,0393    | 19800,857  | 11,940  | 1            | 0,007  | 0,000000     | 0,00060                       |
| 5        | 35    | 0,00030 | 0,09   | 0,0393    | 19250,833  | 5,871   | -1           | -0,002 | 0,000000     | 0,00031                       |
| 4        | 34    | 0,00081 | 0,09   | 0,0393    | 18700,809  | 15,203  | -1           | -0,012 | 0,000000     | 0,00081                       |
| 3        | 40    | 0,00138 | 0,09   | 0,0393    | 22000,952  | 30,317  | -1           | -0,042 | 0,000000     | 0,00138                       |
| 2        | 6     | 0,00186 | 0,09   | 0,0393    | 3300,143   | 6,151   | -1           | -0,011 | 0,000000     | 0,00186                       |
|          |       |         |        |           |            | 780,379 |              | 0,001  |              |                               |

En outre, les détails pour l'approximation successive des itérations montrées sont effectués dans toutes les mailles (voir en annexe 1) « Itérations des différents anneaux » tandis que la répartition finale des débits est décrite en annexe 5.

### V.1.1.2. Calcul hydraulique du réseau maillé

#### ❖ Vitesse

Selon l'OMS la vitesse de la circulation d'eau dans une conduite doit être comprise entre 0,3 et 1,5m/s, pour éviter les risques des dépôts dans la conduite, les vibrations, les cassures des conduites et les pertes des charges élevées. Ainsi, dans nos calculs, nous avons trouvé une vitesse moyenne de 1,3m/s pour notre modèle.

En effet, nous prendrons une vitesse de 1,3m/s. Nous avons jugé d'arrondir par excès la vitesse pour remplir la condition de l'OMS.

Enfin, la loi de la continuité est :  $Q=V*S=C^{ste}$  (V.3)

## ❖ Débit

Le débit est déjà trouvé au troisième chapitre en fonction des besoins de la population.

## ❖ Le diamètre

Le diamètre est calculé avec la relation suivante :

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

(V.4)

Avec

Q : le débit en l/s

V : la vitesse en m/s

D : diamètre en mm

Le choix du diamètre de la conduite est une fonction du débit de pointe du tronçon considéré. Etant donné que cette alimentation se réalise en milieu urbain, le diamètre minimal des conduites ne doit en aucun cas être inférieur à 50mm.

## ❖ Les pertes de charges

Les pertes de charges sont des énergies qui se transforment en chaleur lors de l'écoulement, elles sont dues aux frottements sur une longueur de surface. Ces frottements sont causés par l'ensemble des paramètres intervenant dans la résistance, à l'écoulement et tel que : nature du tuyaux et état du revêtement, viscosité du liquide transporté.

Nous distinguons :

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

Les éléments principaux qui interviennent dans l'expression de la perte de charge sont : le diamètre D et la vitesse V.

$$J = \lambda \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g}$$

(V.5)

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

(V.6)

$\lambda$  : Coefficient de frottements qui est fonction de Re et de la rugosité relative.

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

$$\text{Re} = \frac{VD}{\gamma}$$

(V.7)

Avec :

D : diamètre de la conduite en mm ;

V : vitesse moyenne d'écoulement en m/s

g : accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup> ;

$\varepsilon$  : rugosité absolue ;

$\gamma$  : viscosité cinématique ( $\gamma = 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ )

Suivant l'auteur et les types de tuyaux, le coefficient de frottement  $\lambda$  est calculé d'une façon ou d'un autre :

• Formule de COLEBROOK et WHITE pour tous les types de tuyaux :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,5}{\text{Re}\sqrt{\lambda}}\right)$$

(V.8)

• Formule de Prandtl et Nikuradse pour les tuyaux rugueux :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 + 2\log(D/2\varepsilon)$$

(V.9)

Formule de BLASIUS pour les tuyaux lisses :

$$\lambda = \frac{0,316}{(\text{Re})^{1/4}}$$

(V.10)

En connaissant le débit  $Q$  et le diamètre  $D$ , on détermine les pertes de charge établies d'après les formules de COLEBROOK et on pourrait déterminer la perte de charge unitaire ( $j$ ) avec la formule

$$j = \text{Ri} \cdot Q_i^2$$

(V.11)

Donc  $j$ : la perte des charges unitaire en m

Ri: caractéristique des tuyaux

Et puis déterminer la perte des charges totale ( $J$ ) avec la relation suivante :

$$J = j \cdot L$$

(V.12)

Avec :

$J$ : perte de charge linéaire totale

$j$ : perte de charge linéaire unitaire

$L$ : longueur de la conduite

### ➤ Calcul de la conduite de refoulement

La conduite de refoulement est calculée par la formule de BRESSE :

$$D_{\text{apt}} = 1,5 \cdot \sqrt{Q} \tag{V.13}$$

La vitesse dans la conduite de refoulement doit être comprise entre 0,6 et 1,5 m/s.

Si la condition n'est pas satisfaite, alors la formule de BRESSE devient :

$$D_{\text{apt}}=Q^{1/2}$$

(V.14)

Le dimensionnement de cette conduite est en fonction du débit à refouler

### V.1.1.3. **Calcul des pertes de charge dans chaque tronçon**

Le calcul des pertes de charge dans chaque tronçon est fait par la formule :

$$J=R_i*Q^2$$

(V.15)

Tableau V.1-5: Pertes des charges dans les tronçons

| Tronçons | $R_i$     | $Q_i$ (m <sup>3</sup> /s) | $Q_i^2$ (m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ) | J (m)    |
|----------|-----------|---------------------------|---|----------|
| 1        | 62179,969 | 0,006945                  | 0,000048                                  | 2,999100 |
| 2        | 3300,143  | 0,001865                  | 0,000003                                  | 0,011476 |
| 3        | 22000,952 | 0,001379                  | 0,000002                                  | 0,041827 |
| 4        | 18700,809 | 0,000814                  | 0,000001                                  | 0,012385 |
| 5        | 19250,833 | 0,000306                  | 0,000000                                  | 0,001800 |
| 6        | 19800,857 | 0,000602                  | 0,000000                                  | 0,007180 |
| 7        | 35751,547 | 0,001318                  | 0,000002                                  | 0,062122 |
| 8        | 33001,428 | 0,002082                  | 0,000004                                  | 0,143077 |
| 9        | 49743,975 | 0,005550                  | 0,000031                                  | 1,532079 |
| 10       | 6594,845  | 0,005758                  | 0,000033                                  | 0,218627 |
| 11       | 6971,693  | 0,005984                  | 0,000036                                  | 0,249620 |
| 12       | 7913,814  | 0,006210                  | 0,000039                                  | 0,305161 |
| 13       | 7348,542  | 0,006454                  | 0,000042                                  | 0,306070 |
| 14       | 5370,088  | 0,006715                  | 0,000045                                  | 0,242123 |
| 15       | 1130,545  | 0,006449                  | 0,000042                                  | 0,047024 |
| 16       | 4710,604  | 0,006189                  | 0,000038                                  | 0,180452 |
| 17       | 5275,876  | 0,005894                  | 0,000035                                  | 0,183300 |
| 18       | 5652,724  | 0,005582                  | 0,000031                                  | 0,176152 |
| 19       | 6029,573  | 0,005252                  | 0,000028                                  | 0,166337 |
| 20       | 94588,922 | 0,005061                  | 0,000026                                  | 2,423082 |
| 21       | 16500,714 | 0,002107                  | 0,000004                                  | 0,073271 |
| 22       | 17600,762 | 0,001413                  | 0,000002                                  | 0,035153 |
| 23       | 19250,833 | 0,001222                  | 0,000001                                  | 0,028758 |
| 24       | 16500,714 | 0,001031                  | 0,000001                                  | 0,017548 |
| 25       | 18150,786 | 0,000805                  | 0,000001                                  | 0,011769 |
| 26       | 16500,714 | 0,000545                  | 0,000000                                  | 0,004905 |
| 27       | 23101,000 | 0,000076                  | 0,000000                                  | 0,000134 |
| 28       | 23651,024 | 0,000550                  | 0,000000                                  | 0,007148 |
| 29       | 28601,238 | 0,001070                  | 0,000001                                  | 0,032731 |
| 30       | 24751,071 | 0,001591                  | 0,000003                                  | 0,062633 |
| 31       | 33001,428 | 0,001991                  | 0,000004                                  | 0,130789 |
| 32       | 22550,976 | 0,002269                  | 0,000005                                  | 0,116076 |
| 33       | 65948,452 | 0,002954                  | 0,000009                                  | 0,575506 |
| 34       | 8667,511  | 0,002711                  | 0,000007                                  | 0,063706 |
| 35       | 7725,390  | 0,002467                  | 0,000006                                  | 0,047021 |
| 36       | 7536,966  | 0,002241                  | 0,000005                                  | 0,037854 |
| 37       | 8479,087  | 0,001522                  | 0,000002                                  | 0,019644 |

|    |           |          |          |          |
|----|-----------|----------|----------|----------|
| 38 | 7348,542  | 0,000811 | 0,000001 | 0,004834 |
| 39 | 8479,087  | 0,000571 | 0,000000 | 0,002765 |
| 40 | 11682,297 | 0,000295 | 0,000000 | 0,001017 |
| 41 | 4522,180  | 0,000335 | 0,000000 | 0,000507 |
| 42 | 3014,786  | 0,000943 | 0,000001 | 0,002680 |
| 43 | 5652,724  | 0,001266 | 0,000002 | 0,009059 |
| 44 | 3391,635  | 0,001667 | 0,000003 | 0,009424 |
| 45 | 6029,573  | 0,001823 | 0,000003 | 0,020036 |
| 46 | 4710,604  | 0,002126 | 0,000005 | 0,021290 |
| 47 | 3014,786  | 0,002843 | 0,000008 | 0,024366 |
| 48 | 11305,449 | 0,003287 | 0,000011 | 0,122142 |
| 49 | 71601,176 | 0,002811 | 0,000008 | 0,565931 |
| 50 | 5652,724  | 0,000476 | 0,000000 | 0,001278 |
| 51 | 4710,604  | 0,000806 | 0,000001 | 0,003057 |
| 52 | 5652,724  | 0,001096 | 0,000001 | 0,006784 |
| 53 | 5652,724  | 0,001461 | 0,000002 | 0,012058 |
| 54 | 5275,876  | 0,001837 | 0,000003 | 0,017795 |
| 55 | 4899,028  | 0,002319 | 0,000005 | 0,026335 |
| 56 | 3768,483  | 0,002787 | 0,000008 | 0,029261 |
| 57 | 37684,830 | 0,003164 | 0,000010 | 0,377146 |

### V.1.1.4. Calcul des pressions dans les tronçons

Tableau V.1-6: Pression dans les tronçons

| Tronçons | P <sub>amont</sub> | J     | P <sub>aval</sub> |
|----------|--------------------|-------|-------------------|
| 1        | 30                 | 2,999 | 27,001            |
| 2        | 27,001             | 0,011 | 26,989            |
| 3        | 26,989             | 0,042 | 26,948            |
| 4        | 26,948             | 0,012 | 26,935            |
| 5        | 26,935             | 0,002 | 26,933            |
| 6        | 26,941             | 0,007 | 26,934            |
| 7        | 27,003             | 0,062 | 26,941            |
| 8        | 27,146             | 0,143 | 27,003            |
| 9        | 28,678             | 1,532 | 27,146            |
| 10       | 28,897             | 0,219 | 28,678            |
| 11       | 29,147             | 0,25  | 28,897            |
| 12       | 29,452             | 0,305 | 29,147            |
| 13       | 29,758             | 0,306 | 29,452            |
| 14       | 30                 | 0,242 | 29,758            |
| 15       | 30                 | 0,047 | 29,953            |
| 16       | 29,953             | 0,18  | 29,773            |
| 17       | 29,773             | 0,183 | 29,589            |
| 18       | 29,589             | 0,176 | 29,413            |
| 19       | 29,413             | 0,166 | 29,247            |
| 20       | 29,247             | 2,423 | 26,824            |
| 21       | 26,824             | 0,073 | 26,75             |
| 22       | 26,75              | 0,035 | 26,715            |
| 23       | 26,715             | 0,029 | 26,686            |
| 24       | 26,686             | 0,018 | 26,669            |
| 25       | 26,669             | 0,012 | 26,657            |
| 26       | 26,657             | 0,005 | 26,652            |
| 27       | 26,652             | 0     | 26,652            |
| 28       | 26,659             | 0,007 | 26,652            |
| 29       | 26,691             | 0,033 | 26,659            |

| Tronçons | P <sub>amont</sub> | J     | P <sub>aval</sub> |
|----------|--------------------|-------|-------------------|
| 30       | 26,754             | 0,063 | 26,691            |
| 31       | 26,885             | 0,131 | 26,754            |
| 32       | 27,001             | 0,116 | 26,885            |
| 33       | 26,824             | 0,576 | 26,248            |
| 34       | 26,248             | 0,064 | 26,184            |
| 35       | 26,184             | 0,047 | 26,137            |
| 36       | 26,137             | 0,038 | 26,1              |
| 37       | 26,1               | 0,02  | 26,08             |
| 38       | 26,08              | 0,005 | 26,075            |
| 39       | 26,075             | 0,003 | 26,072            |
| 40       | 26,072             | 0,001 | 26,071            |
| 41       | 26,226             | 0,001 | 26,225            |
| 42       | 26,229             | 0,003 | 26,226            |
| 43       | 26,238             | 0,009 | 26,229            |
| 44       | 26,247             | 0,009 | 26,238            |
| 45       | 26,267             | 0,02  | 26,247            |
| 46       | 26,288             | 0,021 | 26,267            |
| 47       | 26,313             | 0,024 | 26,288            |
| 48       | 26,435             | 0,122 | 26,313            |
| 49       | 27,001             | 0,566 | 26,435            |
| 50       | 26,055             | 0,001 | 26,054            |
| 51       | 26,058             | 0,003 | 26,055            |
| 52       | 26,065             | 0,007 | 26,058            |
| 53       | 26,077             | 0,012 | 26,065            |
| 54       | 26,095             | 0,018 | 26,077            |
| 55       | 26,121             | 0,026 | 26,095            |
| 56       | 26,15              | 0,029 | 26,121            |
| 57       | 26,527             | 0,377 | 26,15             |

## V.1.2 Calcul des pressions dans les nœuds

Tableau V.1-7: Pressions dans les nœuds

| Nœuds | P      | Nœuds | P      |
|-------|--------|-------|--------|
| 1     | 30,000 | 29    | 26,691 |
| 2     | 27,001 | 30    | 26,754 |
| 3     | 26,989 | 31    | 26,885 |
| 4     | 26,948 | 32    | 26,248 |
| 5     | 26,935 | 33    | 26,184 |
| 6     | 26,933 | 34    | 26,137 |
| 7     | 26,941 | 35    | 26,100 |
| 8     | 27,003 | 36    | 26,080 |
| 9     | 27,146 | 37    | 26,075 |
| 10    | 28,678 | 38    | 26,071 |
| 11    | 28,897 | 39    | 26,225 |
| 12    | 29,147 | 40    | 26,226 |
| 13    | 29,452 | 41    | 26,229 |
| 14    | 29,758 | 42    | 26,238 |
| 15    | 29,953 | 43    | 26,247 |
| 16    | 29,773 | 44    | 26,267 |
| 17    | 29,589 | 45    | 26,288 |
| 18    | 29,413 | 46    | 26,313 |
| 19    | 29,247 | 47    | 26,435 |
| 20    | 26,824 | 48    | 26,055 |
| 21    | 26,750 | 49    | 26,058 |
| 22    | 26,715 | 50    | 26,065 |
| 23    | 26,686 | 51    | 26,055 |
| 24    | 26,669 | 52    | 26,058 |
| 25    | 26,657 | 53    | 26,121 |
| 26    | 26,652 | 54    | 26,150 |
| 27    | 26,652 | 55    | 26,527 |
| 28    | 26,659 |       |        |

Après avoir trouvé les pertes de charge dans chaque tronçon, on peut continuer à déterminer les paramètres géométriques et hydrauliques des canalisations formant le réseau de distribution.

Tableau V.1-8: Calcul hydraulique du réseau de distribution

| Tronçons | Q m <sup>3</sup> /s | DI (m) | L(m) | J     | J=j*L   | DE (mm) | $\lambda$ | P.amont | P.aval | V   |
|----------|---------------------|--------|------|-------|---------|---------|-----------|---------|--------|-----|
| 1        | 0,00694             | 0,083  | 330  | 2,999 | 989,703 | 90      | 0,0367    | 30,00   | 27,00  | 1,3 |
| 2        | 0,00186             | 0,043  | 6    | 0,011 | 0,069   | 50      | 0,0393    | 27,00   | 26,99  | 1,3 |
| 3        | 0,00138             | 0,037  | 40   | 0,042 | 1,673   | 50      | 0,0393    | 26,99   | 26,95  | 1,3 |
| 4        | 0,00081             | 0,029  | 34   | 0,012 | 0,421   | 50      | 0,0393    | 26,95   | 26,94  | 1,3 |
| 5        | 0,00031             | 0,017  | 35   | 0,002 | 0,063   | 50      | 0,0393    | 26,94   | 26,93  | 1,3 |
| 6        | 0,00060             | 0,025  | 36   | 0,007 | 0,258   | 50      | 0,0393    | 26,94   | 26,93  | 1,3 |
| 7        | 0,00132             | 0,036  | 37   | 0,062 | 2,299   | 50      | 0,0393    | 27,00   | 26,94  | 1,3 |
| 8        | 0,00208             | 0,046  | 37   | 0,143 | 5,294   | 50      | 0,0393    | 27,15   | 27,00  | 1,3 |
| 9        | 0,00555             | 0,074  | 264  | 1,532 | 404,46  | 90      | 0,0367    | 28,68   | 27,15  | 1,3 |
| 10       | 0,00576             | 0,076  | 35   | 0,219 | 7,652   | 90      | 0,0367    | 28,90   | 28,68  | 1,3 |
| 11       | 0,00598             | 0,077  | 37   | 0,250 | 9,236   | 90      | 0,0367    | 29,15   | 28,90  | 1,3 |
| 12       | 0,00621             | 0,079  | 42   | 0,305 | 12,817  | 90      | 0,0367    | 29,45   | 29,15  | 1,3 |
| 13       | 0,00645             | 0,080  | 39   | 0,306 | 11,937  | 90      | 0,0367    | 29,76   | 29,45  | 1,3 |
| 14       | 0,00671             | 0,082  | 28,5 | 0,242 | 6,901   | 90      | 0,0367    | 30,00   | 29,76  | 1,3 |
| 15       | 0,00645             | 0,080  | 6    | 0,047 | 0,282   | 90      | 0,0367    | 30,00   | 29,95  | 1,3 |
| 16       | 0,00619             | 0,079  | 25   | 0,180 | 4,511   | 90      | 0,0367    | 29,95   | 29,77  | 1,3 |
| 17       | 0,00589             | 0,077  | 28   | 0,183 | 5,132   | 90      | 0,0367    | 29,77   | 29,59  | 1,3 |
| 18       | 0,00558             | 0,075  | 30   | 0,176 | 5,285   | 90      | 0,0367    | 29,59   | 29,41  | 1,3 |
| 19       | 0,00525             | 0,072  | 32   | 0,166 | 5,323   | 90      | 0,0367    | 29,41   | 29,25  | 1,3 |
| 20       | 0,00506             | 0,071  | 502  | 2,423 | 1216,39 | 90      | 0,0367    | 29,25   | 26,82  | 1,3 |
| 21       | 0,00211             | 0,046  | 30   | 0,073 | 2,198   | 50      | 0,0393    | 26,82   | 26,75  | 1,3 |
| 22       | 0,00141             | 0,038  | 32   | 0,035 | 1,125   | 50      | 0,0393    | 26,75   | 26,72  | 1,3 |
| 23       | 0,00122             | 0,035  | 35   | 0,029 | 1,007   | 50      | 0,0393    | 26,72   | 26,69  | 1,3 |
| 24       | 0,00103             | 0,032  | 30   | 0,018 | 0,526   | 50      | 0,0393    | 26,69   | 26,67  | 1,3 |
| 25       | 0,00081             | 0,028  | 33   | 0,012 | 0,388   | 50      | 0,0393    | 26,67   | 26,66  | 1,3 |
| 26       | 0,00055             | 0,023  | 30   | 0,005 | 0,147   | 50      | 0,0393    | 26,66   | 26,65  | 1,3 |
| 27       | 0,00008             | 0,009  | 42   | 0,000 | 0,006   | 50      | 0,0393    | 26,65   | 26,65  | 1,3 |
| 28       | 0,00055             | 0,023  | 43   | 0,007 | 0,307   | 50      | 0,0393    | 26,66   | 26,65  | 1,3 |
| 29       | 0,00107             | 0,033  | 52   | 0,033 | 1,702   | 50      | 0,0393    | 26,69   | 26,66  | 1,3 |
| 30       | 0,00159             | 0,040  | 45   | 0,063 | 2,818   | 50      | 0,0393    | 26,75   | 26,69  | 1,3 |
| 31       | 0,00199             | 0,045  | 60   | 0,131 | 7,847   | 50      | 0,0393    | 26,88   | 26,75  | 1,3 |
| 32       | 0,00227             | 0,048  | 41   | 0,116 | 4,759   | 50      | 0,0393    | 27,00   | 26,88  | 1,3 |
| 33       | 0,00295             | 0,054  | 350  | 0,576 | 201,427 | 63      | 0,0367    | 26,82   | 26,25  | 1,3 |
| 34       | 0,00271             | 0,052  | 46   | 0,064 | 2,930   | 63      | 0,0367    | 26,25   | 26,18  | 1,3 |
| 35       | 0,00247             | 0,050  | 41   | 0,047 | 1,928   | 63      | 0,0367    | 26,18   | 26,14  | 1,3 |
| 36       | 0,00224             | 0,047  | 40   | 0,038 | 1,514   | 50      | 0,0367    | 26,14   | 26,10  | 1,3 |
| 37       | 0,00152             | 0,039  | 45   | 0,020 | 0,884   | 50      | 0,0367    | 26,10   | 26,08  | 1,3 |
| 38       | 0,00081             | 0,028  | 39   | 0,005 | 0,189   | 50      | 0,0367    | 26,08   | 26,08  | 1,3 |
| 39       | 0,00057             | 0,024  | 45   | 0,003 | 0,124   | 50      | 0,0367    | 26,08   | 26,07  | 1,3 |
| 40       | 0,00030             | 0,017  | 62   | 0,001 | 0,063   | 50      | 0,0367    | 26,07   | 26,07  | 1,3 |

|    |         |       |     |       |         |    |        |       |       |     |
|----|---------|-------|-----|-------|---------|----|--------|-------|-------|-----|
| 41 | 0,00033 | 0,018 | 24  | 0,001 | 0,012   | 50 | 0,0367 | 26,23 | 26,23 | 1,3 |
| 42 | 0,00094 | 0,031 | 16  | 0,003 | 0,043   | 50 | 0,0367 | 26,23 | 26,23 | 1,3 |
| 43 | 0,00127 | 0,036 | 30  | 0,009 | 0,272   | 50 | 0,0367 | 26,24 | 26,23 | 1,3 |
| 44 | 0,00167 | 0,041 | 18  | 0,009 | 0,170   | 50 | 0,0367 | 26,25 | 26,24 | 1,3 |
| 45 | 0,00182 | 0,043 | 32  | 0,020 | 0,641   | 50 | 0,0367 | 26,27 | 26,25 | 1,3 |
| 46 | 0,00213 | 0,046 | 25  | 0,021 | 0,532   | 50 | 0,0367 | 26,29 | 26,27 | 1,3 |
| 47 | 0,00284 | 0,053 | 16  | 0,024 | 0,390   | 63 | 0,0367 | 26,31 | 26,29 | 1,3 |
| 48 | 0,00329 | 0,057 | 60  | 0,122 | 7,329   | 63 | 0,0367 | 26,43 | 26,31 | 1,3 |
| 49 | 0,00281 | 0,053 | 380 | 0,566 | 215,054 | 63 | 0,0367 | 27,00 | 26,43 | 1,3 |
| 50 | 0,00048 | 0,022 | 30  | 0,001 | 0,038   | 50 | 0,0367 | 26,06 | 26,05 | 1,3 |
| 51 | 0,00081 | 0,028 | 25  | 0,003 | 0,076   | 50 | 0,0367 | 26,06 | 26,06 | 1,3 |
| 52 | 0,00110 | 0,033 | 30  | 0,007 | 0,204   | 50 | 0,0367 | 26,06 | 26,06 | 1,3 |
| 53 | 0,00146 | 0,038 | 30  | 0,012 | 0,362   | 50 | 0,0367 | 26,08 | 26,06 | 1,3 |
| 54 | 0,00184 | 0,043 | 28  | 0,018 | 0,498   | 50 | 0,0367 | 26,09 | 26,08 | 1,3 |
| 55 | 0,00232 | 0,048 | 26  | 0,026 | 0,685   | 50 | 0,0367 | 26,12 | 26,09 | 1,3 |
| 56 | 0,00279 | 0,053 | 20  | 0,029 | 0,585   | 63 | 0,0367 | 26,15 | 26,12 | 1,3 |
| 57 | 0,00316 | 0,056 | 200 | 0,377 | 75,429  | 63 | 0,0367 | 26,53 | 26,15 | 1,3 |

Qi : débit est exprimé en m<sup>3</sup>/s

Di : diamètre intérieur est exprimé m

L : longueur du tronçon exprimé en m

J : perte de charge unitaire exprimé m.c.e/m

J=j\*L : perte de charge totale exprimée en m

P : pression exprimée en m.c.e

V : vitesse exprimée en m/s

## V.2. Par la méthode du modèle rugueux de référence (MMR)

Tableau 1 : Paramètres géométrique et hydrauliques du réseau étudié

| Maille | tronçons | L (m)  | Q (m³/s) | E      | C TN  |      |
|--------|----------|--------|----------|--------|-------|------|
|        |          |        |          |        | Amont | Aval |
| I      | 1        | 330    | 0,0067   | 0,0001 | 853   | 848  |
|        | 2        | 6      | 0,0022   | 0,0001 | 853   | 837  |
|        | 3        | 40     | 0,0017   | 0,0001 | 837   | 838  |
|        | 4        | 34     | 0,0011   | 0,0001 | 848   | 838  |
|        | 5        | 35     | 0,0006   | 0,0001 | 848   | 849  |
|        | 6        | 36     | 0,0003   | 0,0001 | 838   | 841  |
|        | 7        | 37     | 0,0010   | 0,0001 | 849   | 841  |
|        | 8        | 37     | 0,0018   | 0,0001 | 849   | 847  |
|        | 9        | 264    | 0,0055   | 0,0001 | 847   | 842  |
|        | 10       | 35     | 0,0057   | 0,0001 | 849   | 841  |
|        | 11       | 37     | 0,0060   | 0,0001 | 842   | 842  |
|        | 12       | 42     | 0,0062   | 0,0001 | 847   | 848  |
|        | 13       | 39     | 0,0064   | 0,0001 | 842   | 846  |
|        | 14       | 28,5   | 0,0067   | 0,0001 | 842   | 833  |
| II     | 15       | 6      | 0,0067   | 0,0001 | 845   | 848  |
|        | 16       | 25     | 0,0064   | 0,0001 | 844   | 847  |
|        | 17       | 28     | 0,0061   | 0,0001 | 848   | 847  |
|        | 18       | 30     | 0,0058   | 0,0001 | 848   | 844  |
|        | 19       | 32     | 0,0055   | 0,0001 | 844   | 844  |
|        | 20       | 502    | 0,0053   | 0,0001 | 847   | 844  |
|        | 21       | 30     | 0,0025   | 0,0001 | 844   | 849  |
|        | 22       | 32     | 0,0018   | 0,0001 | 848   | 849  |
|        | 23       | 35     | 0,0016   | 0,0001 | 844   | 848  |
|        | 24       | 30     | 0,0014   | 0,0001 | 848   | 849  |
|        | 25       | 33     | 0,0012   | 0,0001 | 849   | 845  |
|        | 26       | 30     | 0,0009   | 0,0001 | 849   | 841  |
|        | 27       | 42     | 0,0005   | 0,0001 | 847   | 833  |
|        | 28       | 43     | 0,0002   | 0,0001 | 845   | 833  |
|        | 29       | 52     | 0,0007   | 0,0001 | 845   | 832  |
|        | 30       | 45     | 0,0012   | 0,0001 | 849   | 828  |
|        | 31       | 60     | 0,0016   | 0,0001 | 844   | 832  |
|        | 32       | 41     | 0,0019   | 0,0001 | 845   | 830  |
| 1      | 330      | 0,0067 | 0,0001   | 847    | 848   |      |

| Maille | tronçons | L (m)  | Q (m³/s) | ε      | C TN  |      |
|--------|----------|--------|----------|--------|-------|------|
|        |          |        |          |        | Amont | Aval |
| III    | 33       | 350    | 0,0028   | 0,0001 | 832   | 832  |
|        | 34       | 46     | 0,0026   | 0,0001 | 832   | 838  |
|        | 35       | 41     | 0,0023   | 0,0001 | 832   | 838  |
|        | 36       | 40     | 0,0021   | 0,0001 | 841   | 838  |
|        | 37       | 45     | 0,0014   | 0,0001 | 824   | 841  |
|        | 38       | 39     | 0,0007   | 0,0001 | 842   | 841  |
|        | 39       | 45     | 0,0004   | 0,0001 | 832   | 830  |
|        | 40       | 62     | 0,0002   | 0,0001 | 830   | 824  |
|        | 41       | 24     | 0,0005   | 0,0001 | 824   | 841  |
|        | 42       | 16     | 0,0011   | 0,0001 | 833   | 842  |
|        | 43       | 30     | 0,0014   | 0,0001 | 833   | 830  |
|        | 44       | 18     | 0,0018   | 0,0001 | 842   | 824  |
|        | 45       | 32     | 0,0020   | 0,0001 | 833   | 830  |
|        | 46       | 25     | 0,0023   | 0,0001 | 834   | 833  |
|        | 47       | 16     | 0,0030   | 0,0001 | 834   | 830  |
|        | 48       | 60     | 0,0034   | 0,0001 | 828   | 829  |
|        | 49       | 380    | 0,0027   | 0,0001 | 847   | 831  |
|        | 32       | 41     | 0,0019   | 0,0001 | 847   | 830  |
|        | 31       | 35     | 0,0016   | 0,0001 | 824   | 824  |
|        | 30       | 36     | 0,0012   | 0,0001 | 830   | 824  |
|        | 29       | 40     | 0,0007   | 0,0001 | 824   | 844  |
|        | 28       | 43     | 0,0002   | 0,0001 | 844   | 847  |
|        | 27       | 63     | 0,0005   | 0,0001 | 847   | 844  |
|        | 26       | 35     | 0,0009   | 0,0001 | 847   | 835  |
|        | 25       | 35     | 0,0012   | 0,0001 | 844   | 847  |
|        | 24       | 50     | 0,0014   | 0,0001 | 844   | 836  |
|        | 23       | 50     | 0,0016   | 0,0001 | 849   | 844  |
|        | 22       | 59     | 0,0018   | 0,0001 | 824   | 834  |
| 21     | 40       | 0,0025 | 0,0001   | 834    | 849   |      |
| IV     | 49       | 45     | 0,0004   | 0,0001 | 832   | 830  |
|        | 50       | 30     | 0,0017   | 0,0001 | 847   | 831  |
|        | 51       | 28     | 0,0021   | 0,0001 | 847   | 830  |
|        | 52       | 26     | 0,0026   | 0,0001 | 824   | 824  |
|        | 53       | 20     | 0,0031   | 0,0001 | 830   | 824  |
|        | 54       | 200    | 0,0034   | 0,0001 | 824   | 844  |
|        | 55       | 210    | 0,0037   | 0,0001 | 844   | 847  |
|        | 8        | 37     | 0,0018   | 0,0001 | 849   | 847  |
|        | 7        | 37     | 0,0010   | 0,0001 | 849   | 841  |
|        | 6        | 36     | 0,0003   | 0,0001 | 838   | 841  |
|        | 5        | 35     | 0,0006   | 0,0001 | 848   | 849  |
|        | 4        | 34     | 0,0011   | 0,0001 | 848   | 838  |
|        | 3        | 40     | 0,0017   | 0,0001 | 837   | 838  |
|        | 2        | 6      | 0,0022   | 0,0001 | 853   | 837  |

Tableau 2: Calcul du réseau maillé par la nouvelle méthode Etape : détermination des diamètres des conduites

| MP | MA  | Tronçons | Q(m³/s) | Pression supposées |      | CP     |       | $\Delta H_t$ (m) | J (m)  | D (m) | $\bar{R}$ | $\rho$  | Dthe (m) | DN (mm) |     |
|----|-----|----------|---------|--------------------|------|--------|-------|------------------|--------|-------|-----------|---------|----------|---------|-----|
|    |     |          |         |                    |      |        |       |                  |        |       |           |         |          |         |     |
| I  | II  | 1        | 0,0067  | 17                 | 20   | 870    | 868   | 2                | 298,4  | 0,151 | 56644,2   | 0,814   | 0,123    | 150     |     |
|    | IV  | 2        | 0,0022  | 22                 | 28   | 866    | 865   | 1                | 464,3  | 0,088 | 31314,1   | 0,838   | 0,073    | 73      |     |
|    | IV  | 3        | 0,0017  | 27,5               | 25   | 864,5  | 863   | 1,5              | 899,3  | 0,069 | 30657,6   | 0,844   | 0,058    | 73      |     |
|    | IV  | 4        | 0,0011  | 19,96              | 20   | 867,96 | 866   | 1,96             | 1777,0 | 0,051 | 27410,9   | 0,854   | 0,044    | 50      |     |
|    | IV  | 5        | 0,0006  | 27                 | 25   | 875    | 874   | 1                | 1680,7 | 0,040 | 18717,5   | 0,869   | 0,035    | 50      |     |
|    | IV  | 6        | 0,0003  | 28,5               | 25   | 866,5  | 866   | 0,5              | 1592,4 | 0,032 | 12618,5   | 0,885   | 0,028    | 50      |     |
|    | IV  | 7        | 0,0010  | 22                 | 29   | 871    | 870   | 1                | 970,9  | 0,056 | 23311,9   | 0,855   | 0,048    | 63      |     |
|    | IV  | 8        | 0,0018  | 32                 | 27   | 875    | 874   | 1                | 557,4  | 0,079 | 29105,2   | 0,842   | 0,066    | 90      |     |
|    |     |          | 9       | 0,0055             | 22,5 | 27     | 869,5 | 869              | 0,5    | 90,3  | 0,177     | 39772,0 | 0,820    | 0,145   | 150 |
|    |     |          | 10      | 0,0057             | 20   | 26,2   | 869   | 867,2            | 1,8    | 313,3 | 0,140     | 52148,6 | 0,817    | 0,115   | 150 |
|    |     |          | 11      | 0,0060             | 28,5 | 28     | 870,5 | 870              | 0,5    | 83,7  | 0,186     | 40990,6 | 0,818    | 0,152   | 200 |
|    |     |          | 12      | 0,0062             | 37   | 35     | 884   | 883              | 1      | 161,3 | 0,165     | 47790,6 | 0,816    | 0,135   | 150 |
|    |     |          | 13      | 0,0064             | 35   | 30     | 877   | 876              | 1      | 155,2 | 0,169     | 48534,5 | 0,816    | 0,138   | 150 |
|    |     |          | 14      | 0,0067             | 24   | 32     | 866   | 865              | 1      | 149,2 | 0,173     | 49311,7 | 0,815    | 0,141   | 150 |
| II |     | 15       | 0,0067  | 31,4               | 28   | 876,4  | 876   | 0,4              | 59,7   | 0,208 | 41054,6   | 0,817   | 0,170    | 200     |     |
|    |     | 16       | 0,0064  | 38,1               | 35   | 882,1  | 882   | 0,1              | 15,5   | 0,268 | 30625,1   | 0,823   | 0,221    | 200     |     |
|    |     | 17       | 0,0061  | 29,5               | 30   | 877,5  | 877   | 0,5              | 81,3   | 0,189 | 41469,6   | 0,818   | 0,154    | 200     |     |
|    |     | 18       | 0,0058  | 28,5               | 32   | 876,5  | 876   | 0,5              | 85,7   | 0,183 | 40614,6   | 0,819   | 0,150    | 200     |     |
|    |     | 19       | 0,0055  | 23,7               | 23   | 867,7  | 867   | 0,7              | 127,1  | 0,165 | 42442,0   | 0,819   | 0,135    | 150     |     |
|    |     | 20       | 0,0053  | 32,5               | 35   | 867,5  | 867   | 0,5              | 94,1   | 0,173 | 39123,5   | 0,821   | 0,142    | 150     |     |
|    | III | 21       | 0,0025  | 20,2               | 15   | 864,2  | 864   | 0,2              | 80,4   | 0,132 | 24043,0   | 0,838   | 0,111    | 110     |     |
|    | III | 22       | 0,0018  | 20                 | 18,1 | 868    | 867,1 | 0,9              | 501,7  | 0,080 | 28498,3   | 0,842   | 0,068    | 73      |     |
|    | III | 23       | 0,0016  | 29,3               | 25   | 873,3  | 873   | 0,3              | 187,1  | 0,093 | 21869,5   | 0,847   | 0,079    | 90      |     |
|    | III | 24       | 0,0014  | 19,5               | 18   | 867,5  | 867   | 0,5              | 354,1  | 0,078 | 23023,4   | 0,848   | 0,066    | 73      |     |
|    | III | 25       | 0,0012  | 19,5               | 23   | 868,5  | 868   | 0,5              | 421,6  | 0,070 | 21471,9   | 0,852   | 0,060    | 73      |     |
|    | III | 26       | 0,0009  | 17,5               | 25   | 866,5  | 866   | 0,5              | 540,0  | 0,061 | 19448,2   | 0,858   | 0,052    | 63      |     |
|    | III | 27       | 0,0005  | 16,2               | 30   | 863,2  | 863   | 0,2              | 437,6  | 0,048 | 12207,2   | 0,877   | 0,042    | 50      |     |
|    | III | 28       | 0,0002  | 15                 | 26,5 | 860    | 859,5 | 0,5              | 2958,6 | 0,022 | 9849,0    | 0,902   | 0,020    | 50      |     |
|    | III | 29       | 0,0007  | 24                 | 36   | 869    | 868   | 1                | 1451,4 | 0,044 | 19848,6   | 0,865   | 0,038    | 50      |     |
|    | III | 30       | 0,0012  | 15                 | 35   | 864    | 863   | 1                | 826,4  | 0,062 | 24863,2   | 0,851   | 0,053    | 63      |     |
|    | III | 31       | 0,0016  | 19,5               | 30   | 863,5  | 862   | 1,5              | 931,7  | 0,068 | 30226,7   | 0,845   | 0,057    | 63      |     |
|    | III | 32       | 0,0019  | 21,27              | 35   | 866,27 | 865   | 1,27             | 672,7  | 0,077 | 31160,4   | 0,841   | 0,065    | 73      |     |
| I  |     | 1        | 0,0067  | 15,5               | 20   | 868,5  | 868   | 0,5              | 74,6   | 0,199 | 42928,3   | 0,816   | 0,162    | 200     |     |

Tableau 2: Calcul du réseau maillé par la nouvelle méthode Etape : détermination des diamètres des conduites.

| MP  | MA    | Tronçons | Q(m³/s) | Pression supposées |       | CP    |        | ΔHt (m) | J (m)   | D (m)   | $\bar{R}$ | $\rho$ | Dthe (m) | DN (mm) |
|-----|-------|----------|---------|--------------------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|-----------|--------|----------|---------|
| III | II    | 33       | 0,0028  | 20,5               | 20    | 852,5 | 852    | 0,5     | 176,9   | 0,118   | 30392,5   | 0,833  | 0,099    | 100     |
|     |       | 34       | 0,0026  | 22                 | 15    | 854   | 853    | 1       | 387,0   | 0,098   | 33679,0   | 0,834  | 0,082    | 90      |
|     |       | 35       | 0,0023  | 30                 | 23,5  | 862   | 862    | 0,5     | 213,7   | 0,106   | 28178,8   | 0,837  | 0,089    | 90      |
|     |       | 36       | 0,0021  | 23,5               | 20    | 864,5 | 864    | 0,5     | 236,5   | 0,100   | 27056,9   | 0,840  | 0,084    | 90      |
|     |       | 37       | 0,0014  | 25,8               | 25    | 866,8 | 866    | 0,8     | 573,5   | 0,071   | 25170,4   | 0,848  | 0,060    | 63      |
|     |       | 38       | 0,0007  | 32                 | 35    | 877   | 876    | 1       | 1462,0  | 0,044   | 19790,8   | 0,865  | 0,038    | 50      |
|     |       | 39       | 0,0004  | 27                 | 28    | 859   | 858    | 1       | 2252,3  | 0,034   | 16649,3   | 0,876  | 0,030    | 50      |
|     |       | 40       | 0,0002  | 32                 | 32    | 862   | 861    | 1       | 5952,4  | 0,019   | 11286,7   | 0,903  | 0,017    | 50      |
|     |       | 41       | 0,0005  | 20                 | 25    | 867   | 866    | 1       | 2164,5  | 0,035   | 16916,0   | 0,875  | 0,030    | 50      |
|     |       | 42       | 0,0011  | 21,5               | 26    | 868,5 | 868    | 0,5     | 467,3   | 0,066   | 20605,8   | 0,855  | 0,057    | 63      |
|     |       | 43       | 0,0014  | 26                 | 28    | 859   | 858    | 1       | 717,9   | 0,067   | 26304,0   | 0,848  | 0,057    | 63      |
|     |       | 44       | 0,0018  | 33,5               | 35    | 875,5 | 875    | 0,5     | 278,7   | 0,090   | 25337,6   | 0,843  | 0,076    | 90      |
|     |       | 45       | 0,0020  | 28                 | 30    | 861   | 860    | 1       | 512,8   | 0,083   | 30092,3   | 0,840  | 0,069    | 73      |
|     |       | 46       | 0,0023  | 31,2               | 32    | 865,2 | 865    | 0,2     | 88,8    | 0,124   | 23107,5   | 0,840  | 0,104    | 110     |
|     |       | 49       | 0,0027  | 28                 | 30    | 875   | 874    | 1       | 375,7   | 0,099   | 34082,0   | 0,834  | 0,083    | 90      |
|     | II    | 32       | 0,0019  | 21                 | 35    | 866   | 865    | 1       | 529,7   | 0,081   | 29705,9   | 0,841  | 0,068    | 63      |
|     | II    | 31       | 0,0016  | 19,5               | 30    | 863,5 | 862    | 1,5     | 931,7   | 0,068   | 30226,7   | 0,845  | 0,057    | 63      |
|     | II    | 30       | 0,0012  | 15                 | 35    | 864   | 863    | 1       | 826,4   | 0,062   | 24863,2   | 0,851  | 0,053    | 63      |
|     | II    | 29       | 0,0007  | 24                 | 36    | 869   | 868    | 1       | 1451,4  | 0,044   | 19848,6   | 0,865  | 0,038    | 50      |
|     | II    | 28       | 0,0002  | 15                 | 26,5  | 860   | 860    | 0,5     | 2958,6  | 0,022   | 9849,0    | 0,902  | 0,020    | 50      |
|     | II    | 27       | 0,0005  | 17                 | 30    | 864   | 863    | 1       | 2188,2  | 0,035   | 16842,6   | 0,875  | 0,030    | 50      |
| II  | 26    | 0,0009   | 17,5    | 25                 | 866,5 | 866   | 0,5    | 540,0   | 0,061   | 19448,2 | 0,858     | 0,052  | 63       |         |
| II  | 25    | 0,0012   | 19,5    | 23                 | 868,5 | 868   | 0,5    | 421,6   | 0,070   | 21471,9 | 0,852     | 0,060  | 63       |         |
| II  | 24    | 0,0014   | 20      | 18                 | 868   | 867   | 1      | 708,2   | 0,068   | 26447,0 | 0,848     | 0,058  | 63       |         |
| II  | 23    | 0,0016   | 30      | 25                 | 874   | 873   | 1      | 623,8   | 0,073   | 27823,7 | 0,845     | 0,062  | 63       |         |
| II  | 22    | 0,0018   | 20      | 18,1               | 868   | 867   | 0,9    | 501,7   | 0,080   | 28498,3 | 0,842     | 0,068  | 73       |         |
| II  | 21    | 0,0025   | 21      | 15                 | 865   | 864   | 1      | 401,9   | 0,096   | 33172,8 | 0,835     | 0,080  | 90       |         |
| IV  | I     | 49       | 4E-04   | 27                 | 28    | 859   | 858    | 1       | 2252,3  | 0,034   | 16649,3   | 0,876  | 0,030    | 50      |
|     |       | 50       | 0,002   | 25,5               | 27    | 872,5 | 872    | 0,5     | 287,7   | 0,088   | 25018,2   | 0,844  | 0,075    | 90      |
|     |       | 51       | 0,002   | 25                 | 27    | 872   | 871    | 1       | 473,0   | 0,087   | 31080,2   | 0,839  | 0,073    | 73      |
|     |       | 52       | 0,003   | 25,5               | 24    | 849,5 | 848    | 1,5     | 577,8   | 0,090   | 36591,7   | 0,834  | 0,075    | 90      |
|     |       | 53       | 0,003   | 23,4               | 28    | 853,4 | 852    | 1,4     | 456,9   | 0,101   | 38564,1   | 0,831  | 0,084    | 90      |
|     |       | 54       | 0,003   | 31                 | 35    | 880   | 879    | 1       | 290,6   | 0,116   | 37767,3   | 0,828  | 0,096    | 100     |
|     |       | 55       | 0,004   | 34                 | 30    | 878   | 877    | 1       | 267,0   | 0,122   | 39068,1   | 0,827  | 0,101    | 110     |
|     |       | 8        | 0,002   | 32                 | 27    | 875   | 874    | 1       | 557,4   | 0,079   | 29105,2   | 0,842  | 0,066    | 73      |
|     |       | 7        | 0,001   | 22                 | 29    | 871   | 870    | 1       | 970,9   | 0,056   | 23311,9   | 0,855  | 0,048    | 50      |
|     |       | 6        | 3E-04   | 28,5               | 25    | 866,5 | 866    | 0,5     | 1592,4  | 0,032   | 12618,5   | 0,885  | 0,028    | 50      |
|     |       | 5        | 6E-04   | 27                 | 25    | 875   | 874    | 1       | 1680,7  | 0,040   | 18717,5   | 0,869  | 0,035    | 50      |
|     |       | 4        | 0,001   | 25                 | 20    | 873   | 858    | 15      | 13599,3 | 0,034   | 41180,4   | 0,860  | 0,029    | 50      |
|     |       | 3        | 0,002   | 28                 | 25    | 865   | 863    | 2       | 1199,0  | 0,065   | 32473,3   | 0,844  | 0,055    | 63      |
| 2   | 0,002 | 15       | 28      | 868                | 865   | 3     | 1392,8 | 0,070   | 39009,0 | 0,839   | 0,059     | 63     |          |         |

Tableau 3: Calcul du réseau maillé par application de la méthode du modèle rugueux de référence pour le cas où le diamètre de calcul est pris égal au diamètre théorique

| MP  | MA  | Tronçons | Q (m³/s) | Dthé (m) | ΔHt (m) | ΔHt/Q (m³/s) | C,M,P (m³/s) | C,M,A (m³/s) | Q cor (m³/s) | C P(m) |        | P S(m) |      |      |
|-----|-----|----------|----------|----------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|------|------|
|     |     |          |          |          |         |              |              |              |              |        |        |        |      |      |
| I   | IV  | 2        | 0,0022   | 0,073    | 1       | 464,3        | 0,000        | 0,000        | 0,0021       | 867,7  | 867,4  | 15     | 30   |      |
|     | IV  | 3        | 0,0017   | 0,058    | 1,5     | 899,3        | 0,000        | 0,000        | 0,0016       | 864,71 | 863    | 27,71  | 25   |      |
|     | IV  | 4        | 0,0011   | 0,044    | 1,8     | 1631,9       | 0,000        | 0,000        | 0,0011       | 862,75 | 861    | 24,75  | 20   |      |
|     | IV  | 5        | 0,0006   | 0,035    | 1,96    | 3294,1       | 0,000        | 0,000        | 0,0006       | 874    | 873    | 25     | 25   |      |
|     | IV  | 6        | 0,0003   | 0,028    | -0,5    | -1592,4      | 0,000        | 0,000        | 0,0003       | 873,6  | 873    | 25,4   | 35,5 |      |
|     | IV  | 7        | 0,0010   | 0,048    | -1      | -970,9       | 0,000        | 0,000        | 0,0010       | 877,09 | 877    | 30     | 27,8 |      |
|     | IV  | 8        | 0,0018   | 0,066    | -1      | -557,4       | 0,000        | 0,000        | 0,0018       | 868,2  | 868    | 30,5   | 27,1 |      |
|     |     |          | 9        | 0,0055   | 0,145   | -0,5         | -90,3        | 0,000        | 0,000        | 0,0055 | 869,2  | 868,4  | 20,4 | 27,2 |
|     |     |          | 10       | 0,0057   | 0,115   | -1,8         | -313,3       | 0,000        | 0,000        | 0,0057 | 873,3  | 873,2  | 24,3 | 26,2 |
|     |     |          | 11       | 0,0060   | 0,152   | -0,5         | -83,7        | 0,000        | 0,000        | 0,0059 | 870,4  | 870    | 23,4 | 28   |
|     |     |          | 12       | 0,0062   | 0,135   | -1           | -161,3       | 0,000        | 0,000        | 0,0062 | 876,2  | 876    | 27,2 | 35   |
|     |     |          | 13       | 0,0064   | 0,138   | -1           | -155,2       | 0,000        | 0,000        | 0,0064 | 872,5  | 872    | 30,5 | 30   |
|     |     |          | 14       | 0,0067   | 0,141   | -1           | -149,2       | 0,000        | 0,000        | 0,0067 | 880,25 | 880    | 33,2 | 32,1 |
|     |     |          |          |          | Somme   | 0,04         | 2514,3       |              | ΔQ= 0,000    |        |        |        |      |      |
| II  |     | 16       | 0,0064   | 0,221    | 0,1     | 15,5         | -0,0022      | -0,002       | 0,00208      | 868,1  | 868    | 26,1   | 35   |      |
|     |     | 17       | 0,0061   | 0,154    | 0,5     | 81,3         | -0,0022      | -0,002       | 0,00178      | 858,12 | 858    | 25,12  | 15   |      |
|     |     | 18       | 0,0058   | 0,150    | 0,5     | 85,7         | -0,0022      | -0,002       | 0,00147      | 867,2  | 867,1  | 24,5   | 18,1 |      |
|     |     | 19       | 0,0055   | 0,135    | 0,7     | 127,1        | -0,0022      | -0,002       | 0,00114      | 869,05 | 869    | 26,05  | 34,9 |      |
|     |     | 20       | 0,0053   | 0,142    | 0,5     | 94,1         | -0,0022      | -0,002       | 0,00095      | 865,07 | 865    | 31,05  | 18   |      |
|     | III | 21       | 0,0025   | 0,111    | 0,2     | 80,4         | -0,0022      | -0,002       | -0,00188     | 857,02 | 857    | 14,02  | 23   |      |
|     | III | 22       | 0,0018   | 0,068    | 0,9     | 501,7        | -0,0022      | -0,002       | -0,00257     | 872,56 | 872    | 24,56  | 25,2 |      |
|     | III | 23       | 0,0016   | 0,079    | 0,3     | 187,1        | -0,0022      | -0,002       | -0,00276     | 869,01 | 869    | 22     | 25,3 |      |
|     | III | 24       | 0,0014   | 0,066    | 0,5     | 354,1        | -0,0022      | -0,002       | -0,00295     | 871,6  | 871    | 26,6   | 27   |      |
|     | III | 25       | 0,0012   | 0,060    | 0,5     | 421,6        | -0,0022      | -0,002       | -0,00318     | 871,01 | 871    | 23,05  | 26   |      |
|     | III | 26       | 0,0009   | 0,052    | 0,5     | 540,0        | -0,0022      | -0,002       | -0,00344     | 868,06 | 868    | 23,06  | 20,2 |      |
|     | III | 27       | 0,0005   | 0,042    | 0,2     | 437,6        | -0,0022      | -0,002       | -0,00391     | 877,03 | 877    | 33,1   | 30   |      |
|     | III | 28       | 0,0002   | 0,020    | -0,5    | -2958,6      | -0,0022      | -0,002       | -0,00419     | 877,7  | 877    | 29,7   | 29,9 |      |
|     | III | 29       | 0,0007   | 0,038    | -1      | -1451,4      | -0,0022      | -0,002       | -0,00367     | 867,05 | 867    | 19,05  | 23,2 |      |
| III | 32  | 0,0019   | 0,065    |          | 0,0     | -0,0022      | -0,002       | -0,00248     | 877,001      | 877    | 33,02  | 28     |      |      |
| I   |     | 1        | 0,0067   | 0,162    | -0,5    | -74,6        | -0,0022      | -0,002       | 0,00234      | 879,2  | 879    | 31,2   | 30   |      |
|     |     |          |          | Somme    | 3,4     | -1558,3      |              | ΔQ= -0,034   |              |        |        |        |      |      |

| MP  | MA | Tron    | Q(m³/s) | Dthé (m) | ΔHt     | ΔHt/Q(m³/s) | CMP     | C,M,A  | Q co(m³/s)r | C P(m)  |         | P S(m) |       |      |
|-----|----|---------|---------|----------|---------|-------------|---------|--------|-------------|---------|---------|--------|-------|------|
| III |    | 33      | 0,0028  | 0,099    | 1       | 353,7       | 0,0000  | 0,0000 | 0,0028      | 878,05  | 878     | 34,05  | 30,2  |      |
|     |    | 34      | 0,0026  | 0,082    | 1       | 387,0       | 0,0000  | 0,0000 | 0,0026      | 878,06  | 878     | 30,06  | 29    |      |
|     |    | 35      | 0,0023  | 0,089    | 1       | 427,4       | 0,0000  | 0,0000 | 0,0024      | 866,09  | 866     | 23,09  | 18,4  |      |
|     |    | 36      | 0,0021  | 0,084    | 1,2     | 567,6       | 0,0000  | 0,0000 | 0,0021      | 876,001 | 876     | 29,03  | 31,2  |      |
|     |    | 37      | 0,0014  | 0,060    | 1,2     | 860,2       | 0,0000  | 0,0000 | 0,0014      | 868,55  | 868,5   | 24,6   | 20,5  |      |
|     |    | 38      | 0,0007  | 0,038    | 1       | 1462,0      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0007      | 875,001 | 875     | 30,02  | 28,4  |      |
|     |    | 39      | 0,0004  | 0,030    | 1,2     | 2702,7      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0005      | 873,2   | 873     | 26,5   | 23,7  |      |
|     |    | 40      | 0,0002  | 0,017    | 1       | 5952,4      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0002      | 869,1   | 869     | 27     | 23,5  |      |
|     |    | 41      | 0,0005  | 0,030    | -1      | -2164,5     | 0,0000  | 0,0000 | 0,0005      | 868,1   | 868     | 26,1   | 35    |      |
|     |    | 42      | 0,0011  | 0,057    | -0,5    | -467,3      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0011      | 858,12  | 858     | 25,12  | 15    |      |
|     |    | 43      | 0,0014  | 0,057    | -1      | -717,9      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0014      | 867,2   | 867,1   | 24,5   | 18,1  |      |
|     |    | 44      | 0,0018  | 0,076    | -0,5    | -278,7      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0018      | 869,05  | 869     | 26,05  | 34,9  |      |
|     |    | 45      | 0,0020  | 0,069    | -1      | -512,8      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0020      | 865,07  | 865     | 31,05  | 18    |      |
|     |    | 46      | 0,0023  | 0,104    | -0,2    | -88,8       | 0,0000  | 0,0000 | 0,0023      | 857,02  | 857     | 14,02  | 23    |      |
|     |    | 47      | 0,0030  | 0,088    | -1      | -336,7      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0030      | 872,56  | 872     | 24,56  | 25,2  |      |
|     |    | 48      | 0,0034  | 0,133    | -0,2    | -58,6       | 0,0000  | 0,0000 | 0,0034      | 869,01  | 869     | 22     | 25,3  |      |
|     |    | 49      | 0,0027  | 0,083    | -1      | -375,7      | 0,0000  | 0,0000 | 0,0027      | 871,6   | 871     | 26,6   | 27    |      |
|     |    | II      | 32      | 0,0019   | 0,068   | -1,27       | -672,7  | 0,0000 | 0,0000      | 0,0019  | 877,001 | 877    | 33,02 | 28   |
|     |    | II      | 31      | 0,0016   | 0,057   | -1,5        | -931,7  | 0,0000 | 0,0000      | 0,0016  | 877,01  | 877    | 31    | 33   |
|     |    | II      | 30      | 0,0012   | 0,053   | -1          | -826,4  | 0,0000 | 0,0000      | 0,0012  | 869,4   | 869    | 25,2  | 25,5 |
|     |    | II      | 29      | 0,0007   | 0,038   | -1          | -1451,4 | 0,0000 | 0,0000      | 0,0007  | 867,05  | 867    | 19,05 | 23,2 |
| II  | 28 | 0,0002  | 0,020   | -0,5     | -2958,6 | 0,0000      | 0,0000  | 0,0002 | 877,7       | 877     | 29,7    | 29,9   |       |      |
| II  | 27 | 0,0005  | 0,030   | 0,2      | 437,6   | 0,0000      | 0,0000  | 0,0005 | 877,03      | 877     | 33,1    | 30     |       |      |
| II  | 26 | 0,0009  | 0,052   | 0,5      | 540,0   | 0,0000      | 0,0000  | 0,0009 | 868,06      | 868     | 23,06   | 20,2   |       |      |
| II  | 25 | 0,0012  | 0,060   | 0,5      | 421,6   | 0,0000      | 0,0000  | 0,0012 | 871,01      | 871     | 23,05   | 26     |       |      |
| II  | 24 | 0,0014  | 0,058   | 0,5      | 354,1   | 0,0000      | 0,0000  | 0,0014 | 871,6       | 871     | 26,6    | 27     |       |      |
| II  | 23 | 0,0016  | 0,062   | 0,3      | 187,1   | 0,0000      | 0,0000  | 0,0016 | 869,01      | 869     | 22      | 25,3   |       |      |
| II  | 22 | 0,0018  | 0,068   | 0,9      | 501,7   | 0,0000      | 0,0000  | 0,0018 | 872,56      | 872     | 24,56   | 25,2   |       |      |
| II  | 21 | 0,0025  | 0,080   | 0,2      | 80,4    | 0,0000      | 0,0000  | 0,0025 | 857,02      | 857     | 14,02   | 23     |       |      |
| IV  |    |         |         | Somme    | 0,03    | 3393,8      |         |        |             |         |         |        |       |      |
|     |    | III     | 49      | 0,0004   | 0,030   | 1           | 2252,3  | 0,000  | 0,000       | 0,0002  | 878,05  | 878    | 34,05 | 30,2 |
|     |    | 50      | 0,0017  | 0,075    | 1       | 575,4       | 0,000   | 0,000  | 0,0015      | 878,06  | 878     | 30,06  | 29    |      |
|     |    | 51      | 0,0021  | 0,073    | 0,8     | 378,4       | 0,000   | 0,000  | 0,0019      | 866,09  | 866     | 23,09  | 18,4  |      |
|     |    | 52      | 0,0026  | 0,075    | 1,5     | 577,8       | 0,000   | 0,000  | 0,0024      | 876,001 | 876     | 29,03  | 31,2  |      |
|     |    | 53      | 0,0031  | 0,084    | 1,4     | 456,9       | 0,000   | 0,000  | 0,0028      | 868,55  | 868,5   | 24,6   | 20,5  |      |
|     |    | 54      | 0,0034  | 0,096    | -1      | -290,6      | 0,000   | 0,000  | 0,0032      | 875,001 | 875     | 30,02  | 28,4  |      |
|     |    | 55      | 0,0037  | 0,101    | -1      | -267,0      | 0,000   | 0,000  | 0,0035      | 873,2   | 873     | 26,5   | 23,7  |      |
|     |    | I       | 8       | 0,0018   | 0,066   | 1           | 557,4   | 0,000  | 0,000       | 0,0017  | 868,2   | 868    | 30,5  | 27,1 |
|     |    | I       | 7       | 0,0010   | 0,048   | 1           | 970,9   | 0,000  | 0,000       | 0,0009  | 877,09  | 877    | 30    | 27,8 |
|     |    | I       | 6       | 0,0003   | 0,028   | 0,5         | 1592,4  | 0,000  | 0,000       | 0,0002  | 873,6   | 873    | 25,4  | 35,5 |
|     |    | I       | 5       | 0,0006   | 0,035   | -1,96       | -3294,1 | 0,000  | 0,000       | 0,0005  | 874     | 873    | 25    | 25   |
|     |    | I       | 4       | 0,0011   | 0,029   | -1,8        | -1631,9 | 0,000  | 0,000       | 0,0010  | 862,75  | 861    | 24,75 | 20   |
|     |    | I       | 3       | 0,0017   | 0,055   | -1,5        | -899,3  | 0,000  | 0,000       | 0,0016  | 864,71  | 863    | 27,71 | 25   |
| I   | 2  | 0,00215 | 0,059   | -1       | -464,3  | -0,000      | 0,0000  | 0,0020 | 867,7       | 867,4   | 15      | 30     |       |      |
|     |    |         |         | Somme    | -0,06   | 514,2       |         |        |             |         |         |        |       |      |

Tableau 4 : Calcul du réseau maillé par application de la méthode du modèle rugueux de référence pour le cas où le diamètre de calcul est pris égal au diamètre normalisé

| MP    | MA  | Tron | Q(m <sup>3</sup> /s) | DN (m) | ΔHt (m) | ΔHt/Q (m <sup>3</sup> /s) | C,M,P (m <sup>3</sup> /s) | C,M,A (m <sup>3</sup> /s) | Q cor (m <sup>3</sup> /s) | C P (m) |         | P S(m) |        |      |
|-------|-----|------|----------------------|--------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|---------|--------|--------|------|
| I     | II  | 1    | 0,0067               | 0,15   | 1       | 149,2                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0067                    | 869     | 868     | 16     | 20     |      |
|       | III | 2    | 0,0022               | 0,073  | 0,3     | 139,3                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0022                    | 867,7   | 867,4   | 14,7   | 30,4   |      |
|       | III | 3    | 0,0017               | 0,073  | 0,51    | 305,8                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0017                    | 863,51  | 863     | 27,71  | 25     |      |
|       | III | 4    | 0,0011               | 0,05   | 0,03    | 27,2                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0011                    | 861,03  | 861     | 24,75  | 20     |      |
|       | III | 5    | 0,0006               | 0,05   | 0,2     | 336,1                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0006                    | 873,2   | 873     | 25     | 25     |      |
|       | III | 6    | 0,0003               | 0,05   | 0,6     | 1910,8                    | 0,000                     | 0,000                     | 0,0004                    | 873,6   | 873     | 25,6   | 35     |      |
|       | III | 7    | 0,0010               | 0,063  | -0,09   | -87,4                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0011                    | 877,09  | 877     | 29,09  | 28     |      |
|       | III | 8    | 0,0018               | 0,09   | -0,2    | -111,5                    | 0,000                     | 0,000                     | 0,0018                    | 868,2   | 868     | 30,2   | 27     |      |
|       |     |      | 9                    | 0,0055 | 0,15    | -0,8                      | -144,5                    | 0,000                     | 0,000                     | 0,0056  | 869,2   | 868,4  | 20,2   | 27,4 |
|       |     |      | 10                   | 0,0057 | 0,15    | -0,1                      | -17,4                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0058  | 873,3   | 873,2  | 24,3   | 26,2 |
|       |     |      | 11                   | 0,0060 | 0,2     | -0,4                      | -67,0                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0060  | 870,4   | 870    | 23,4   | 28   |
|       |     |      | 12                   | 0,0062 | 0,15    | -0,2                      | -32,3                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0062  | 876,2   | 876    | 27,2   | 35   |
|       |     |      | 13                   | 0,0064 | 0,15    | -0,55                     | -85,4                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0065  | 872,55  | 872    | 30,5   | 30   |
|       |     |      | 14                   | 0,0067 | 0,15    | -0,25                     | -37,3                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0067  | 880,25  | 880    | 33,25  | 32   |
| Somme |     |      |                      |        | 0,05    | 2285,7                    | ΔQ= 0,000                 | ΔQ= (0,31 < 0,5)          | l/s                       |         |         |        |        |      |
| II    |     | 15   | 0,0067               | 0,2    | 0,1     | 14,9                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0067                    | 869,1   | 869     | 27,1   | 23     |      |
|       |     |      | 16                   | 0,0064 | 0,2     | 0,1                       | 15,5                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0064  | 868,1   | 868    | 26,1   | 35   |
|       |     |      | 17                   | 0,0061 | 0,2     | 0,12                      | 19,5                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0061  | 858,12  | 858    | 25,12  | 15   |
|       |     |      | 18                   | 0,0058 | 0,2     | 0,1                       | 17,1                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0058  | 867,2   | 867,1  | 24,2   | 18,1 |
|       |     |      | 19                   | 0,0055 | 0,15    | 0,05                      | 9,1                       | 0,000                     | 0,000                     | 0,0055  | 869,05  | 869    | 26,05  | 35   |
|       |     |      | 20                   | 0,0053 | 0,15    | 0,07                      | 13,2                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0053  | 865,07  | 865    | 31,07  | 18   |
|       | III |      | 21                   | 0,0025 | 0,11    | 0,02                      | 8,0                       | 0,000                     | 0,000                     | 0,0025  | 857,02  | 857    | 14,02  | 23   |
|       | III |      | 22                   | 0,0018 | 0,073   | 0,56                      | 312,2                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0018  | 872,56  | 872    | 24,56  | 25   |
|       | III |      | 23                   | 0,0016 | 0,09    | 0,01                      | 6,2                       | 0,000                     | 0,000                     | 0,0016  | 869,01  | 869    | 22,01  | 25   |
|       | III |      | 24                   | 0,0014 | 0,073   | 0,15                      | 106,2                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0014  | 871,15  | 871    | 26,6   | 27   |
|       | III |      | 25                   | 0,0012 | 0,073   | 0,01                      | 8,4                       | 0,000                     | 0,000                     | 0,0012  | 871,01  | 871    | 23,01  | 26   |
|       | III |      | 26                   | 0,0009 | 0,063   | 0,06                      | 64,8                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0009  | 868,06  | 868    | 23,06  | 20   |
|       | III |      | 27                   | 0,0005 | 0,05    | 0,03                      | 65,6                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0004  | 877,03  | 877    | 33,03  | 30   |
|       | III |      | 28                   | 0,0002 | 0,05    | -0,7                      | -4142,0                   | 0,000                     | 0,000                     | -0,0002 | 877,7   | 877    | 29,7   | 30   |
|       | III |      | 29                   | 0,0007 | 0,05    | -0,05                     | -72,6                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0007  | 867,05  | 867    | 19,05  | 23   |
|       | III |      | 30                   | 0,0012 | 0,063   | -0,4                      | -330,6                    | 0,000                     | 0,000                     | 0,0012  | 869,4   | 869    | 25,4   | 25   |
|       | III |      | 31                   | 0,0016 | 0,063   | -0,01                     | -6,2                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0016  | 877,01  | 877    | 30,01  | 33   |
|       | III |      | 32                   | 0,0019 | 0,073   | -0,013                    | -0,5                      | 0,000                     | 0,000                     | 0,0019  | 877,001 | 877    | 33,001 | 28   |
| I     |     | 1    | 0,0067               | 0,2    | -0,2    | -29,8                     | 0,000                     | 0,000                     | 0,0067                    | 879,2   | 879     | 31,2   | 30     |      |
|       |     |      |                      |        | 0,019   | -3920,9                   | ΔQ= 0,000                 | ΔQ= (0,09 < 0,5)          | l/s                       |         |         |        |        |      |



Cas où le diamètre  
de calcul  
est le diamètre  
normalisé

Cas où le diamètre  
de calcul  
est le diamètre  
théorique Dthe

| MP | Tronçons | Dthé (m) | DN (mm) | PS Supposées |       | PS Vérifiées |       | PS m.c.e            | PS Vérifiées |       |
|----|----------|----------|---------|--------------|-------|--------------|-------|---------------------|--------------|-------|
|    |          |          |         |              |       |              |       |                     |              |       |
| I  | 1        | 0,123    | 150     | 16           | 20    | 16,1         | 20,12 | De 10 à 40<br>m.c/e | 16,2         | 20    |
|    | 2        | 0,073    | 73      | 14,7         | 30,4  | 14,8         | 30,5  |                     | 15           | 30    |
|    | 3        | 0,058    | 73      | 27,71        | 25    | 27,81        | 25,15 |                     | 27,71        | 25    |
|    | 4        | 0,044    | 50      | 24,75        | 20    | 24,85        | 20,1  |                     | 24,75        | 20    |
|    | 5        | 0,035    | 50      | 25           | 25    | 25,1         | 25,1  |                     | 25           | 25    |
|    | 6        | 0,028    | 50      | 25,6         | 35    | 25,7         | 35,15 |                     | 25,4         | 35,5  |
|    | 7        | 0,048    | 63      | 29,09        | 28    | 29,19        | 28    |                     | 30           | 27,8  |
|    | 8        | 0,066    | 90      | 30,2         | 27    | 30,3         | 27    |                     | 30,5         | 27,1  |
|    | 9        | 0,145    | 150     | 20,2         | 27,4  | 20,3         | 27,4  |                     | 20,4         | 27,2  |
|    | 10       | 0,115    | 150     | 24,3         | 26,2  | 24,4         | 26,3  |                     | 24,3         | 26,2  |
|    | 11       | 0,152    | 200     | 23,4         | 28    | 23,5         | 28,12 |                     | 23,4         | 28    |
|    | 12       | 0,135    | 150     | 27,2         | 35    | 27,3         | 35,15 |                     | 27,2         | 35    |
|    | 15       | 0,170    | 200     | 27,1         | 23    | 27,3         | 23,2  |                     | 27           | 23,5  |
|    | 16       | 0,221    | 200     | 26,1         | 35    | 26,1         | 35    |                     | 26,1         | 35    |
|    | II       | 17       | 0,154   | 200          | 25,12 | 15           | 25,32 |                     | 15,2         | 25,12 |
| 18 |          | 0,150    | 200     | 24,2         | 18,1  | 24,2         | 18,1  | 24,5                | 18,1         |       |
| 19 |          | 0,135    | 150     | 26,05        | 35    | 26,05        | 35    | 26,05               | 34,9         |       |
| 20 |          | 0,142    | 150     | 31,07        | 18    | 31,27        | 18    | 31,05               | 18           |       |
| 21 |          | 0,111    | 110     | 14,02        | 23    | 14,22        | 23    | 14,02               | 23           |       |
| 22 |          | 0,068    | 73      | 24,56        | 25    | 24,76        | 25    | 24,56               | 25,2         |       |
| 23 |          | 0,079    | 90      | 22,01        | 25    | 22,01        | 25    | 22                  | 25,3         |       |
| 24 |          | 0,066    | 73      | 26,6         | 27    | 26,6         | 27    | 26,6                | 27           |       |
| 25 |          | 0,060    | 73      | 23,01        | 26    | 23,21        | 26,12 | 23,05               | 26           |       |
| 26 |          | 0,052    | 63      | 23,06        | 20    | 23,06        | 20,2  | 23,06               | 20,2         |       |
| 27 |          | 0,042    | 50      | 33,03        | 30    | 33,03        | 29,8  | 33,1                | 30           |       |
| 28 |          | 0,020    | 50      | 29,7         | 30    | 29,7         | 30    | 29,7                | 29,9         |       |
| 29 |          | 0,038    | 50      | 19,05        | 23    | 19,25        | 23,1  | 19,05               | 23,2         |       |
| 30 |          | 0,053    | 63      | 25,4         | 25    | 25,4         | 24,85 | 25,2                | 25,5         |       |
| 31 |          | 0,057    | 63      | 30,01        | 33    | 30,01        | 33    | 31                  | 33           |       |
| 32 |          | 0,065    | 73      | 33           | 28    | 33,001       | 28,2  | 33,02               | 28           |       |
|    |          | 1        | 0,123   | 150          | 16    | 20           | 16,1  | 20,12               | 16,2         | 20    |

Cas ou le diamètre  
de calcul  
est le diamètre  
normalisé

Cas ou le  
diamètre de  
calcul est  
le diamètre  
théorique Dthé

| MP  | Tron-<br>çons | Dthé<br>(m) | DN<br>(mm) | PS<br>Supposées |       | PS<br>Vérifiées |       | PS<br>m.c.e      | PS<br>Vérifiées |      |
|-----|---------------|-------------|------------|-----------------|-------|-----------------|-------|------------------|-----------------|------|
| III | 33            | 0,099       | 100        | 34,05           | 30    | 34,05           | 30    | De 10 à 40 m.c.e | 34,05           | 30,2 |
|     | 34            | 0,082       | 90         | 30,06           | 29    | 30,06           | 29,2  |                  | 30,06           | 29   |
|     | 35            | 0,089       | 90         | 23,09           | 18    | 23,29           | 18    |                  | 23,09           | 18,4 |
|     | 36            | 0,084       | 90         | 29,001          | 31    | 29,001          | 30,88 |                  | 29,03           | 31,2 |
|     | 37            | 0,060       | 63         | 24,55           | 20,5  | 24,55           | 20,7  |                  | 24,6            | 20,5 |
|     | 38            | 0,038       | 50         | 30,001          | 28    | 30,001          | 28,15 |                  | 30,02           | 28,4 |
|     | 39            | 0,030       | 50         | 26,2            | 24    | 26,2            | 24,2  |                  | 26,5            | 23,7 |
|     | 40            | 0,017       | 50         | 33,5            | 32    | 20,49           | 20,3  |                  | 33,5            | 32   |
|     | 41            | 0,030       | 50         | 25,5            | 25    | 25,1            | 25,1  |                  | 25              | 25   |
|     | 42            | 0,057       | 63         | 27,4            | 27    | 24,9            | 25,3  |                  | 27,4            | 27   |
|     | 43            | 0,057       | 63         | 27,05           | 27    | 21,46           | 25,3  |                  | 27,1            | 26,9 |
|     | 44            | 0,076       | 90         | 30,3            | 30    | 27,5            | 27,3  |                  | 30,3            | 30   |
|     | 47            | 0,088       | 90         | 30,2            | 27    | 30,3            | 27    |                  | 30,5            | 27,1 |
|     | 48            | 0,133       | 150        | 27,2            | 35    | 27,3            | 35,15 |                  | 27,2            | 35   |
|     | 49            | 0,083       | 90         | 28,04           | 25    | 30,7            | 27,2  |                  | 28,06           | 25,2 |
|     | 32            | 0,068       | 63         | 29,7            | 23,4  | 28,6            | 25,3  |                  | 29,7            | 23,4 |
|     | 31            | 0,057       | 63         | 22,06           | 23    | 32,49           | 15,3  |                  | 22,04           | 22,6 |
|     | 30            | 0,053       | 63         | 28,2            | 25    | 28,3            | 35,2  |                  | 28,2            | 25   |
|     | 29            | 0,038       | 50         | 30,5            | 30    | 30,7            | 30    |                  | 30,5            | 30   |
|     | 28            | 0,020       | 50         | 26,1            | 35    | 26,1            | 35    |                  | 26,1            | 35   |
|     | 27            | 0,030       | 50         | 17,6            | 25,5  | 26,1            | 35,2  |                  | 17,9            | 25,7 |
| 26  | 0,052         | 63          | 25,12      | 15              | 25,32 | 15,2            | 25,12 | 15               |                 |      |
| 25  | 0,060         | 63          | 26,05      | 35              | 26,05 | 35              | 26,05 | 34,9             |                 |      |
| 24  | 0,058         | 63          | 22,5       | 26              | 26,35 | 35,1            | 22,3  | 25,8             |                 |      |
| 23  | 0,062         | 63          | 31,07      | 18              | 31,27 | 18              | 31,05 | 18               |                 |      |
| 22  | 0,068         | 73          | 16,1       | 19              | 31,4  | 18,1            | 15,9  | 19,3             |                 |      |
| 21  | 0,080         | 90          | 14,02      | 23              | 14,22 | 23              | 14,02 | 23               |                 |      |
| IV  | 49            | 0,030       | 50         | 22,01           | 25    | 22,01           | 25    | 22               | 25,3            |      |
|     | 50            | 0,075       | 90         | 17,06           | 32,8  | 33,2            | 32,3  | 17,04            | 32,6            |      |
|     | 51            | 0,073       | 73         | 19,1            | 22    | 28,3            | 35,2  | 28,2             | 25              |      |
|     | 52            | 0,075       | 90         | 32,8            | 32    | 35,9            | 15,35 | 32,9             | 32,1            |      |
|     | 53            | 0,084       | 90         | 33,03           | 30    | 33,03           | 29,8  | 33,1             | 30              |      |
|     | 54            | 0,096       | 100        | 22,6            | 25    | 33,38           | 30,1  | 23               | 25,4            |      |
|     | 55            | 0,101       | 110        | 30,01           | 33    | 30,01           | 33    | 31               | 33              |      |
|     | 8             | 0,066       | 73         | 22,51           | 21    | 30,35           | 33,1  | 22,46            | 20,5            |      |
|     | 6             | 0,028       | 50         | 20              | 29,9  | 33,35           | 28,1  | 20               | 29,9            |      |
|     | 5             | 0,035       | 50         | 18,31           | 30    | 30,5            | 20,3  | 18,36            | 30,5            |      |
|     | 4             | 0,029       | 50         | 29,001          | 31    | 29,001          | 30,88 | 29,03            | 31,2            |      |
|     | 3             | 0,055       | 63         | 30              | 37,9  | 29,32           | 31,1  | 30               | 37,9            |      |
|     | 2             | 0,059       | 63         | 27,6            | 32    | 30,2            | 21    | 27,2             | 31,6            |      |

**SYNTHESE DES RESULTATS TROUVES AVEC LES DEUX METHODES  
UTILISEES**

| Tronçons | P.amont                           | P.aval | P.amont                   | P.aval |
|----------|-----------------------------------|--------|---------------------------|--------|
| 1        | 30                                | 27     | 16,2                      | 20     |
| 2        | 27                                | 26,99  | 15                        | 30     |
| 3        | 26,99                             | 26,95  | 27,71                     | 25     |
| 4        | 26,95                             | 26,94  | 24,75                     | 20     |
| 5        | 26,94                             | 26,93  | 25                        | 25     |
| 6        | 26,94                             | 26,93  | 25,4                      | 35,5   |
| 7        | 27                                | 26,94  | 30                        | 27,8   |
| 8        | 27,15                             | 27     | 30,5                      | 27,1   |
| 9        | 28,68                             | 27,15  | 20,4                      | 27,2   |
| 10       | 28,9                              | 28,68  | 24,3                      | 26,2   |
| 11       | 29,15                             | 28,9   | 23,4                      | 28     |
| 12       | 29,45                             | 29,15  | 27,2                      | 35     |
| 13       | 29,76                             | 29,45  | 27                        | 23,5   |
| 14       | 30                                | 29,76  | 26,1                      | 35     |
| 15       | 30                                | 29,95  | 25,12                     | 15     |
| 16       | 29,95                             | 29,77  | 24,5                      | 18,1   |
| 17       | 29,77                             | 29,59  | 26,05                     | 34,9   |
| 18       | 29,59                             | 29,41  | 31,05                     | 18     |
| 19       | 29,41                             | 29,25  | 14,02                     | 23     |
| 20       | 29,25                             | 26,82  | 24,56                     | 25,2   |
| 21       | 26,82                             | 26,75  | 22                        | 25,3   |
| 22       | 26,75                             | 26,72  | 26,6                      | 27     |
| 23       | 26,72                             | 26,69  | 23,05                     | 26     |
| 24       | 26,69                             | 26,67  | 23,06                     | 20,2   |
| 25       | 26,67                             | 26,66  | 33,1                      | 30     |
| 26       | 26,66                             | 26,65  | 29,7                      | 29,9   |
| 27       | 26,65                             | 26,65  | 19,05                     | 23,2   |
| 28       | 26,66                             | 26,65  | 25,2                      | 25,5   |
| 29       | 26,69                             | 26,66  | 31                        | 33     |
|          | <b>Méthode de<br/>Hardy-Cross</b> |        | <b>Méthode de<br/>MMR</b> |        |

| Tronçons | P.amont | P.aval | P.amont | P.aval |
|----------|---------|--------|---------|--------|
| 30       | 26,75   | 26,69  | 33,02   | 28     |
| 31       | 26,88   | 26,75  | 34,05   | 30,2   |
| 32       | 27      | 26,88  | 30,06   | 29     |
| 33       | 26,82   | 26,25  | 23,09   | 18,4   |
| 34       | 26,25   | 26,18  | 29,03   | 31,2   |
| 35       | 26,18   | 26,14  | 24,6    | 20,5   |
| 36       | 26,14   | 26,1   | 30,02   | 28,4   |
| 37       | 26,1    | 26,08  | 26,5    | 23,7   |
| 38       | 26,08   | 26,08  | 33,5    | 32     |
| 39       | 26,08   | 26,07  | 25      | 25     |
| 40       | 26,07   | 26,07  | 27,4    | 27     |
| 41       | 26,23   | 26,23  | 27,1    | 26,9   |
| 42       | 26,23   | 26,23  | 30,3    | 30     |
| 43       | 26,24   | 26,23  | 30,5    | 27,1   |
| 44       | 26,25   | 26,24  | 27,2    | 35     |
| 45       | 26,27   | 26,25  | 28,06   | 25,2   |
| 46       | 26,29   | 26,27  | 22      | 25,3   |
| 47       | 26,31   | 26,29  | 17,04   | 32,6   |
| 48       | 26,43   | 26,31  | 28,2    | 25     |
| 49       | 27      | 26,43  | 32,9    | 32,1   |
| 50       | 26,06   | 26,05  | 33,1    | 30     |
| 51       | 26,06   | 26,06  | 23      | 25,4   |
| 52       | 26,06   | 26,06  | 31      | 33     |
| 53       | 26,08   | 26,06  | 22,46   | 20,5   |
| 54       | 26,09   | 26,08  | 20      | 29,9   |
| 55       | 26,12   | 26,09  | 18,36   | 30,5   |
| 56       | 26,15   | 26,12  | 29,03   | 31,2   |
| 57       | 26,53   | 26,15  | 30      | 37,9   |

**Conclusion** : Dans le nouvel réseau que j'ai proposé, la méthode préférée est la méthode de HARDY CROSS c'est-à-dire que cette méthode est fiable, simple qui donne des résultats corrects et rapidement et puis, je vais vous suggérer aux exploitants ou aux étudiants que cette méthode est beaucoup plus des résultats réels.

## V.2 Facilitation du modèle dans le calcul de la maille

Dans notre travail, la facilitation du modèle dans le calcul de la maille, nous allons d'abord subdiviser le quartier en quatre anneaux ou quatre mailles pour faciliter les calculs. Cette facilitation de ce modèle dans leur calcul de la maille étant la base des calculs des caractéristiques des tuyaux ( $\lambda_i$  et  $R_i$ ) pour tout le réseau. Deuxièmement, chercher l'élimination de la variation des débits ( $\Delta Q_i$ ), des itérations successives pour tout le réseau. Chaque maille étant calculé à part jusqu'à ce qu'on trouve la répartition des débits réels, si nous terminons la première maille, nous continuons avec la deuxième, la troisième et la quatrième maille. A tout cela, faire la répartition finale des débits réels (Schéma de calcul) sur le réseau d'application de ce modèle voir en annexe5.

En outre, l'autre facilitation du modèle dans le calcul de la maille, après avoir trouvé les caractéristiques des tuyaux ( $\lambda_i$  et  $R_i$ ), nous commençons à chercher l'élimination de la variation des débits ( $\Delta Q_i$ ) sur les quatre anneaux. Nous abordons alors pour terminer l'itération. Ainsi, faire la même chose que dans les variations des débits, et toutes les itérations suivantes.

Exemple sur anneau I et anneau II, le tronçon un est le tronçon intermédiaire pour les deux anneaux. La relation utilisée est la suivante :

$$Q_i = Q_i + \varepsilon_i \Delta Q_i + \varepsilon_i \Delta Q_i$$

(V.19)

Avec :

$\varepsilon_i$  : appartient dans le deuxième terme à l'anneau I et du troisième terme à l'anneau II avec sens contraire c'est-à-dire que  $\varepsilon_i$  égale +1 pour l'anneau I et  $\varepsilon_i$  égale -1 pour l'anneau II selon le sens conventionnel de la maille.

Nous avons procédé de la même manière avec la même formule pour les tronçons intermédiaires du réseau. Tandis que la facilitation du modèle dans le calcul de la maille pour les tronçons contraires, la relation utilisée est simplifiée que la précédente :

$$Q_i = Q_i + \varepsilon_i \Delta Q_i \tag{V.20}$$

Après avoir trouvé les débits réels du réseau d'alimentation en eau potable, faire une répartition finale (Schéma de calcul). La maille la plus facile à calculer est la maille 1 car les tronçons intermédiaires sont peu nombreux et aussi il n'y a pas des débits finals à garder dans ce calcul. Le calcul des autres anneaux n'est pas facile à calculer car chaque fois dans le calcul de la maille, on est obligé de garder les débits finals intermédiaires. Par exemple la maille quatre, les débits intermédiaires appartiennent aux trois mailles.

### **V.3 Facilitation du modèle dans la détection et réparation des pannes**

Dans la recherche et la localisation des fuites sur les canalisations enterrées pour le réseau d'alimentation en eau potable, il suffit de localiser ou visualiser là où se trouve la panne. Or en premier lieu, connaître la disposition d'un plan du réseau au mieux, le schéma comportant les vannes de sectionnement. Celui-ci reste incontournable à la recherche des fuites.

Prenons par exemple un cas de cassure d'un tuyau d'alimentation en eau potable, l'eau est montée vers le haut, le sol est humide, le bruit de l'eau, et même l'eau est visible sur terrain naturel. Après avoir recueilli un maximum d'informations sur le fonctionnement du réseau, il faut couper tout proche du point de rupture avant de faire la réparation des pannes et pendant ce cas de la réparation des pannes, les gens en amont et en aval de ce point de rupture restent alimentés en eau potable. Exemple d'une panne pour l'application de ce modèle sur avenue numéro treize (AV13), pour résoudre ce problème, il suffit de couper une seule alimentation de cette avenue et les gens de l'autre alimentation dans cette même avenue restent alimentés en eau potable.

### **V.4 Facilitation dans le raccordement des extensions éventuelles**

Imaginons que tous les ménages à Nyakabiga seront raccordés à l'eau potable. En plus, tout particulier, à sa demande, doit être raccordé au réseau de distribution d'eau potable. Le branchement qui lui sera proposé s'arrête au joint aval d'un compteur qui doit être posé sur son domaine privé, en limite de celui-ci. Sa mise en place est à la charge de la collectivité via son service public de distribution d'eau potable. La canalisation allant du joint aval du compteur à l'installation demeurant à la charge du particulier.

Comme conseil, l'Etat précise que, pour la distribution d'eau potable, les frais d'extension du réseau sont à la charge de la « collectivité du rattachement ». Concrètement, le particulier aura tout intérêt dans un premier temps à se procurer le « règlement de service » de distribution d'eau potable de sa collectivité de rattachement, un document qui définit les droits et les obligations réciproques de la collectivité et de l'usager, qu'on peut se procurer de la mairie ([www.eauxglacees.com](http://www.eauxglacees.com) le 08/9/2020).

#### **❖ Le raccordement au réseau d'eau potable**

Dans le cadre du schéma de distribution d'eau potable, les zones doivent déterminer les quartiers qui seront desservis par le réseau de distribution. Le raccordement des extensions éventuelles dans la zone Nyakabiga se fait d'une manière générale que dans tout quartier. Les conduites principales alimentent les conduites secondaires et ainsi de suite jusqu' aux ménages.

### ❖ **Condition d'implantation du raccordement**

Le tracé de tout nouveau raccordement doit se faire perpendiculairement à l'axe de la voirie sur le domaine public et privé ainsi que sur les terrains privés. En cas de difficulté technique majeure ou coût exorbitant lors du remplacement du raccordement, le distributeur peut, en accord avec l'abonné, y procéder suivant un autre tracé. Le compteur est placé de manière à en faciliter l'accès, le relevé d'index, la surveillance, le fonctionnement régulier, le remplacement et la réparation.

Le distributeur détermine le type et le calibre du compteur en fonction des besoins de l'abonné ou de l'usage et des prescriptions techniques.

En principe, le diamètre du raccordement sera inférieur à celui des conduites du réseau de distribution sur lequel il est branché. Le diamètre du compteur sera, quant à lui, d'un diamètre égal ou parfois inférieur au diamètre de la conduite du raccordement.

### ❖ **La redevance de raccordement**

D'une façon générale, le coût du branchement, c'est-à-dire le raccordement entre la conduite publique et la propriété de l'utilisateur, est à la charge de ce dernier.

La prise en charge du branchement peut s'avérer plus délicate lorsque le raccordement implique une extension de réseau public, selon qu'elle a pour origine la demande de l'utilisateur ou l'initiative de la commune ([www.banquedesterritoires.fr](http://www.banquedesterritoires.fr) le 08/9/2020).

### ❖ **Remarque :**

Toute parcelle peut être raccordée au réseau d'adduction en eau potable si :

- elle dispose d'un accès direct sur le domaine public,
- le réseau d'adduction en eau potable passe au droit de cette parcelle,
- dans la limite d'un branchement par parcelle,
- dans la mesure où les installations existantes le permettent.

## CHAP.VI. ESTIMATION DU COUT DU PROJET

Dans ce chapitre, Il est question de déterminer la quantité des travaux et celle des matériaux en vue d'en déduire l'estimation de l'enveloppe financière des différentes unités du réseau. Elle se fait soit de façon forfaitaire ; soit par calcul sur base des données établies sur le plan d'exécution.

### VI.1 Quantitatif des fournitures

Le quantitatif des fournitures donne le coût des matériaux en appliquant les prix unitaires aux différentes quantités des matériaux et des matériels à utiliser.

#### VI.1.1 Tuyauteries

Les tuyauteries seront posées dans les tranchées. Une couche de sable sera placée en dessous et en dessus des tuyaux pour assurer une bonne stabilité à la conduite (voir annexe 4). Pour bien exécuter, il est nécessaire d'utiliser les méthodes de calcul (déblais d'excavation et remblais compacté).

Tableau : Tuyauteries pour chaque diamètre

| No | Désignation     | Unité | Quantités |
|----|-----------------|-------|-----------|
| 1  | PVC DN90 PN 10  | Pièce | 286       |
| 2  | PVC DN 63 PN 10 | Pièce | 46        |
| 3  | PVC DN50 PN 10  | Pièce | 383       |

La quantité des conduites à commander est détaillée dans le tableau ci-dessous, en considérant que chacun tuyau mesure 6m.

Tableau VI.1-1: Conduites à commander

| D (mm) | PN | Quantités totales des tuyaux | Mesure d'une pièce (en m) | L (m) |
|--------|----|------------------------------|---------------------------|-------|
| 90     | 10 | 286                          | 6                         | 1716  |
| 63     | 10 | 46                           |                           | 276   |
| 50     | 10 | 383                          |                           | 2298  |
| Total  |    | 715                          |                           |       |

## **VI.1.2 Accessoires à la tuyauterie**

A côté des tuyauteries, il y a d'autres pièces d'équipement qui interviennent dans la gestion de distribution d'eau. Les accessoires les plus importants rencontrés dans notre réseau sont les suivants :

### **❖ Les vannes de sectionnement**

Elles permettent d'isoler les différents tronçons du réseau lors d'une réparation sur l'un d'entre eux et contrôlent la pression. Leur fonctionnement sera de type tout ou rien : ouverture ou fermeture totales : les positions intermédiaires correspondent à des situations provisoires ou exceptionnelles.

### **❖ Les coudes :**

Ce sont des accessoires de déviation de la direction de circulation des eaux.

### **❖ Les Tés :**

Accessoires en forme de « T » utilisé pour les raccordements des canalisations secondaires aux canalisations principales.

### **❖ Regard de la ventouse :**

La ventouse est positionnée sur les points hauts des conduites, et qui sert à évacuer l'air emprisonné dans les tuyaux pour contourner les pannes dévastatrices liées à l'air comprimé.

En effet, les accessoires seront comptés de façon forfaitaire.

## **VI.2 Quantitatif des travaux**

### **VI.2.1 Déblai**

Connaitre le volume des déblais c'est-à-dire la longueur, la profondeur et la largeur à excaver. Après, on calcule en fonction des surfaces des coupes en travers, lors de la formule suivante :

$$S_d = b_t * h_t$$

(VI.1)

Où

$S_d$  : Surface de déblais en (m<sup>2</sup>)

$b_t$  : largeur de la tranchée en (m)

$h_t$  : hauteur de la tranchée en (m)

Enfin, son volume est calculé comme suit :

$$V_d = S_d * L_d$$

(VI.2)

Où

Vd : Volume de déblais (m<sup>3</sup>) ;

Ld : Longueur de la tranchée (m).

### **VI.2.1.1 Largeur de la tranchée**

La largeur de la tranchée doit être égale à 0,5 m pour faciliter les travaux. Elle sera calculée en fonction du diamètre de la conduite, en laissant 0,25 m d'espace de part et d'autre de celle-ci.

$b_t = 0,5$  m

### **VI.2.1.2 Profondeur de la tranchée**

Elle est calculée de façon qu'une distance suffisante soit menée au-dessus de la génératrice supérieure du tuyau pour assurer la sécurité de la conduite contre les risques de dégâts qui pourraient éventuellement être provoqués par le gel, et ceux d'écrasement sous l'effet de charge et de surcharge. Elle est calculée par la formule suivante :

$h_t = e_p + h_r$

(VI.3)

Avec :

Ht : Profondeur de la tranchée (m) ;

ep: Hauteur de lit de pose en mètre (e = 0,1m) ;

hr : Hauteur du remblai au-dessus de la conduite en mètre (entre 0,8m et 1,2m, on prendra h=0,8 m).

#### ➤ Lit de sable

Les conduites se posent sur un lit de sable de 0,1m d'épaisseur, et sur tout à la longueur du réseau de distribution.

$V_s = b_t * e_s * L_t$

(VI.4)

Où :

V<sub>s</sub> : Volume du lit de sable (m<sup>3</sup>) ;

e<sub>s</sub> : Epaisseur du lit de sable (= 0,1m) ;

L<sub>t</sub>: Longueur de la tranchée (m).

➤ Volume de la tuyauterie

La pose des tuyauteries dont la connaissance de la section est important pour la détermination du volume des remblais suit l'exécution des déblais de la tranchée et la mise en place du lit de sable.

$$S_c = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

(VI.5)

$S_c$  : Section de la conduite ( $m^2$ ) ;

$D$  : Diamètre de la conduite ( $m$ ).

$$V_c = S_c \cdot L_t$$

(VI.6)

$V_c$  : volume de la conduite ( $m^3$ )

➤ Déblais d'excavation

$$V_d = 1m^3 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 4288,008 = 1715,2032m^3$$

Tableau VI.2-1: fouille d'excavation

| Désignation             | L (m)    | b (m) | h(m) | S( $m^2$ ) | V( $m^3$ ) |
|-------------------------|----------|-------|------|------------|------------|
| Déblais<br>d'excavation | 4288,008 | 0,5   | 0,8  | 0,4        | 1715,2032  |

## VI.2.2 Remblai

Le volume des remblais est égal au volume des déblais en retranchant le volume occupé par la conduite et le volume du lit de sable.

$$V_r = V_d - V_c - V_s$$

(VI.7)

Avec :

$V_r$ : volume des remblais ( $m^3$ )

Tableau VI.2-2: Quantitatifs des fournitures des travaux

| D (m) | PN (N/mm <sup>2</sup> ) | L (m)    | b (m) | Vc (m <sup>3</sup> ) | Vs (m <sup>3</sup> ) | Vd (m <sup>3</sup> ) | Vr (m <sup>3</sup> ) |
|-------|-------------------------|----------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0,09  | 10                      | 1714,9   | 0,5   | 10,904               | 85,745               | 685,960              | 589,311              |
| 0,063 | 10                      | 276      | 0,5   | 0,860                | 13,800               | 110,400              | 95,740               |
| 0,05  | 10                      | 2297,108 | 0,5   | 4,508                | 114,855              | 918,843              | 799,480              |
| Total |                         |          |       | 16,272               | 214,400              | 1715,203             | 1484,531             |

### VI.2.3 La pose des tuyaux

Les tuyaux de distributions seront posés dans les tranchées. Une couche de sable sera placée en dessous et en dessus de la conduite pour assurer une bonne stabilité à la conduite (voir annexe 6). Pour bien exécuter, il est nécessaire d'utiliser les méthodes de calcul (déblais d'excavation et remblais compacté).

### VI.2.4 La construction des chambres de vannes

La chambre de vanne a pour dimension de la forme d'un carré de 1,5m de côté pour la base et une hauteur de 1,2 m comme dimension intérieure. Pour calculer celle-ci, on utilise des formules suivantes :

Dosage : 350kg/m<sup>3</sup>

Volume de la dalle de couverture :  $V=L*l*ép$   
(VI.8)

Volume de maçonnerie des briques pour les murs :  $V=\frac{\pi}{4} * Ht(DE^2 - DI^2)$   
(VI.9)

Le mortier de ciment occupe 30% du volume de la maçonnerie de moellons.

Mortier pour revêtement intérieur :  $V=DI* \pi *Ht*ép+\frac{DI^2\pi}{4} * ép$   
(VI.10)

Dosage du béton

➤ Le béton pour le couvercle :

Epaisseur : 10cm

Dosage : 350kg/m<sup>3</sup>

Trapillon : 50x50 pour accès à l'intérieur.

➤ Maçonnerie pour les parois :

Mortier de ciment pour enduit intérieur : 300kg/m<sup>3</sup> ; mortier de ciment pour maçonnerie : 250kg/m<sup>3</sup> ; Béton de propreté : 200kg/m<sup>3</sup> et mortier de ciment pour revêtement : 400kg/m<sup>3</sup>

Epaisseur de 3cm pour les parois et le fond seront enduits ou mortier de ciment

Pour une dalle de couverture, on se propose d'armé 10Ø12 et 10Ø8 avec un espacement de 16cm.

Tableau VI.2-3: Quantitatifs des fournitures des matériaux

| No | Désignation     | unité          | Quantités |
|----|-----------------|----------------|-----------|
| 1  | Briques         | pièces         | 129168    |
| 2  | Sables          | m <sup>3</sup> | 76,9764   |
| 3  | Graviers        | m <sup>3</sup> | 108,537   |
| 4  | Ciments         | sacs           | 120       |
| 5  | Armature ø8     | pièce          | 164,837   |
| 6  | Armature ø6     | pièce          | 164,837   |
| 7  | Fil à ligaturer | Kg             | 35,915    |
| 8  | Planches        | pièce          | 465       |
| 9  | Clous           | Kg             | 52,5      |

Tableau VI.2-4: Synthèse des quantitatifs des fournitures

| No    | Désignation de l'ouvrage | Unité          | Quantités  |
|-------|--------------------------|----------------|------------|
| I     | Conduite d'alimentation  |                |            |
| I.1   | Déblais d'excavation     | m <sup>3</sup> | 1715,2032  |
| I.2   | Pose de lit de sable     | m <sup>3</sup> | 214,4004   |
| I.3.  | Pose des conduites       | MI             | 4288,008   |
| I.4   | PVC de 90 PN 10          | Pièce          | 286        |
| I.5   | PVC de 63 PN 10          | Pièce          | 46         |
| I.6   | PVC de 50 PN 10          | Pièce          | 383        |
| I.8   | Remblai                  | m <sup>3</sup> | 1484,53061 |
| II.   | Chambres de Vanne        |                |            |
| II.1  | Fouilles                 | m <sup>3</sup> | 124,2      |
| II.2  | Briques                  | pièces         | 129168     |
| II.3  | Sables                   | m <sup>3</sup> | 76,9764    |
| II.4  | Graviers                 | m <sup>3</sup> | 108,537    |
| II.5  | Ciments                  | Sacs           | 120        |
| II.6  | Armature ø8              | Pièce          | 164,837    |
| II.7  | Armature ø6              | Pièce          | 164,837    |
| II.8  | Fil à ligaturer          | Kg             | 16,4837    |
| II.9  | Planches                 | Pièce          | 465        |
| II.10 | Clous                    | Kg             | 4,5        |
| III   | Té                       | pièce          | 53         |

### VI.3 Estimation des délais d'exécution des travaux

Le planning des travaux a pour objectif principal de la planification des tâches, de fournir une vision globale du projet et de son déroulement ; de montrer de façon détaillée et successivement les différentes étapes de réalisation du projet ; C'est-à-dire qu'on établit le calendrier des tâches pour se rendre compte à quel moment on a besoin de tels ou tels autres matériaux pour éviter d'une part un stockage des matériaux pendant une longue durée et des risques des détériorations qui en découlent et d'autres part un manque des matériaux sur le chantier pouvant occasionner l'arrêt des travaux.

Pour arriver à cette planification, nous allons utiliser la méthode classique à barres horizontales, appelée « Graphique de Gantt » Cette méthode est choisie par sa simplicité tant au niveau de la présentation qu'on niveau de sa lecture. C'est un graphique à deux axes, on porte en ordonnée les différentes phases du projet par ordre d'exécution, et en abscisse, les dates prévues pour leur réalisation [André DUPONT, 1972]. Les barres horizontales sont proportionnelles aux durées d'exécution des travaux qui sont placés en face.

### VI.4 Planification des taches

La planification des taches consiste à effectuer un découpage en phases chronologiques. Une fois la liste exhaustive des taches établie, elles vont devoir être ordonnancées de façon à déterminer les interdépendances et l'ordre dans lequel elles devront être réalisées. Elles vont être priorisées en fonction de leur criticité, des charges nécessaires à leur réalisation et de leurs éventuelles dépendances ([https : //www.nutcache.com](https://www.nutcache.com). le 08 Aout 2020).

Le tableau ci-après montre les délais d'exécution des tâches ainsi que la main d'œuvre nécessaire pour la réalisation de ces dernières.

*Tableau VI.4-1: Planification des tâches*

| Désignations des travaux      | U              | Qtés     | T.E.M    | Temps     | Temps     | Décision | nbre d'ouvriers |
|-------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------------|
|                               |                |          | h/unités | h/ouvrier | sem/ ouvr | Semaine  |                 |
| Installation du chantier      | EF             |          |          |           |           | 1        | 5               |
| Déblais d'excation            | m <sup>3</sup> | 1715,203 | 3,6      | 6174,7    | 154,37    | 12       | 13              |
| Pose de lit de sable          | m <sup>3</sup> | 214,400  | 1        | 214,4     | 5,36      | 2        | 3               |
| Poose des conduites           | ml             | 4288,008 | 0,30     | 1286,4    | 32,16     | 3        | 11              |
| Remblayage des tranchées      | m <sup>3</sup> | 1484,531 | 2        | 2969,1    | 74,23     | 4        | 19              |
| Maçonnerie de briques         | m <sup>3</sup> | 1302,221 | 24       | 31253,3   | 781,33    | 8        | 98              |
| Coffrages                     | m <sup>2</sup> | 60,000   | 1,3      | 78,0      | 1,95      | 1        | 2               |
| Ferraillages                  | kg             | 659,348  | 0,8      | 527,5     | 13,19     | 3        | 4               |
| Fabrications et mise en place | m <sup>3</sup> | 85,800   | 15       | 1287,0    | 32,18     | 2        | 16              |
| Enduit intérieur              | m <sup>3</sup> | 7,230    | 3        | 21,7      | 0,54      | 1        | 1               |
| Décoffrages                   | m <sup>2</sup> | 60,000   | 1        | 60,0      | 1,50      | 1        | 2               |



## VI.6 Devis estimatif

Dans le devis estimatif, on utilise à chaque quantité trouvée au devis quantitatif un prix unitaire afin d'obtenir après la somme des résultats, l'estimation de l'enveloppe financière importante pour finaliser le projet de réaménagement du réseau d'AEP. Pour y arriver, appliquons un tableau montrant les quantités, le prix unitaire et le prix total des matériaux, ainsi que le coût des matériaux et des travaux effectués.

### VI.6.1. Coût des matériaux et des travaux effectués

| No           | Désignation de l'ouvrage | Unité          | Quantités | P.U (FBU) | P.T (FBU)   |
|--------------|--------------------------|----------------|-----------|-----------|-------------|
| I            | Conduite d'alimentation  |                |           |           |             |
| I.1          | Déblais d'excavation     | m <sup>3</sup> | 1715,203  | 10000     | 17152030    |
| I.2          | Pose de lit de sable     | m <sup>3</sup> | 214,4     | 23000     | 4931200     |
| I.3.         | Pose des conduites       | ml             | 4288,008  | 2000      | 8576016     |
| I.4          | PVC de 90 PN 10          | Pièce          | 286       | 95000     | 27170000    |
| I.5          | PVC de 63 PN 10          | Pièce          | 46        | 65000     | 2990000     |
| I.6          | PVC de 50 PN 10          | Pièce          | 383       | 55000     | 21065000    |
| I.7          | Accessoires              | Ff             |           |           | 6000000     |
| I.8          | Remblayage               | m <sup>3</sup> | 1484,53   | 4000      | 5938120     |
| Sous total   |                          |                |           |           | 93822366    |
| II.          | Chambres de Vanne        |                |           |           |             |
| II.1         | Fouille                  | m <sup>3</sup> | 124,2     | 10000     | 1242000     |
| II.2         | Briques                  | Pièces         | 129168    | 60        | 7750080     |
| II.3         | Sables                   | m <sup>3</sup> | 76,9764   | 30000     | 2309292     |
| II.4         | Graviers                 | m <sup>3</sup> | 108,537   | 40000     | 4341480     |
| II.5         | Ciments                  | Sacs           | 120       | 34000     | 4080000     |
| II.6         | Armature ø8              | Pièce          | 165       | 16000     | 2640000     |
| II.7         | Armature ø6              | Pièce          | 165       | 11000     | 1815000     |
| II.8         | Coffrages                | m <sup>2</sup> | 60        | 4000      | 240000      |
| II.9         | Ferraillages             | Kg             | 659,348   | 4000      | 2637392     |
| II.10        | Décoffrages              | m <sup>2</sup> | 60        | 3000      | 180000      |
| II.8         | Fil à ligaturer          | Kg             | 16,4837   | 7000      | 115385,9    |
| II.9         | Planches                 | Pièce          | 465       | 8000      | 3720000     |
| II.10        | Clous                    | Kg             | 17        | 6000      | 102000      |
| II.11        | Accessoires              |                |           |           | 6000000     |
| Main d'œuvre |                          | Ff             |           |           | 15000000    |
| Sous total   |                          |                |           |           | 52172629,9  |
| TOTAL        |                          |                |           |           | 145994995,9 |

Pour réaliser le projet de réaménagement du réseau d'alimentation en eau potable dans cette zone, il faut avoir une enveloppe financière de cent quarante-cinq millions neuf cent quatre-vingt-quatorze mille neuf cent quatre-vingt-seize francs BU (145 994 996 FBU) hors TVA.

## **CHAP.VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

### **VII.1 Conclusion**

L'Objectif qui a été atteint dans cette Thèse de Mastère est d'avoir donné aux autorités de la ville de Bujumbura, un nouveau modèle de desserte en eau potable simple, fiable, applicable dans tous les quartiers viabilisés de Bujumbura et de l'intérieur du pays.

La simplicité du modèle repose dans sa facilité dans le calcul des débits qui circulent dans les tronçons, ainsi que les pressions dans les nœuds de distribution.

La fiabilité du modèle repose dans sa structure qui présente un schéma simple à interpréter, pour la localisation, la détection et la réparation des pannes éventuelles, sans déranger l'ensemble du bon fonctionnement du réseau.

L'applicabilité du modèle dans les anciens quartiers de la ville de Bujumbura repose dans le fait qu'on n'a pas besoin de remplacer les anciennes conduites de distribution dans les parcelles, mais qu'on changera uniquement les points de raccordement. On bouchera les anciens qui étaient anarchiques, et on ouvrira les nouveaux points de prise d'eau suivant le plan du nouveau modèle.

L'application du modèle sur le quartier NYAKABIGA a démontré que le projet ne sera pas du tout très coûteux, car le quantitatif des fournitures et celui des travaux restent dans la bonne marge des budgets alloués aux communes urbaines.

De plus, l'application du modèle a permis de récupérer, dans le seul quartier de Nyakabiga, **0,018 m<sup>3</sup>/s** qui était perdu dans les fuites de l'ancien système, et qui pourra être desservi aux abonnés des nouveaux quartiers estimés **985 ménages**.

### **VII.2 Recommandations**

- La première recommandation est adressée à la REGIDESO, pour qu'il vote un budget de réaménagement des réseaux de desserte en eau dans tous les anciens quartiers de la ville de Bujumbura, suivant le modèle indiqué dans cette Thèse. Cela donnera un réconfort considérable dans l'approvisionnement en eau des usagers de la ville de Bujumbura.
- La deuxième recommandation est adressée aux professeurs de l'Université du Burundi, pour qu'ils orientent les travaux de fin d'études sur les études orientées à la résolution des problèmes réels du pays, comme celui que je viens d'achever.
- La troisième recommandation est orientée au Gouvernement –parent du Burundi pour insérer dans le budget annuel de fonctionnement, la réhabilitation des réseaux de desserte en eau des anciens quartiers de Bujumbura.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1]. A.BEDJAOUI ; B.ACCHOUR; Dimensionnement des réseaux de distribution d'eau potable par la méthode du model rugueux de référence (MMR)
- [2]. AMI ROUCHE M ; Alimentation en eau potable des Localités M'NAIR I, M'AIN II, HEDDADA ; DHAMNET EL FHEL, AIN BELKACEM ET KOUDIET EL ASSA (W.SOUK AHRAS), 2017
- [3]. AMEUR Salah & OUAZZI Saliha ; Etude des réseaux de distribution d'eau potable et d'assainissement séparatif d'eau usées de la zone Basse du Chef-Lieu de la commune de Larbatache (W. Boumerdes), 2017
- [4] André DUPONT, Hydraulique urbaine (Tome II) ouvrage de transport, élévation et distribution des eaux, Eyrolles 1972
- [5] Armando LENCASTRE, Hydraulique Générale
- [6]. CHEMIDI Mostafa et KADDDOUR Yasser ; Etude diagnostique du réseau d'alimentation en eau potable de M'DIG ET SIDIAISSA, CHETOANE, 2016
- [7] Cours d'AEP
- [8] Dupont A. (1979), Hydraulique urbaine, Ouvrages de transport, élévation et distribution des eaux, Tome 2, Edition Eyrolles, Paris,
- [9] Livre 1. Guide méthodologie des projets d'AEP (version finale), En milieux rural, semi-urbain et urbain por les collectivités territoriales
- [10]METRAVIB, Cahier Technique Fondation de l'eau,1986
- [11]. Mr.Benariba Mourad; Alimentation de la ville de CHEBLI (W .BLIDA), 2013
- [12]. NIYONSAVYE Dieudonné ; Renforcement de l'alimentation en eau potable dans la commune KIRUNDO : « Cas de la zone Cewe », 2018
- [13] NTAKARUTIMANA Francine, Etude du projet de renforcement d'alimentation en eau potable de la ville de Gitega : « Cas du nouveau lotissement de ZEGE », 2016
- [14] Rapport d'étude intermédiaire Tome III, Alimentation en eau potable de la ville de Bujumbura (Plan Directeur), Ressource en eau
- [15] Rapport d'étude intermédiaire (Annexes Tome II), Alimentation en eau potable de la ville de Bujumbura (Plan Directeur), Besoin en eau
- [16] Rapport d'étude intermédiaire (Annexes Tome I), Alimentation en eau potable de la ville de Bujumbura (Plan Directeur), Installation existantes, 1979.
- [17] Saad BENNIS, Hydraulique et hydrologie , 2<sup>ème</sup> édition Revue et Augmenté
- [18] SMUH, Alimentation en eau potable, 1977
- [19] TARAR, A ; Projet d'adduction d'eau potable dans la ville d'AMZOER ; TCHAD, 2012

- [20] : [www.almohandiss.comm/chapitre](http://www.almohandiss.comm/chapitre) 6/réseau de distribution, consulté le 15/6/2020
- [21] (<https://www.dipra.org>, le 20 mai 2020 à 8h )
- [22] [www.Itdpipeline .com/fr](http://www.Itdpipeline.com/fr) ; le 04 Août 2020 à 17h
- [23] (<https://WWW.Sedif>imag>), 04 mai 2020 à 9h.
- [24] (<https://WWW.reseau-environnement.Com>>; le 15 juin 2020 à 21h)

## ANNEXE :

### Annexe 1 : La succession des itérations effectués : 1<sup>ère</sup> Itération pour la maille 1

| Tronçons | L (m) | Qi       | DI (m) | $\Lambda$ | Ri        | Ai       | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi       |
|----------|-------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------------|--------|--------------|----------|
| 1_2      | 330   | 0,006703 | 0,11   | 0,0367    | 62179,969 | 416,792  | 1            | 2,794  | 0,000041     | 0,007022 |
| 2_3      | 6     | 0,002154 | 0,09   | 0,0393    | 3300,143  | 7,107    | 1            | 0,015  | 0,000041     | 0,001961 |
| 3_4      | 40    | 0,001668 | 0,09   | 0,0393    | 22000,952 | 36,687   | 1            | 0,061  | 0,000041     | 0,001475 |
| 4_5      | 34    | 0,001103 | 0,09   | 0,0393    | 18700,809 | 20,618   | 1            | 0,023  | 0,000041     | 0,000910 |
| 5_6      | 35    | 0,000595 | 0,09   | 0,0393    | 19250,833 | 11,445   | 1            | 0,007  | 0,000041     | 0,000402 |
| 6_7      | 36    | 0,000314 | 0,09   | 0,0393    | 19800,857 | 6,208    | -1           | -0,002 | 0,000041     | 0,000506 |
| 7_8      | 37    | 0,00103  | 0,09   | 0,0393    | 35751,547 | 36,806   | -1           | -0,038 | 0,000041     | 0,001222 |
| 8_9      | 37    | 0,001794 | 0,09   | 0,0393    | 33001,428 | 59,188   | -1           | -0,106 | 0,000041     | 0,001986 |
| 9_10     | 264   | 0,005538 | 0,11   | 0,0367    | 49743,975 | 275,482  | -1           | -1,526 | 0,000041     | 0,005497 |
| 10_11    | 35    | 0,005746 | 0,11   | 0,0367    | 6594,845  | 37,894   | -1           | -0,218 | 0,000041     | 0,005705 |
| 11_12    | 37    | 0,005972 | 0,11   | 0,0367    | 6971,693  | 41,635   | -1           | -0,249 | 0,000041     | 0,005931 |
| 12_13    | 42    | 0,006198 | 0,11   | 0,0367    | 7913,814  | 49,050   | -1           | -0,304 | 0,000041     | 0,006157 |
| 13_14    | 39    | 0,006442 | 0,11   | 0,0367    | 7348,542  | 47,339   | -1           | -0,305 | 0,000041     | 0,006401 |
| 14_1     | 28,5  | 0,006703 | 0,11   | 0,0367    | 5370,088  | 35,996   | -1           | -0,241 | 0,000041     | 0,006662 |
|          |       |          |        |           |           | 1082,246 |              | -0,088 |              |          |

### 1<sup>ère</sup> Itération pour la maille 2

| Tronçon | L (m) | Qi       | DI (m) | $\lambda$ | Ri        | Ai       | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|---------|-------|----------|--------|-----------|-----------|----------|--------------|--------|--------------|---------|
| 1_15    | 6     | 0,006703 | 0,11   | 0,0367    | 1130,545  | 7,578    | 1            | 0,051  | -0,00028     | 0,00642 |
| 15_16   | 25    | 0,006443 | 0,11   | 0,0367    | 4710,604  | 30,350   | 1            | 0,196  | -0,00028     | 0,00616 |
| 16_17   | 28    | 0,006148 | 0,11   | 0,0367    | 5275,876  | 32,436   | 1            | 0,199  | -0,00028     | 0,00587 |
| 17_18   | 30    | 0,005836 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724  | 32,989   | 1            | 0,193  | -0,00028     | 0,00556 |
| 18_19   | 32    | 0,005506 | 0,11   | 0,0367    | 6029,573  | 33,199   | 1            | 0,183  | -0,00028     | 0,00523 |
| 19_20   | 502   | 0,005315 | 0,11   | 0,0367    | 94588,922 | 502,740  | 1            | 2,672  | -0,00028     | 0,00504 |
| 20_21   | 30    | 0,002488 | 0,09   | 0,0393    | 16500,714 | 41,054   | 1            | 0,102  | -0,00028     | 0,00204 |
| 21_22   | 32    | 0,001794 | 0,09   | 0,0393    | 17600,762 | 31,576   | 1            | 0,057  | -0,00028     | 0,00135 |
| 22_23   | 35    | 0,001603 | 0,09   | 0,0393    | 19250,833 | 30,859   | 1            | 0,049  | -0,00028     | 0,00116 |
| 23_24   | 30    | 0,001412 | 0,09   | 0,0393    | 16500,714 | 23,299   | 1            | 0,033  | -0,00028     | 0,00097 |
| 24_25   | 33    | 0,001186 | 0,09   | 0,0393    | 18150,786 | 21,527   | 1            | 0,026  | -0,00028     | 0,00074 |
| 25_26   | 30    | 0,000926 | 0,09   | 0,0393    | 16500,714 | 15,280   | 1            | 0,014  | -0,00028     | 0,00048 |
| 26_27   | 42    | 0,000457 | 0,09   | 0,0393    | 23101,000 | 10,557   | 1            | 0,005  | -0,00028     | 0,00001 |
| 27_28   | 43    | 0,000169 | 0,09   | 0,0393    | 23651,024 | 3,997    | -1           | -0,001 | -0,00028     | 0,00061 |
| 28_29   | 52    | 0,000689 | 0,09   | 0,0393    | 28601,238 | 19,706   | -1           | -0,014 | -0,00028     | 0,00113 |
| 29_30   | 45    | 0,00121  | 0,09   | 0,0393    | 24751,071 | 29,949   | -1           | -0,036 | -0,00028     | 0,00165 |
| 30_31   | 60    | 0,00161  | 0,09   | 0,0393    | 33001,428 | 53,132   | -1           | -0,086 | -0,00028     | 0,00205 |
| 31_2    | 41    | 0,001888 | 0,09   | 0,0393    | 22550,976 | 42,576   | -1           | -0,080 | -0,00028     | 0,00233 |
| 2_1     | 330   | 0,006703 | 0,11   | 0,0367    | 62179,969 | 416,792  | -1           | -2,794 | -0,00028     | 0,00702 |
|         |       |          |        |           |           | 1379,597 |              | 0,769  |              |         |

1<sup>ère</sup> Itération pour la maille 3

| Tronçons | L<br>(m) | Qi       | DI<br>(m) | $\Lambda$ | Ri        | Ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 20_32    | 350      | 0,002827 | 0,11      | 0,0367    | 65948,452 | 186,436 | 1            | 0,527  | 0,00017      | 0,00299 |
| 32_33    | 46       | 0,002584 | 0,11      | 0,0367    | 8667,511  | 22,397  | 1            | 0,058  | 0,00017      | 0,00275 |
| 33_34    | 41       | 0,00234  | 0,11      | 0,0367    | 7725,390  | 18,077  | 1            | 0,042  | 0,00017      | 0,00251 |
| 34_35    | 40       | 0,002114 | 0,11      | 0,0367    | 7536,966  | 15,933  | 1            | 0,034  | 0,00017      | 0,00228 |
| 35_36    | 45       | 0,001395 | 0,11      | 0,0367    | 8479,087  | 11,828  | 1            | 0,017  | 0,00017      | 0,00156 |
| 36_37    | 39       | 0,000684 | 0,11      | 0,0367    | 7348,542  | 5,026   | 1            | 0,003  | 0,00017      | 0,00085 |
| 37_38    | 45       | 0,000444 | 0,11      | 0,0367    | 8479,087  | 3,765   | 1            | 0,002  | 0,00017      | 0,00061 |
| 38_39    | 62       | 0,000168 | 0,11      | 0,0367    | 11682,297 | 1,963   | 1            | 0,000  | 0,00017      | 0,00033 |
| 39_40    | 24       | 0,000462 | 0,11      | 0,0367    | 4522,180  | 2,089   | -1           | -0,001 | 0,00017      | 0,00030 |
| 40_41    | 16       | 0,00107  | 0,11      | 0,0367    | 3014,786  | 3,226   | -1           | -0,003 | 0,00017      | 0,00090 |
| 41_42    | 30       | 0,001393 | 0,11      | 0,0367    | 5652,724  | 7,874   | -1           | -0,011 | 0,00017      | 0,00123 |
| 42_43    | 18       | 0,001794 | 0,11      | 0,0367    | 3391,635  | 6,085   | -1           | -0,011 | 0,00017      | 0,00163 |
| 43_44    | 32       | 0,00195  | 0,11      | 0,0367    | 6029,573  | 11,758  | -1           | -0,023 | 0,00017      | 0,00178 |
| 44_45    | 25       | 0,002253 | 0,11      | 0,0367    | 4710,604  | 10,613  | -1           | -0,024 | 0,00017      | 0,00209 |
| 45_46    | 16       | 0,00297  | 0,11      | 0,0367    | 3014,786  | 8,954   | -1           | -0,027 | 0,00017      | 0,00280 |
| 46_47    | 60       | 0,003414 | 0,11      | 0,0367    | 11305,449 | 38,597  | -1           | -0,132 | 0,00017      | 0,00325 |
| 47_2     | 380      | 0,002662 | 0,11      | 0,0367    | 71601,176 | 190,567 | -1           | -0,507 | 0,00017      | 0,00273 |
| 2_31     | 41       | 0,001888 | 0,09      | 0,0393    | 22550,976 | 42,576  | 1            | 0,080  | 0,00017      | 0,00233 |
| 31_30    | 35       | 0,00161  | 0,09      | 0,0393    | 19250,833 | 30,994  | 1            | 0,050  | 0,00017      | 0,00205 |
| 30_29    | 36       | 0,00121  | 0,09      | 0,0393    | 19800,857 | 23,959  | 1            | 0,029  | 0,00017      | 0,00165 |
| 29_28    | 40       | 0,000689 | 0,09      | 0,0393    | 22000,952 | 15,159  | 1            | 0,010  | 0,00017      | 0,00113 |
| 28_27    | 43       | 0,000169 | 0,09      | 0,0393    | 23651,024 | 3,997   | 1            | 0,001  | 0,00017      | 0,00061 |
| 27_26    | 63       | 0,000457 | 0,09      | 0,0393    | 34651,500 | 15,836  | -1           | -0,007 | 0,00017      | 0,00001 |
| 26_25    | 35       | 0,000926 | 0,09      | 0,0393    | 19250,833 | 17,826  | -1           | -0,017 | 0,00017      | 0,00048 |
| 25_24    | 35       | 0,001186 | 0,09      | 0,0393    | 19250,833 | 22,831  | -1           | -0,027 | 0,00017      | 0,00074 |
| 24_23    | 50       | 0,001412 | 0,09      | 0,0393    | 27501,190 | 38,832  | -1           | -0,055 | 0,00017      | 0,00097 |
| 23_22    | 50       | 0,001603 | 0,09      | 0,0393    | 27501,190 | 44,084  | -1           | -0,071 | 0,00017      | 0,00116 |
| 22_21    | 59       | 0,001794 | 0,09      | 0,0393    | 32451,404 | 58,218  | -1           | -0,104 | 0,00017      | 0,00135 |
| 21_20    | 40       | 0,002488 | 0,09      | 0,0393    | 22000,952 | 54,738  | -1           | -0,136 | 0,00017      | 0,00204 |
|          |          |          |           |           |           | 914,238 |              | -0,302 |              |         |

1<sup>ère</sup> Itération pour la maille 4

| Tronçons | L (m) | Qi       | DI (m) | $\Lambda$ | Ri            | Ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi          |
|----------|-------|----------|--------|-----------|---------------|---------|--------------|--------|--------------|-------------|
| 2_47     | 540   | 0,002662 | 0,11   | 0,0367    | 101749,0<br>4 | 270,805 | 1            | 0,721  | 0,0002<br>3  | 0,0027<br>3 |
| 47_48    | 30    | 0,000753 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724      | 4,254   | -1           | -0,003 | 0,0002<br>3  | 0,0005<br>2 |
| 48_49    | 25    | 0,001083 | 0,11   | 0,0367    | 4710,604      | 5,099   | -1           | -0,006 | 0,0002<br>3  | 0,0008<br>5 |
| 49_50    | 30    | 0,001373 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724      | 7,758   | -1           | -0,011 | 0,0002<br>3  | 0,0011<br>4 |
| 50_51    | 30    | 0,001738 | 0,11   | 0,0367    | 5652,724      | 9,822   | -1           | -0,017 | 0,0002<br>3  | 0,0015<br>0 |
| 51_52    | 28    | 0,002114 | 0,11   | 0,0367    | 5275,876      | 11,151  | -1           | -0,024 | 0,0002<br>3  | 0,0018<br>8 |
| 52_53    | 26    | 0,002596 | 0,11   | 0,0367    | 4899,028      | 12,715  | -1           | -0,033 | 0,0002<br>3  | 0,0023<br>6 |
| 53_54    | 20    | 0,003064 | 0,11   | 0,0367    | 3768,483      | 11,545  | -1           | -0,035 | 0,0002<br>3  | 0,0028<br>3 |
| 54_55    | 200   | 0,003441 | 0,11   | 0,0367    | 37684,83<br>0 | 129,655 | -1           | -0,446 | 0,0002<br>3  | 0,0032<br>1 |
| 55_9     | 210   | 0,003745 | 0,11   | 0,0367    | 39569,07<br>1 | 148,166 | -1           | -0,555 | 0,0002<br>3  | 0,0035<br>1 |
| 9_8      | 37    | 0,001794 | 0,09   | 0,0393    | 33001,42<br>8 | 59,188  | 1            | 0,106  | 0,0002<br>3  | 0,0019<br>9 |
| 8_7      | 37    | 0,001030 | 0,09   | 0,0393    | 35751,54<br>7 | 36,806  | 1            | 0,038  | 0,0002<br>3  | 0,0012<br>2 |
| 7_6      | 36    | 0,000314 | 0,09   | 0,0393    | 19800,85<br>7 | 6,208   | 1            | 0,002  | 0,0002<br>3  | 0,0005<br>1 |
| 6_5      | 35    | 0,000595 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83<br>3 | 11,445  | -1           | -0,007 | 0,0002<br>3  | 0,0004<br>0 |
| 5_4      | 34    | 0,001103 | 0,09   | 0,0393    | 18700,80<br>9 | 20,618  | -1           | -0,023 | 0,0002<br>3  | 0,0009<br>1 |
| 4_3      | 40    | 0,001668 | 0,09   | 0,0393    | 22000,95<br>2 | 36,687  | -1           | -0,061 | 0,0002<br>3  | 0,0014<br>7 |
| 3_2      | 6     | 0,002154 | 0,09   | 0,0393    | 3300,143      | 7,107   | -1           | -0,015 | 0,0002<br>3  | 0,0019<br>6 |
|          |       |          |        |           |               | 789,027 |              | -0,369 |              |             |

Deuxième itération pour la maille 1

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | ai       | Ei | bi     | $\Delta Qi$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|----------|----|--------|-------------|---------|
| 1_2      | 330   | 0,00702 | 0,11   | 0,0367    | 62179,97 | 436,655  | 1  | 3,066  | -0,000070   | 0,00690 |
| 2_3      | 6     | 0,00196 | 0,09   | 0,0393    | 3300,14  | 6,471    | 1  | 0,013  | -0,000070   | 0,00182 |
| 3_4      | 40    | 0,00147 | 0,09   | 0,0393    | 22000,95 | 32,448   | 1  | 0,048  | -0,000070   | 0,00133 |
| 4_5      | 34    | 0,00091 | 0,09   | 0,0393    | 18700,81 | 17,015   | 1  | 0,015  | -0,000070   | 0,00077 |
| 5_6      | 35    | 0,00040 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83 | 7,736    | 1  | 0,003  | -0,000070   | 0,00026 |
| 6_7      | 36    | 0,00051 | 0,09   | 0,0393    | 19800,86 | 10,022   | -1 | -0,005 | -0,000070   | 0,00065 |
| 7_8      | 37    | 0,00122 | 0,09   | 0,0393    | 35751,55 | 43,694   | -1 | -0,053 | -0,000070   | 0,00136 |
| 8_9      | 37    | 0,00199 | 0,09   | 0,0393    | 33001,43 | 65,546   | -1 | -0,130 | -0,000070   | 0,00213 |
| 9_10     | 264   | 0,00550 | 0,11   | 0,0367    | 49743,98 | 273,449  | -1 | -1,503 | -0,000070   | 0,00557 |
| 10_11    | 35    | 0,00571 | 0,11   | 0,0367    | 6594,85  | 37,624   | -1 | -0,215 | -0,000070   | 0,00578 |
| 11_12    | 37    | 0,00593 | 0,11   | 0,0367    | 6971,69  | 41,350   | -1 | -0,245 | -0,000070   | 0,00600 |
| 12_13    | 42    | 0,00616 | 0,11   | 0,0367    | 7913,81  | 48,726   | -1 | -0,300 | -0,000070   | 0,00623 |
| 13_14    | 39    | 0,00640 | 0,11   | 0,0367    | 7348,54  | 47,039   | -1 | -0,301 | -0,000070   | 0,00647 |
| 14_1     | 28,5  | 0,00666 | 0,11   | 0,0367    | 5370,09  | 35,776   | -1 | -0,238 | -0,000070   | 0,00673 |
|          |       |         |        |           |          | 1103,552 |    | 0,154  |             |         |

Deuxième itération pour la maille 2

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | Ai       | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Qi$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|----------|--------------|--------|-------------|---------|
| 1_15     | 6     | 0,00642 | 0,11   | 0,0367    | 1130,54  | 7,263    | 1            | 0,047  | 0,000051    | 0,00648 |
| 15_16    | 25    | 0,00616 | 0,11   | 0,0367    | 4710,60  | 29,038   | 1            | 0,179  | 0,000051    | 0,00622 |
| 16_17    | 28    | 0,00587 | 0,11   | 0,0367    | 5275,88  | 30,966   | 1            | 0,182  | 0,000051    | 0,00592 |
| 17_18    | 30    | 0,00556 | 0,11   | 0,0367    | 5652,72  | 31,415   | 1            | 0,175  | 0,000051    | 0,00561 |
| 18_19    | 32    | 0,00523 | 0,11   | 0,0367    | 6029,57  | 31,519   | 1            | 0,165  | 0,000051    | 0,00528 |
| 19_20    | 502   | 0,00504 | 0,11   | 0,0367    | 94588,92 | 476,391  | 1            | 2,399  | 0,000051    | 0,00509 |
| 20_21    | 30    | 0,00204 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 33,728   | 1            | 0,069  | 0,000051    | 0,00215 |
| 21_22    | 32    | 0,00135 | 0,09   | 0,0393    | 17600,76 | 23,762   | 1            | 0,032  | 0,000051    | 0,00146 |
| 22_23    | 35    | 0,00116 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83 | 22,313   | 1            | 0,026  | 0,000051    | 0,00127 |
| 23_24    | 30    | 0,00097 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 15,973   | 1            | 0,015  | 0,000051    | 0,00108 |
| 24_25    | 33    | 0,00074 | 0,09   | 0,0393    | 18150,79 | 13,469   | 1            | 0,010  | 0,000051    | 0,00085 |
| 25_26    | 30    | 0,00048 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 7,954    | 1            | 0,004  | 0,000051    | 0,00059 |
| 26_27    | 42    | 0,00001 | 0,09   | 0,0393    | 23101,00 | 0,301    | 1            | 0,000  | 0,000051    | 0,00012 |
| 27_28    | 43    | 0,00061 | 0,09   | 0,0393    | 23651,02 | 14,497   | -1           | -0,009 | 0,000051    | 0,00050 |
| 28_29    | 52    | 0,00113 | 0,09   | 0,0393    | 28601,24 | 32,404   | -1           | -0,037 | 0,000051    | 0,00102 |
| 29_30    | 45    | 0,00165 | 0,09   | 0,0393    | 24751,07 | 40,937   | -1           | -0,068 | 0,000051    | 0,00155 |
| 30_31    | 60    | 0,00205 | 0,09   | 0,0393    | 33001,43 | 67,783   | -1           | -0,139 | 0,000051    | 0,00195 |
| 31_2     | 41    | 0,00233 | 0,09   | 0,0393    | 22550,98 | 52,588   | -1           | -0,123 | 0,000051    | 0,00222 |
| 2_1      | 330   | 0,00702 | 0,11   | 0,0367    | 62179,97 | 436,655  | -1           | -3,066 | 0,000051    | 0,00690 |
|          |       |         |        |           |          | 1368,957 |              | -0,139 |             |         |

Deuxième itération pour la maille 3

| Tronçons | L(m) | Qi      | DI(m) | $\lambda$ | Ri       | ai      |    | bi     | $\Delta Qi$ | Qi      |
|----------|------|---------|-------|-----------|----------|---------|----|--------|-------------|---------|
| 20_32    | 350  | 0,00299 | 0,11  | 0,0367    | 65948,45 | 197,343 | 1  | 0,591  | -0,000058   | 0,00293 |
| 32_33    | 46   | 0,00275 | 0,11  | 0,0367    | 8667,51  | 23,830  | 1  | 0,066  | -0,000058   | 0,00269 |
| 33_34    | 41   | 0,00251 | 0,11  | 0,0367    | 7725,39  | 19,355  | 1  | 0,048  | -0,000058   | 0,00245 |
| 34_35    | 40   | 0,00228 | 0,11  | 0,0367    | 7536,97  | 17,180  | 1  | 0,039  | -0,000058   | 0,00222 |
| 35_36    | 45   | 0,00156 | 0,11  | 0,0367    | 8479,09  | 13,231  | 1  | 0,021  | -0,000058   | 0,00150 |
| 36_37    | 39   | 0,00085 | 0,11  | 0,0367    | 7348,54  | 6,242   | 1  | 0,005  | -0,000058   | 0,00079 |
| 37_38    | 45   | 0,00061 | 0,11  | 0,0367    | 8479,09  | 5,167   | 1  | 0,003  | -0,000058   | 0,00055 |
| 38_39    | 62   | 0,00033 | 0,11  | 0,0367    | 11682,30 | 3,895   | 1  | 0,001  | -0,000058   | 0,00028 |
| 39_40    | 24   | 0,00030 | 0,11  | 0,0367    | 4522,18  | 1,341   | -1 | 0,000  | -0,000058   | 0,00035 |
| 40_41    | 16   | 0,00090 | 0,11  | 0,0367    | 3014,79  | 2,727   | -1 | -0,002 | -0,000058   | 0,00096 |
| 41_42    | 30   | 0,00123 | 0,11  | 0,0367    | 5652,72  | 6,939   | -1 | -0,009 | -0,000058   | 0,00129 |
| 42_43    | 18   | 0,00163 | 0,11  | 0,0367    | 3391,63  | 5,524   | -1 | -0,009 | -0,000058   | 0,00169 |
| 43_44    | 32   | 0,00178 | 0,11  | 0,0367    | 6029,57  | 10,760  | -1 | -0,019 | -0,000058   | 0,00184 |
| 44_45    | 25   | 0,00209 | 0,11  | 0,0367    | 4710,60  | 9,834   | -1 | -0,021 | -0,000058   | 0,00215 |
| 45_46    | 16   | 0,00280 | 0,11  | 0,0367    | 3014,79  | 8,455   | -1 | -0,024 | -0,000058   | 0,00286 |
| 46_47    | 60   | 0,00325 | 0,11  | 0,0367    | 11305,45 | 36,727  | -1 | -0,119 | -0,000058   | 0,00331 |
| 47_2     | 380  | 0,00273 | 0,11  | 0,0367    | 71601,18 | 195,446 | -1 | -0,534 | -0,000058   | 0,00286 |
| 2_31     | 41   | 0,00233 | 0,09  | 0,0393    | 22550,98 | 52,588  | 1  | 0,123  | -0,000058   | 0,00222 |
| 31_30    | 35   | 0,00205 | 0,09  | 0,0393    | 19250,83 | 39,540  | 1  | 0,081  | -0,000058   | 0,00195 |
| 30_29    | 36   | 0,00165 | 0,09  | 0,0393    | 19800,86 | 32,750  | 1  | 0,054  | -0,000058   | 0,00155 |
| 29_28    | 40   | 0,00113 | 0,09  | 0,0393    | 22000,95 | 24,926  | 1  | 0,028  | -0,000058   | 0,00102 |
| 28_27    | 43   | 0,00061 | 0,09  | 0,0393    | 23651,02 | 14,497  | 1  | 0,009  | -0,000058   | 0,00050 |
| 27_26    | 63   | 0,00001 | 0,09  | 0,0393    | 34651,50 | 0,452   | -1 | 0,000  | -0,000058   | 0,00012 |
| 26_25    | 35   | 0,00048 | 0,09  | 0,0393    | 19250,83 | 9,280   | -1 | -0,004 | -0,000058   | 0,00059 |
| 25_24    | 35   | 0,00074 | 0,09  | 0,0393    | 19250,83 | 14,285  | -1 | -0,011 | -0,000058   | 0,00085 |
| 24_23    | 50   | 0,00097 | 0,09  | 0,0393    | 27501,19 | 26,622  | -1 | -0,026 | -0,000058   | 0,00108 |
| 23_22    | 50   | 0,00116 | 0,09  | 0,0393    | 27501,19 | 31,875  | -1 | -0,037 | -0,000058   | 0,00127 |
| 22_21    | 59   | 0,00135 | 0,09  | 0,0393    | 32451,40 | 43,811  | -1 | -0,059 | -0,000058   | 0,00146 |
| 21_20    | 40   | 0,00204 | 0,09  | 0,0393    | 22000,95 | 44,971  | -1 | -0,092 | -0,000058   | 0,00215 |
|          |      |         |       |           |          | 899,594 |    | 0,104  |             |         |

Deuxième itération pour la maille 4

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri        | Ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Qi$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|-----------|---------|--------------|--------|-------------|---------|
| 2_47     | 540   | 0,00273 | 0,11   | 0,0367    | 101749,04 | 277,739 | 1            | 0,758  | 0,000070    | 0,00286 |
| 47_48    | 30    | 0,00052 | 0,11   | 0,0367    | 5652,72   | 2,934   | -1           | -0,002 | 0,000070    | 0,00045 |
| 48_49    | 25    | 0,00085 | 0,11   | 0,0367    | 4710,60   | 3,999   | -1           | -0,003 | 0,000070    | 0,00078 |
| 49_50    | 30    | 0,00114 | 0,11   | 0,0367    | 5652,72   | 6,438   | -1           | -0,007 | 0,000070    | 0,00107 |
| 50_51    | 30    | 0,00150 | 0,11   | 0,0367    | 5652,72   | 8,501   | -1           | -0,013 | 0,000070    | 0,00143 |
| 51_52    | 28    | 0,00188 | 0,11   | 0,0367    | 5275,88   | 9,918   | -1           | -0,019 | 0,000070    | 0,00181 |
| 52_53    | 26    | 0,00236 | 0,11   | 0,0367    | 4899,03   | 11,571  | -1           | -0,027 | 0,000070    | 0,00229 |
| 53_54    | 20    | 0,00283 | 0,11   | 0,0367    | 3768,48   | 10,665  | -1           | -0,030 | 0,000070    | 0,00276 |
| 54_55    | 200   | 0,00321 | 0,11   | 0,0367    | 37684,83  | 120,854 | -1           | -0,388 | 0,000070    | 0,00314 |
| 55_9     | 210   | 0,00351 | 0,11   | 0,0367    | 39569,07  | 138,926 | -1           | -0,488 | 0,000070    | 0,00344 |
| 9_8      | 37    | 0,00199 | 0,09   | 0,0393    | 33001,43  | 65,546  | 1            | 0,130  | 0,000070    | 0,00213 |
| 8_7      | 37    | 0,00122 | 0,09   | 0,0393    | 35751,55  | 43,694  | 1            | 0,053  | 0,000070    | 0,00136 |
| 7_6      | 36    | 0,00051 | 0,09   | 0,0393    | 19800,86  | 10,022  | 1            | 0,005  | 0,000070    | 0,00065 |
| 6_5      | 35    | 0,00040 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83  | 7,736   | -1           | -0,003 | 0,000070    | 0,00026 |
| 5_4      | 34    | 0,00091 | 0,09   | 0,0393    | 18700,81  | 17,015  | -1           | -0,015 | 0,000070    | 0,00077 |
| 4_3      | 40    | 0,00147 | 0,09   | 0,0393    | 22000,95  | 32,448  | -1           | -0,048 | 0,000070    | 0,00133 |
| 3_2      | 6     | 0,00196 | 0,09   | 0,0393    | 3300,14   | 6,471   | -1           | -0,013 | 0,000070    | 0,00182 |
|          |       |         |        |           |           | 774,478 |              | -0,109 |             |         |

Troisième itération pour la maille 1

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Qi$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|-------------|---------|
| 1_2      | 330   | 0,00690 | 0,11   | 0,0367    | 62179,97 | 429,145 | 1            | 2,962  | 0,00003     | 0,00697 |
| 2_3      | 6     | 0,00182 | 0,09   | 0,0393    | 3300,14  | 6,008   | 1            | 0,011  | 0,00003     | 0,00189 |
| 3_4      | 40    | 0,00133 | 0,09   | 0,0393    | 22000,95 | 29,363  | 1            | 0,039  | 0,00003     | 0,00140 |
| 4_5      | 34    | 0,00077 | 0,09   | 0,0393    | 18700,81 | 14,393  | 1            | 0,011  | 0,00003     | 0,00084 |
| 5_6      | 35    | 0,00026 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83 | 5,037   | 1            | 0,001  | 0,00003     | 0,00033 |
| 6_7      | 36    | 0,00065 | 0,09   | 0,0393    | 19800,86 | 12,799  | -1           | -0,008 | 0,00003     | 0,00058 |
| 7_8      | 37    | 0,00136 | 0,09   | 0,0393    | 35751,55 | 48,707  | -1           | -0,066 | 0,00003     | 0,00129 |
| 8_9      | 37    | 0,00213 | 0,09   | 0,0393    | 33001,43 | 70,173  | -1           | -0,149 | 0,00003     | 0,00206 |
| 9_10     | 264   | 0,00557 | 0,11   | 0,0367    | 49743,98 | 276,927 | -1           | -1,542 | 0,00003     | 0,00554 |
| 10_11    | 35    | 0,00578 | 0,11   | 0,0367    | 6594,85  | 38,086  | -1           | -0,220 | 0,00003     | 0,00574 |
| 11_12    | 37    | 0,00600 | 0,11   | 0,0367    | 6971,69  | 41,837  | -1           | -0,251 | 0,00003     | 0,00597 |
| 12_13    | 42    | 0,00623 | 0,11   | 0,0367    | 7913,81  | 49,280  | -1           | -0,307 | 0,00003     | 0,00620 |
| 13_14    | 39    | 0,00647 | 0,11   | 0,0367    | 7348,54  | 47,553  | -1           | -0,308 | 0,00003     | 0,00644 |
| 14_1     | 28,5  | 0,00673 | 0,11   | 0,0367    | 5370,09  | 36,152  | -1           | -0,243 | 0,00003     | 0,00670 |
|          |       |         |        |           |          | 1105,46 |              | -0,070 |             |         |

## Troisième itération pour la maille 2

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | Ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 1_15     | 6     | 0,00648 | 0,11   | 0,0367    | 1130,54  | 7,321   | 1            | 0,047  | -0,00004     | 0,00644 |
| 15_16    | 25    | 0,00622 | 0,11   | 0,0367    | 4710,60  | 29,278  | 1            | 0,182  | -0,00004     | 0,00618 |
| 16_17    | 28    | 0,00592 | 0,11   | 0,0367    | 5275,88  | 31,235  | 1            | 0,185  | -0,00004     | 0,00588 |
| 17_18    | 30    | 0,00561 | 0,11   | 0,0367    | 5652,72  | 31,702  | 1            | 0,178  | -0,00004     | 0,00557 |
| 18_19    | 32    | 0,00528 | 0,11   | 0,0367    | 6029,57  | 31,826  | 1            | 0,168  | -0,00004     | 0,00524 |
| 19_20    | 502   | 0,00509 | 0,11   | 0,0367    | 94588,92 | 481,203 | 1            | 2,448  | -0,00004     | 0,00505 |
| 20_21    | 30    | 0,00215 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 35,519  | 1            | 0,076  | -0,00004     | 0,00208 |
| 21_22    | 32    | 0,00146 | 0,09   | 0,0393    | 17600,76 | 25,672  | 1            | 0,037  | -0,00004     | 0,00139 |
| 22_23    | 35    | 0,00127 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83 | 24,402  | 1            | 0,031  | -0,00004     | 0,00120 |
| 23_24    | 30    | 0,00108 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 17,764  | 1            | 0,019  | -0,00004     | 0,00101 |
| 24_25    | 33    | 0,00085 | 0,09   | 0,0393    | 18150,79 | 15,439  | 1            | 0,013  | -0,00004     | 0,00078 |
| 25_26    | 30    | 0,00059 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 9,745   | 1            | 0,006  | -0,00004     | 0,00052 |
| 26_27    | 42    | 0,00012 | 0,09   | 0,0393    | 23101,00 | 2,808   | 1            | 0,000  | -0,00004     | 0,00005 |
| 27_28    | 43    | 0,00050 | 0,09   | 0,0393    | 23651,02 | 11,930  | -1           | -0,006 | -0,00004     | 0,00058 |
| 28_29    | 52    | 0,00102 | 0,09   | 0,0393    | 28601,24 | 29,300  | -1           | -0,030 | -0,00004     | 0,00110 |
| 29_30    | 45    | 0,00155 | 0,09   | 0,0393    | 24751,07 | 38,251  | -1           | -0,059 | -0,00004     | 0,00162 |
| 30_31    | 60    | 0,00195 | 0,09   | 0,0393    | 33001,43 | 64,202  | -1           | -0,125 | -0,00004     | 0,00202 |
| 31_2     | 41    | 0,00222 | 0,09   | 0,0393    | 22550,98 | 50,140  | -1           | -0,111 | -0,00004     | 0,00229 |
| 2_1      | 330   | 0,00690 | 0,11   | 0,0367    | 62179,97 | 429,145 | -1           | -2,962 | -0,00004     | 0,00697 |
|          |       |         |        |           |          | 1366,88 |              | 0,098  |              |         |

## Troisième itération pour la maille 3

| Tronçons | L (m) | Qi       | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|----------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 1_15     | 6     | 0,006475 | 0,11   | 0,0367    | 1130,54  | 7,321   | 1            | 0,047  | -0,00004     | 0,00644 |
| 15_16    | 25    | 0,006215 | 0,11   | 0,0367    | 4710,60  | 29,278  | 1            | 0,182  | -0,00004     | 0,00618 |
| 16_17    | 28    | 0,005920 | 0,11   | 0,0367    | 5275,88  | 31,235  | 1            | 0,185  | -0,00004     | 0,00588 |
| 17_18    | 30    | 0,005608 | 0,11   | 0,0367    | 5652,72  | 31,702  | 1            | 0,178  | -0,00004     | 0,00557 |
| 18_19    | 32    | 0,005278 | 0,11   | 0,0367    | 6029,57  | 31,826  | 1            | 0,168  | -0,00004     | 0,00524 |
| 19_20    | 502   | 0,005087 | 0,11   | 0,0367    | 94588,92 | 481,203 | 1            | 2,448  | -0,00004     | 0,00505 |
| 20_21    | 30    | 0,002153 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 35,519  | 1            | 0,076  | -0,00004     | 0,00208 |
| 21_22    | 32    | 0,001459 | 0,09   | 0,0393    | 17600,76 | 25,672  | 1            | 0,037  | -0,00004     | 0,00139 |
| 22_23    | 35    | 0,001268 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83 | 24,402  | 1            | 0,031  | -0,00004     | 0,00120 |
| 23_24    | 30    | 0,001077 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 17,764  | 1            | 0,019  | -0,00004     | 0,00101 |
| 24_25    | 33    | 0,000851 | 0,09   | 0,0393    | 18150,79 | 15,439  | 1            | 0,013  | -0,00004     | 0,00078 |
| 25_26    | 30    | 0,000591 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 9,745   | 1            | 0,006  | -0,00004     | 0,00052 |
| 26_27    | 42    | 0,000122 | 0,09   | 0,0393    | 23101,00 | 2,808   | 1            | 0,000  | -0,00004     | 0,00005 |
| 27_28    | 43    | 0,000504 | 0,09   | 0,0393    | 23651,02 | 11,930  | -1           | -0,006 | -0,00004     | 0,00058 |
| 28_29    | 52    | 0,001024 | 0,09   | 0,0393    | 28601,24 | 29,300  | -1           | -0,030 | -0,00004     | 0,00110 |
| 29_30    | 45    | 0,001545 | 0,09   | 0,0393    | 24751,07 | 38,251  | -1           | -0,059 | -0,00004     | 0,00162 |
| 30_31    | 60    | 0,001945 | 0,09   | 0,0393    | 33001,43 | 64,202  | -1           | -0,125 | -0,00004     | 0,00202 |
| 31_2     | 41    | 0,002223 | 0,09   | 0,0393    | 22550,98 | 50,140  | -1           | -0,111 | -0,00004     | 0,00229 |
| 2_1      | 330   | 0,006902 | 0,11   | 0,0367    | 62179,97 | 429,145 | -1           | -2,962 | -0,00004     | 0,00697 |
|          |       |          |        |           |          | 1366,88 |              | 0,098  |              |         |

## Troisième itération pour la maille 4

| Tronçons | L(m) | Qi      | DI(m) | $\lambda$ | Ri       | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|------|---------|-------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 2_47     | 540  | 0,00286 | 0,11  | 0,0367    | 101749,0 | 290,757 | 1            | 0,831  | -0,00004     | 0,00279 |
| 47_48    | 30   | 0,00045 | 0,11  | 0,0367    | 5652,72  | 2,536   | -1           | -0,001 | -0,00004     | 0,00049 |
| 48_49    | 25   | 0,00078 | 0,11  | 0,0367    | 4710,60  | 3,668   | -1           | -0,003 | -0,00004     | 0,00082 |
| 49_50    | 30   | 0,00107 | 0,11  | 0,0367    | 5652,72  | 6,041   | -1           | -0,006 | -0,00004     | 0,00111 |
| 50_51    | 30   | 0,00143 | 0,11  | 0,0367    | 5652,72  | 8,104   | -1           | -0,012 | -0,00004     | 0,00147 |
| 51_52    | 28   | 0,00181 | 0,11  | 0,0367    | 5275,88  | 9,548   | -1           | -0,017 | -0,00004     | 0,00185 |
| 52_53    | 26   | 0,00229 | 0,11  | 0,0367    | 4899,03  | 11,227  | -1           | -0,026 | -0,00004     | 0,00233 |
| 53_54    | 20   | 0,00276 | 0,11  | 0,0367    | 3768,48  | 10,400  | -1           | -0,029 | -0,00004     | 0,00280 |
| 54_55    | 200  | 0,00314 | 0,11  | 0,0367    | 37684,83 | 118,205 | -1           | -0,371 | -0,00004     | 0,00317 |
| 55_9     | 210  | 0,00344 | 0,11  | 0,0367    | 39569,07 | 136,144 | -1           | -0,468 | -0,00004     | 0,00348 |
| 9_8      | 37   | 0,00213 | 0,09  | 0,0393    | 33001,43 | 70,173  | 1            | 0,149  | -0,00004     | 0,00206 |
| 8_7      | 37   | 0,00136 | 0,09  | 0,0393    | 35751,55 | 48,707  | 1            | 0,066  | -0,00004     | 0,00129 |
| 7_6      | 36   | 0,00065 | 0,09  | 0,0393    | 19800,86 | 12,799  | 1            | 0,008  | -0,00004     | 0,00058 |
| 6_5      | 35   | 0,00026 | 0,09  | 0,0393    | 19250,83 | 5,037   | -1           | -0,001 | -0,00004     | 0,00033 |
| 5_4      | 34   | 0,00077 | 0,09  | 0,0393    | 18700,81 | 14,393  | -1           | -0,011 | -0,00004     | 0,00084 |
| 4_3      | 40   | 0,00133 | 0,09  | 0,0393    | 22000,95 | 29,363  | -1           | -0,039 | -0,00004     | 0,00140 |
| 3_2      | 6    | 0,00182 | 0,09  | 0,0393    | 3300,14  | 6,008   | -1           | -0,011 | -0,00004     | 0,00189 |
|          |      |         |       |           |          | 783,11  |              | 0,059  |              |         |

Quatrième itération pour la maille 1

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI(m) | $\lambda$ | Ri       | Ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | $Q_i + \epsilon_i \Delta Q_i$ |
|----------|-------|---------|-------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|-------------------------------|
| 1_2      | 330   | 0,00697 | 0,11  | 0,0367    | 62179,97 | 433,35  | 1            | 3,0201 | -0,00002     | 0,00693                       |
| 2_3      | 6     | 0,00189 | 0,09  | 0,0393    | 3300,14  | 6,24    | 1            | 0,0118 | -0,00002     | 0,00185                       |
| 3_4      | 40    | 0,00140 | 0,09  | 0,0393    | 22000,95 | 30,89   | 1            | 0,0434 | -0,00002     | 0,00136                       |
| 4_5      | 34    | 0,00084 | 0,09  | 0,0393    | 18700,81 | 15,69   | 1            | 0,0132 | -0,00002     | 0,00080                       |
| 5_6      | 35    | 0,00033 | 0,09  | 0,0393    | 19250,83 | 6,38    | 1            | 0,0021 | -0,00002     | 0,00029                       |
| 6_7      | 36    | 0,00058 | 0,09  | 0,0393    | 19800,86 | 11,42   | -1           | -0,007 | -0,00002     | 0,00062                       |
| 7_8      | 37    | 0,00129 | 0,09  | 0,0393    | 35751,55 | 46,22   | -1           | -0,06  | -0,00002     | 0,00133                       |
| 8_9      | 37    | 0,00206 | 0,09  | 0,0393    | 33001,43 | 67,88   | -1           | -0,14  | -0,00002     | 0,00210                       |
| 9_10     | 264   | 0,00554 | 0,11  | 0,0367    | 49743,98 | 275,35  | -1           | -1,524 | -0,00002     | 0,00556                       |
| 10_11    | 35    | 0,00574 | 0,11  | 0,0367    | 6594,85  | 37,88   | -1           | -0,218 | -0,00002     | 0,00576                       |
| 11_12    | 37    | 0,00597 | 0,11  | 0,0367    | 6971,69  | 41,62   | -1           | -0,248 | -0,00002     | 0,00599                       |
| 12_13    | 42    | 0,00620 | 0,11  | 0,0367    | 7913,81  | 49,03   | -1           | -0,304 | -0,00002     | 0,00622                       |
| 13_14    | 39    | 0,00644 | 0,11  | 0,0367    | 7348,54  | 47,32   | -1           | -0,305 | -0,00002     | 0,00646                       |
| 14_1     | 28,5  | 0,00670 | 0,11  | 0,0367    | 5370,09  | 35,98   | -1           | -0,241 | -0,00002     | 0,00672                       |
|          |       |         |       |           |          | 1105,24 |              | 0,0449 |              |                               |

Quatrième itération pour la maille 2

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | Ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 1_15     | 6     | 0,00644 | 0,11   | 0,0367    | 1130,54  | 7,28    | 1            | 0,0469 | 0,000018     | 0,00646 |
| 15_16    | 25    | 0,00618 | 0,11   | 0,0367    | 4710,60  | 29,11   | 1            | 0,1799 | 0,000018     | 0,00620 |
| 16_17    | 28    | 0,00588 | 0,11   | 0,0367    | 5275,88  | 31,05   | 1            | 0,1827 | 0,000018     | 0,00590 |
| 17_18    | 30    | 0,00557 | 0,11   | 0,0367    | 5652,72  | 31,50   | 1            | 0,1755 | 0,000018     | 0,00559 |
| 18_19    | 32    | 0,00524 | 0,11   | 0,0367    | 6029,57  | 31,61   | 1            | 0,1657 | 0,000018     | 0,00526 |
| 19_20    | 502   | 0,00505 | 0,11   | 0,0367    | 94588,92 | 477,81  | 1            | 2,4137 | 0,000018     | 0,00507 |
| 20_21    | 30    | 0,00208 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 34,35   | 1            | 0,0715 | 0,000018     | 0,00212 |
| 21_22    | 32    | 0,00139 | 0,09   | 0,0393    | 17600,76 | 24,43   | 1            | 0,0339 | 0,000018     | 0,00143 |
| 22_23    | 35    | 0,00120 | 0,09   | 0,0393    | 19250,83 | 23,04   | 1            | 0,0276 | 0,000018     | 0,00124 |
| 23_24    | 30    | 0,00101 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 16,60   | 1            | 0,0167 | 0,000018     | 0,00105 |
| 24_25    | 33    | 0,00078 | 0,09   | 0,0393    | 18150,79 | 14,16   | 1            | 0,011  | 0,000018     | 0,00082 |
| 25_26    | 30    | 0,00052 | 0,09   | 0,0393    | 16500,71 | 8,58    | 1            | 0,0045 | 0,000018     | 0,00056 |
| 26_27    | 42    | 0,00005 | 0,09   | 0,0393    | 23101,00 | 1,18    | 1            | 6E-05  | 0,000018     | 0,00009 |
| 27_28    | 43    | 0,00058 | 0,09   | 0,0393    | 23651,02 | 13,60   | -1           | -0,008 | 0,000018     | 0,00053 |
| 28_29    | 52    | 0,00110 | 0,09   | 0,0393    | 28601,24 | 31,32   | -1           | -0,034 | 0,000018     | 0,00105 |
| 29_30    | 45    | 0,00162 | 0,09   | 0,0393    | 24751,07 | 40,00   | -1           | -0,065 | 0,000018     | 0,00158 |
| 30_31    | 60    | 0,00202 | 0,09   | 0,0393    | 33001,43 | 66,53   | -1           | -0,134 | 0,000018     | 0,00198 |
| 31_2     | 41    | 0,00229 | 0,09   | 0,0393    | 22550,98 | 51,73   | -1           | -0,119 | 0,000018     | 0,00225 |
| 2_1      | 330   | 0,00697 | 0,11   | 0,0367    | 62179,97 | 433,35  | -1           | -3,02  | 0,000018     | 0,00693 |
|          |       |         |        |           |          | 1367,23 |              | -0,05  |              |         |

Quatrième itération pour la maille 3

| Tronçons | L<br>(m) | Qi      | DI<br>(m) | $\Lambda$ | Ri       | ai     | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|----------|---------|-----------|-----------|----------|--------|--------------|--------|--------------|---------|
| 20_32    | 350      | 0,00297 | 0,11      | 0,0367    | 65948,45 | 195,83 | 1            | 0,5815 | -0,00002     | 0,00295 |
| 32_33    | 46       | 0,00273 | 0,11      | 0,0367    | 8667,51  | 23,63  | 1            | 0,0644 | -0,00002     | 0,00270 |
| 33_34    | 41       | 0,00248 | 0,11      | 0,0367    | 7725,39  | 19,18  | 1            | 0,0476 | -0,00002     | 0,00246 |
| 34_35    | 40       | 0,00226 | 0,11      | 0,0367    | 7536,97  | 17,01  | 1            | 0,0384 | -0,00002     | 0,00223 |
| 35_36    | 45       | 0,00154 | 0,11      | 0,0367    | 8479,09  | 13,04  | 1            | 0,02   | -0,00002     | 0,00152 |
| 36_37    | 39       | 0,00083 | 0,11      | 0,0367    | 7348,54  | 6,07   | 1            | 0,005  | -0,00002     | 0,00080 |
| 37_38    | 45       | 0,00059 | 0,11      | 0,0367    | 8479,09  | 4,97   | 1            | 0,0029 | -0,00002     | 0,00056 |
| 38_39    | 62       | 0,00031 | 0,11      | 0,0367    | 11682,30 | 3,63   | 1            | 0,0011 | -0,00002     | 0,00029 |
| 39_40    | 24       | 0,00032 | 0,11      | 0,0367    | 4522,18  | 1,44   | -1           | -5E-04 | -0,00002     | 0,00034 |
| 40_41    | 16       | 0,00093 | 0,11      | 0,0367    | 3014,79  | 2,80   | -1           | -0,003 | -0,00002     | 0,00095 |
| 41_42    | 30       | 0,00125 | 0,11      | 0,0367    | 5652,72  | 7,07   | -1           | -0,009 | -0,00002     | 0,00127 |
| 42_43    | 18       | 0,00165 | 0,11      | 0,0367    | 3391,63  | 5,60   | -1           | -0,009 | -0,00002     | 0,00167 |
| 43_44    | 32       | 0,00181 | 0,11      | 0,0367    | 6029,57  | 10,90  | -1           | -0,02  | -0,00002     | 0,00183 |
| 44_45    | 25       | 0,00211 | 0,11      | 0,0367    | 4710,60  | 9,94   | -1           | -0,021 | -0,00002     | 0,00213 |
| 45_46    | 16       | 0,00283 | 0,11      | 0,0367    | 3014,79  | 8,52   | -1           | -0,024 | -0,00002     | 0,00285 |
| 46_47    | 60       | 0,00327 | 0,11      | 0,0367    | 11305,45 | 36,99  | -1           | -0,121 | -0,00002     | 0,00329 |
| 47_2     | 380      | 0,00279 | 0,11      | 0,0367    | 71601,18 | 199,41 | -1           | -0,555 | -0,00002     | 0,00283 |
| 2_31     | 41       | 0,00229 | 0,09      | 0,0393    | 22550,98 | 51,73  | 1            | 0,1187 | -0,00002     | 0,00225 |
| 31_30    | 35       | 0,00202 | 0,09      | 0,0393    | 19250,83 | 38,81  | 1            | 0,0782 | -0,00002     | 0,00198 |
| 30_29    | 36       | 0,00162 | 0,09      | 0,0393    | 19800,86 | 32,00  | 1            | 0,0517 | -0,00002     | 0,00158 |
| 29_28    | 40       | 0,00110 | 0,09      | 0,0393    | 22000,95 | 24,09  | 1            | 0,0264 | -0,00002     | 0,00105 |
| 28_27    | 43       | 0,00058 | 0,09      | 0,0393    | 23651,02 | 13,60  | 1            | 0,0078 | -0,00002     | 0,00053 |
| 27_26    | 63       | 0,00005 | 0,09      | 0,0393    | 34651,50 | 1,77   | -1           | -9E-05 | -0,00002     | 0,00009 |
| 26_25    | 35       | 0,00052 | 0,09      | 0,0393    | 19250,83 | 10,01  | -1           | -0,005 | -0,00002     | 0,00056 |
| 25_24    | 35       | 0,00078 | 0,09      | 0,0393    | 19250,83 | 15,02  | -1           | -0,012 | -0,00002     | 0,00082 |
| 24_23    | 50       | 0,00101 | 0,09      | 0,0393    | 27501,19 | 27,67  | -1           | -0,028 | -0,00002     | 0,00105 |
| 23_22    | 50       | 0,00120 | 0,09      | 0,0393    | 27501,19 | 32,92  | -1           | -0,039 | -0,00002     | 0,00124 |
| 22_21    | 59       | 0,00139 | 0,09      | 0,0393    | 32451,40 | 45,04  | -1           | -0,063 | -0,00002     | 0,00143 |
| 21_20    | 40       | 0,00208 | 0,09      | 0,0393    | 22000,95 | 45,81  | -1           | -0,095 | -0,00002     | 0,00212 |
|          |          |         |           |           |          | 904,49 |              | 0,0395 |              |         |

Quatrième itération pour la maille 4

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI(m) | $\lambda$ | Ri        | ai     | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|---------|-------|-----------|-----------|--------|--------------|--------|--------------|---------|
| 2_47     | 540   | 0,00279 | 0,11  | 0,0367    | 101749,04 | 283,37 | 1            | 0,7892 | 0,00002      | 0,00283 |
| 47_48    | 30    | 0,00049 | 0,11  | 0,0367    | 5652,72   | 2,75   | -1           | -0,001 | 0,00002      | 0,00047 |
| 48_49    | 25    | 0,00082 | 0,11  | 0,0367    | 4710,60   | 3,85   | -1           | -0,003 | 0,00002      | 0,00080 |
| 49_50    | 30    | 0,00111 | 0,11  | 0,0367    | 5652,72   | 6,25   | -1           | -0,007 | 0,00002      | 0,00109 |
| 50_51    | 30    | 0,00147 | 0,11  | 0,0367    | 5652,72   | 8,32   | -1           | -0,012 | 0,00002      | 0,00145 |
| 51_52    | 28    | 0,00185 | 0,11  | 0,0367    | 5275,88   | 9,75   | -1           | -0,018 | 0,00002      | 0,00183 |
| 52_53    | 26    | 0,00233 | 0,11  | 0,0367    | 4899,03   | 11,41  | -1           | -0,027 | 0,00002      | 0,00231 |
| 53_54    | 20    | 0,00280 | 0,11  | 0,0367    | 3768,48   | 10,54  | -1           | -0,029 | 0,00002      | 0,00278 |
| 54_55    | 200   | 0,00317 | 0,11  | 0,0367    | 37684,83  | 119,63 | -1           | -0,38  | 0,00002      | 0,00315 |
| 55_9     | 210   | 0,00348 | 0,11  | 0,0367    | 39569,07  | 137,64 | -1           | -0,479 | 0,00002      | 0,00346 |
| 9_8      | 37    | 0,00206 | 0,09  | 0,0393    | 33001,43  | 67,88  | 1            | 0,1396 | 0,00002      | 0,00210 |
| 8_7      | 37    | 0,00129 | 0,09  | 0,0393    | 35751,55  | 46,22  | 1            | 0,0598 | 0,00002      | 0,00133 |
| 7_6      | 36    | 0,00058 | 0,09  | 0,0393    | 19800,86  | 11,42  | 1            | 0,0066 | 0,00002      | 0,00062 |
| 6_5      | 35    | 0,00033 | 0,09  | 0,0393    | 19250,83  | 6,38   | -1           | -0,002 | 0,00002      | 0,00029 |
| 5_4      | 34    | 0,00084 | 0,09  | 0,0393    | 18700,81  | 15,69  | -1           | -0,013 | 0,00002      | 0,00080 |
| 4_3      | 40    | 0,00140 | 0,09  | 0,0393    | 22000,95  | 30,89  | -1           | -0,043 | 0,00002      | 0,00136 |
| 3_2      | 6     | 0,00189 | 0,09  | 0,0393    | 3300,14   | 6,24   | -1           | -0,012 | 0,00002      | 0,00185 |
|          |       |         |       |           |           | 778,23 |              | -0,032 |              |         |

Cinquième itération pour la maille 1

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi+ $\epsilon_i\Delta Q_i$ |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|----------------------------|
| 1_2      | 330   | 0,00693 | 0,11   | 0,037     | 62179,97 | 430,945 | 1            | 2,987  | 0,00001      | 0,00695                    |
| 2_3      | 6     | 0,00185 | 0,09   | 0,039     | 3300,14  | 6,104   | 1            | 0,011  | 0,00001      | 0,00187                    |
| 3_4      | 40    | 0,00136 | 0,09   | 0,039     | 22000,95 | 30,000  | 1            | 0,041  | 0,00001      | 0,00139                    |
| 4_5      | 34    | 0,00080 | 0,09   | 0,039     | 18700,81 | 14,934  | 1            | 0,012  | 0,00001      | 0,00082                    |
| 5_6      | 35    | 0,00029 | 0,09   | 0,039     | 19250,83 | 5,594   | 1            | 0,002  | 0,00001      | 0,00031                    |
| 6_7      | 36    | 0,00062 | 0,09   | 0,039     | 19800,86 | 12,226  | -1           | -0,008 | 0,00001      | 0,00059                    |
| 7_8      | 37    | 0,00133 | 0,09   | 0,039     | 35751,55 | 47,672  | -1           | -0,064 | 0,00001      | 0,00131                    |
| 8_9      | 37    | 0,00210 | 0,09   | 0,039     | 33001,43 | 69,218  | -1           | -0,145 | 0,00001      | 0,00207                    |
| 9_10     | 264   | 0,00556 | 0,11   | 0,037     | 49743,98 | 276,360 | -1           | -1,535 | 0,00001      | 0,00555                    |
| 10_11    | 35    | 0,00576 | 0,11   | 0,037     | 6594,85  | 38,010  | -1           | -0,219 | 0,00001      | 0,00575                    |
| 11_12    | 37    | 0,00599 | 0,11   | 0,037     | 6971,69  | 41,758  | -1           | -0,250 | 0,00001      | 0,00598                    |
| 12_13    | 42    | 0,00622 | 0,11   | 0,037     | 7913,81  | 49,189  | -1           | -0,306 | 0,00001      | 0,00621                    |
| 13_14    | 39    | 0,00646 | 0,11   | 0,037     | 7348,54  | 47,469  | -1           | -0,307 | 0,00001      | 0,00645                    |
| 14_1     | 28,5  | 0,00672 | 0,11   | 0,037     | 5370,09  | 36,090  | -1           | -0,243 | 0,00001      | 0,00671                    |
|          |       |         |        |           |          | 1105,57 |              | -0,023 |              |                            |

## Cinquième itération pour la maille 2

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 1_15     | 6     | 0,00646 | 0,11   | 0,037     | 1130,54  | 7,301   | 1            | 0,047  | -0,00001     | 0,00645 |
| 15_16    | 25    | 0,00620 | 0,11   | 0,037     | 4710,60  | 29,195  | 1            | 0,181  | -0,00001     | 0,00619 |
| 16_17    | 28    | 0,00590 | 0,11   | 0,037     | 5275,88  | 31,142  | 1            | 0,184  | -0,00001     | 0,00589 |
| 17_18    | 30    | 0,00559 | 0,11   | 0,037     | 5652,72  | 31,603  | 1            | 0,177  | -0,00001     | 0,00558 |
| 18_19    | 32    | 0,00526 | 0,11   | 0,037     | 6029,57  | 31,720  | 1            | 0,167  | -0,00001     | 0,00525 |
| 19_20    | 502   | 0,00507 | 0,11   | 0,037     | 94588,92 | 479,543 | 1            | 2,431  | -0,00001     | 0,00506 |
| 20_21    | 30    | 0,00212 | 0,09   | 0,039     | 16500,71 | 35,016  | 1            | 0,074  | -0,00001     | 0,00210 |
| 21_22    | 32    | 0,00143 | 0,09   | 0,039     | 17600,76 | 25,135  | 1            | 0,036  | -0,00001     | 0,00141 |
| 22_23    | 35    | 0,00124 | 0,09   | 0,039     | 19250,83 | 23,815  | 1            | 0,029  | -0,00001     | 0,00121 |
| 23_24    | 30    | 0,00105 | 0,09   | 0,039     | 16500,71 | 17,261  | 1            | 0,018  | -0,00001     | 0,00102 |
| 24_25    | 33    | 0,00082 | 0,09   | 0,039     | 18150,79 | 14,885  | 1            | 0,012  | -0,00001     | 0,00080 |
| 25_26    | 30    | 0,00056 | 0,09   | 0,039     | 16500,71 | 9,242   | 1            | 0,005  | -0,00001     | 0,00054 |
| 26_27    | 42    | 0,00009 | 0,09   | 0,039     | 23101,00 | 2,104   | 1            | 0,000  | -0,00001     | 0,00007 |
| 27_28    | 43    | 0,00053 | 0,09   | 0,039     | 23651,02 | 12,651  | -1           | -0,007 | -0,00001     | 0,00056 |
| 28_29    | 52    | 0,00105 | 0,09   | 0,039     | 28601,24 | 30,172  | -1           | -0,032 | -0,00001     | 0,00108 |
| 29_30    | 45    | 0,00158 | 0,09   | 0,039     | 24751,07 | 39,006  | -1           | -0,061 | -0,00001     | 0,00160 |
| 30_31    | 60    | 0,00198 | 0,09   | 0,039     | 33001,43 | 65,208  | -1           | -0,129 | -0,00001     | 0,00200 |
| 31_2     | 41    | 0,00225 | 0,09   | 0,039     | 22550,98 | 50,828  | -1           | -0,115 | -0,00001     | 0,00228 |
| 2_1      | 330   | 0,00693 | 0,11   | 0,037     | 62179,97 | 430,945 | -1           | -2,987 | -0,00001     | 0,00695 |
|          |       |         |        |           |          | 1366,77 |              | 0,032  |              |         |

## Cinquième itération pour la maille 3

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\lambda$ | Ri       | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 20_32    | 350   | 0,00295 | 0,11   | 0,037     | 65948,45 | 194,395 | 1            | 0,573  | 0,00001      | 0,00296 |
| 32_33    | 46    | 0,00270 | 0,11   | 0,037     | 8667,51  | 23,443  | 1            | 0,063  | 0,00001      | 0,00272 |
| 33_34    | 41    | 0,00246 | 0,11   | 0,037     | 7725,39  | 19,010  | 1            | 0,047  | 0,00001      | 0,00247 |
| 34_35    | 40    | 0,00223 | 0,11   | 0,037     | 7536,97  | 16,843  | 1            | 0,038  | 0,00001      | 0,00225 |
| 35_36    | 45    | 0,00152 | 0,11   | 0,037     | 8479,09  | 12,852  | 1            | 0,019  | 0,00001      | 0,00153 |
| 36_37    | 39    | 0,00080 | 0,11   | 0,037     | 7348,54  | 5,913   | 1            | 0,005  | 0,00001      | 0,00082 |
| 37_38    | 45    | 0,00056 | 0,11   | 0,037     | 8479,09  | 4,788   | 1            | 0,003  | 0,00001      | 0,00058 |
| 38_39    | 62    | 0,00029 | 0,11   | 0,037     | 11682,30 | 3,372   | 1            | 0,001  | 0,00001      | 0,00030 |
| 39_40    | 24    | 0,00034 | 0,11   | 0,037     | 4522,18  | 1,544   | -1           | -0,001 | 0,00001      | 0,00033 |
| 40_41    | 16    | 0,00095 | 0,11   | 0,037     | 3014,79  | 2,862   | -1           | -0,003 | 0,00001      | 0,00094 |
| 41_42    | 30    | 0,00127 | 0,11   | 0,037     | 5652,72  | 7,192   | -1           | -0,009 | 0,00001      | 0,00126 |
| 42_43    | 18    | 0,00167 | 0,11   | 0,037     | 3391,63  | 5,675   | -1           | -0,009 | 0,00001      | 0,00166 |
| 43_44    | 32    | 0,00183 | 0,11   | 0,037     | 6029,57  | 11,030  | -1           | -0,020 | 0,00001      | 0,00182 |
| 44_45    | 25    | 0,00213 | 0,11   | 0,037     | 4710,60  | 10,045  | -1           | -0,021 | 0,00001      | 0,00212 |
| 45_46    | 16    | 0,00285 | 0,11   | 0,037     | 3014,79  | 8,590   | -1           | -0,024 | 0,00001      | 0,00284 |
| 46_47    | 60    | 0,00329 | 0,11   | 0,037     | 11305,45 | 37,232  | -1           | -0,123 | 0,00001      | 0,00328 |
| 47_2     | 380   | 0,00283 | 0,11   | 0,037     | 71601,18 | 202,424 | -1           | -0,572 | 0,00001      | 0,00280 |
| 2_31     | 41    | 0,00225 | 0,09   | 0,039     | 22550,98 | 50,828  | 1            | 0,115  | 0,00001      | 0,00228 |
| 31_30    | 35    | 0,00198 | 0,09   | 0,039     | 19250,83 | 38,038  | 1            | 0,075  | 0,00001      | 0,00200 |
| 30_29    | 36    | 0,00158 | 0,09   | 0,039     | 19800,86 | 31,205  | 1            | 0,049  | 0,00001      | 0,00160 |
| 29_28    | 40    | 0,00105 | 0,09   | 0,039     | 22000,95 | 23,209  | 1            | 0,024  | 0,00001      | 0,00108 |
| 28_27    | 43    | 0,00053 | 0,09   | 0,039     | 23651,02 | 12,651  | 1            | 0,007  | 0,00001      | 0,00056 |
| 27_26    | 63    | 0,00009 | 0,09   | 0,039     | 34651,50 | 3,156   | -1           | 0,000  | 0,00001      | 0,00007 |
| 26_25    | 35    | 0,00056 | 0,09   | 0,039     | 19250,83 | 10,782  | -1           | -0,006 | 0,00001      | 0,00054 |
| 25_24    | 35    | 0,00082 | 0,09   | 0,039     | 19250,83 | 15,787  | -1           | -0,013 | 0,00001      | 0,00080 |
| 24_23    | 50    | 0,00105 | 0,09   | 0,039     | 27501,19 | 28,768  | -1           | -0,030 | 0,00001      | 0,00102 |
| 23_22    | 50    | 0,00124 | 0,09   | 0,039     | 27501,19 | 34,021  | -1           | -0,042 | 0,00001      | 0,00121 |
| 22_21    | 59    | 0,00143 | 0,09   | 0,039     | 32451,40 | 46,343  | -1           | -0,066 | 0,00001      | 0,00141 |
| 21_20    | 40    | 0,00212 | 0,09   | 0,039     | 22000,95 | 46,688  | -1           | -0,099 | 0,00001      | 0,00210 |
|          |       |         |        |           |          | 908,687 |              | -0,021 |              |         |

## Cinquième itération pour la maille 4

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | ai      | $\epsilon_i$ | bi     | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
| 2_47     | 540   | 0,00283 | 0,11   | 0,037     | 101749,0 | 287,656 | 1            | 0,813  | -0,00001     | 0,00280 |
| 47_48    | 30    | 0,00047 | 0,11   | 0,037     | 5652,72  | 2,635   | -1           | -0,001 | -0,00001     | 0,00048 |
| 48_49    | 25    | 0,00080 | 0,11   | 0,037     | 4710,60  | 3,751   | -1           | -0,003 | -0,00001     | 0,00081 |
| 49_50    | 30    | 0,00109 | 0,11   | 0,037     | 5652,72  | 6,140   | -1           | -0,007 | -0,00001     | 0,00110 |
| 50_51    | 30    | 0,00145 | 0,11   | 0,037     | 5652,72  | 8,203   | -1           | -0,012 | -0,00001     | 0,00146 |
| 51_52    | 28    | 0,00183 | 0,11   | 0,037     | 5275,88  | 9,640   | -1           | -0,018 | -0,00001     | 0,00184 |
| 52_53    | 26    | 0,00231 | 0,11   | 0,037     | 4899,03  | 11,313  | -1           | -0,026 | -0,00001     | 0,00232 |
| 53_54    | 20    | 0,00278 | 0,11   | 0,037     | 3768,48  | 10,466  | -1           | -0,029 | -0,00001     | 0,00279 |
| 54_55    | 200   | 0,00315 | 0,11   | 0,037     | 37684,83 | 118,866 | -1           | -0,375 | -0,00001     | 0,00317 |
| 55_9     | 210   | 0,00346 | 0,11   | 0,037     | 39569,07 | 136,838 | -1           | -0,473 | -0,00001     | 0,00347 |
| 9_8      | 37    | 0,00210 | 0,09   | 0,039     | 33001,43 | 69,218  | 1            | 0,145  | -0,00001     | 0,00207 |
| 8_7      | 37    | 0,00133 | 0,09   | 0,039     | 35751,55 | 47,672  | 1            | 0,064  | -0,00001     | 0,00131 |
| 7_6      | 36    | 0,00062 | 0,09   | 0,039     | 19800,86 | 12,226  | 1            | 0,008  | -0,00001     | 0,00059 |
| 6_5      | 35    | 0,00029 | 0,09   | 0,039     | 19250,83 | 5,594   | -1           | -0,002 | -0,00001     | 0,00031 |
| 5_4      | 34    | 0,00080 | 0,09   | 0,039     | 18700,81 | 14,934  | -1           | -0,012 | -0,00001     | 0,00082 |
| 4_3      | 40    | 0,00136 | 0,09   | 0,039     | 22000,95 | 30,000  | -1           | -0,041 | -0,00001     | 0,00139 |
| 3_2      | 6     | 0,00185 | 0,09   | 0,039     | 3300,14  | 6,104   | -1           | -0,011 | -0,00001     | 0,00187 |
|          |       |         |        |           |          | 781,26  |              | 0,020  |              |         |

## Sixième itération pour la maille 1

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI (m) | $\Lambda$ | Ri       | ai     | $\epsilon_i$ | bi    | $\Delta Q_i$ | Qi+ $\epsilon_i\Delta Q_i$ |
|----------|-------|---------|--------|-----------|----------|--------|--------------|-------|--------------|----------------------------|
| 1_2      | 330   | 0,00695 | 0,11   | 0,037     | 62179,97 | 431,87 | 1            | 3     | 0,00000      | 0,00694                    |
| 2_3      | 6     | 0,00187 | 0,09   | 0,039     | 3300,14  | 6,16   | 1            | 0,011 | 0,00000      | 0,00186                    |
| 3_4      | 40    | 0,00138 | 0,09   | 0,039     | 22000,95 | 30,35  | 1            | 0,042 | 0,00000      | 0,00138                    |
| 4_5      | 34    | 0,00081 | 0,09   | 0,039     | 18700,81 | 15,23  | 1            | 0,012 | 0,00000      | 0,00081                    |
| 5_6      | 35    | 0,00031 | 0,09   | 0,039     | 19250,83 | 5,90   | 1            | 0,002 | 0,00000      | 0,00030                    |
| 6_7      | 36    | 0,00060 | 0,09   | 0,039     | 19800,86 | 11,91  | -1           | -0,01 | 0,00000      | 0,00060                    |
| 7_8      | 37    | 0,00132 | 0,09   | 0,039     | 35751,55 | 47,11  | -1           | -0,06 | 0,00000      | 0,00132                    |
| 8_9      | 37    | 0,00208 | 0,09   | 0,039     | 33001,43 | 68,69  | -1           | -0,14 | 0,00000      | 0,00208                    |
| 9_10     | 264   | 0,00555 | 0,11   | 0,037     | 49743,98 | 276,05 | -1           | -1,53 | 0,00000      | 0,00555                    |
| 10_11    | 35    | 0,00576 | 0,11   | 0,037     | 6594,85  | 37,97  | -1           | -0,22 | 0,00000      | 0,00576                    |
| 11_12    | 37    | 0,00598 | 0,11   | 0,037     | 6971,69  | 41,71  | -1           | -0,25 | 0,00000      | 0,00598                    |
| 12_13    | 42    | 0,00621 | 0,11   | 0,037     | 7913,81  | 49,14  | -1           | -0,31 | 0,00000      | 0,00621                    |
| 13_14    | 39    | 0,00645 | 0,11   | 0,037     | 7348,54  | 47,42  | -1           | -0,31 | 0,00000      | 0,00645                    |
| 14_1     | 28,5  | 0,00671 | 0,11   | 0,037     | 5370,09  | 36,06  | -1           | -0,24 | 0,00000      | 0,00672                    |
|          |       |         |        |           |          | 1105,6 |              | 0,002 |              |                            |

Sixième itération pour la maille 2

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI(m) | $\lambda$ | Ri       | ai     | $\epsilon_i$ | bi      | $\Delta Qi$ | Qi      |
|----------|-------|---------|-------|-----------|----------|--------|--------------|---------|-------------|---------|
| 1_15     | 6     | 0,00645 | 0,11  | 0,037     | 1130,54  | 7,29   | 1            | 0,047   | 0,00000     | 0,00645 |
| 15_16    | 25    | 0,00619 | 0,11  | 0,037     | 4710,60  | 29,15  | 1            | 0,1804  | 0,00000     | 0,00619 |
| 16_17    | 28    | 0,00589 | 0,11  | 0,037     | 5275,88  | 31,10  | 1            | 0,1833  | 0,00000     | 0,00589 |
| 17_18    | 30    | 0,00558 | 0,11  | 0,037     | 5652,72  | 31,55  | 1            | 0,1761  | 0,00000     | 0,00558 |
| 18_19    | 32    | 0,00525 | 0,11  | 0,037     | 6029,57  | 31,67  | 1            | 0,1663  | 0,00000     | 0,00525 |
| 19_20    | 502   | 0,00506 | 0,11  | 0,037     | 94588,92 | 478,72 | 1            | 2,4229  | 0,00000     | 0,00506 |
| 20_21    | 30    | 0,00211 | 0,09  | 0,039     | 16500,71 | 34,76  | 1            | 0,0732  | 0,00000     | 0,00211 |
| 21_22    | 32    | 0,00141 | 0,09  | 0,039     | 17600,76 | 24,86  | 1            | 0,0351  | 0,00000     | 0,00141 |
| 22_23    | 35    | 0,00122 | 0,09  | 0,039     | 19250,83 | 23,52  | 1            | 0,0287  | 0,00000     | 0,00122 |
| 23_24    | 30    | 0,00103 | 0,09  | 0,039     | 16500,71 | 17,01  | 1            | 0,0175  | 0,00000     | 0,00103 |
| 24_25    | 33    | 0,00080 | 0,09  | 0,039     | 18150,79 | 14,60  | 1            | 0,0118  | 0,00000     | 0,00081 |
| 25_26    | 30    | 0,00054 | 0,09  | 0,039     | 16500,71 | 8,99   | 1            | 0,0049  | 0,00000     | 0,00055 |
| 26_27    | 42    | 0,00008 | 0,09  | 0,039     | 23101,00 | 1,75   | 1            | 0,0001  | 0,00000     | 0,00008 |
| 27_28    | 43    | 0,00055 | 0,09  | 0,039     | 23651,02 | 13,02  | -1           | -0,0072 | 0,00000     | 0,00055 |
| 28_29    | 52    | 0,00107 | 0,09  | 0,039     | 28601,24 | 30,61  | -1           | -0,0328 | 0,00000     | 0,00107 |
| 29_30    | 45    | 0,00159 | 0,09  | 0,039     | 24751,07 | 39,39  | -1           | -0,0627 | 0,00000     | 0,00159 |
| 30_31    | 60    | 0,00199 | 0,09  | 0,039     | 33001,43 | 65,72  | -1           | -0,1309 | 0,00000     | 0,00199 |
| 31_2     | 41    | 0,00227 | 0,09  | 0,039     | 22550,98 | 51,18  | -1           | -0,1161 | 0,00000     | 0,00227 |
| 2_1      | 330   | 0,00695 | 0,11  | 0,037     | 62179,97 | 431,87 | -1           | -2,9996 | 0,00000     | 0,00694 |
|          |       |         |       |           |          | 1366,8 |              | -0,0018 |             |         |

Sixième itération pour la maille 3

| Tronçons | L (m) | Qi      | DI(m) | $\Lambda$ | Ri       | ai     | $\epsilon_i$ | bi      | $\Delta Q_i$ | Qi      |
|----------|-------|---------|-------|-----------|----------|--------|--------------|---------|--------------|---------|
| 20_32    | 350   | 0,00295 | 0,11  | 0,037     | 65948,45 | 194,84 | 1            | 0,5757  | 0,00000      | 0,00295 |
| 32_33    | 46    | 0,00271 | 0,11  | 0,037     | 8667,51  | 23,50  | 1            | 0,0637  | 0,00000      | 0,00271 |
| 33_34    | 41    | 0,00247 | 0,11  | 0,037     | 7725,39  | 19,06  | 1            | 0,047   | 0,00000      | 0,00247 |
| 34_35    | 40    | 0,00224 | 0,11  | 0,037     | 7536,97  | 16,89  | 1            | 0,0379  | 0,00000      | 0,00224 |
| 35_36    | 45    | 0,00152 | 0,11  | 0,037     | 8479,09  | 12,91  | 1            | 0,0197  | 0,00000      | 0,00152 |
| 36_37    | 39    | 0,00081 | 0,11  | 0,037     | 7348,54  | 5,96   | 1            | 0,0048  | 0,00000      | 0,00081 |
| 37_38    | 45    | 0,00057 | 0,11  | 0,037     | 8479,09  | 4,85   | 1            | 0,0028  | 0,00000      | 0,00057 |
| 38_39    | 62    | 0,00030 | 0,11  | 0,037     | 11682,30 | 3,45   | 1            | 0,001   | 0,00000      | 0,00029 |
| 39_40    | 24    | 0,00033 | 0,11  | 0,037     | 4522,18  | 1,51   | -1           | -0,0005 | 0,00000      | 0,00034 |
| 40_41    | 16    | 0,00094 | 0,11  | 0,037     | 3014,79  | 2,84   | -1           | -0,0027 | 0,00000      | 0,00094 |
| 41_42    | 30    | 0,00127 | 0,11  | 0,037     | 5652,72  | 7,15   | -1           | -0,0091 | 0,00000      | 0,00127 |
| 42_43    | 18    | 0,00167 | 0,11  | 0,037     | 3391,63  | 5,65   | -1           | -0,0094 | 0,00000      | 0,00167 |
| 43_44    | 32    | 0,00182 | 0,11  | 0,037     | 6029,57  | 10,99  | -1           | -0,02   | 0,00000      | 0,00182 |
| 44_45    | 25    | 0,00213 | 0,11  | 0,037     | 4710,60  | 10,01  | -1           | -0,0213 | 0,00000      | 0,00213 |
| 45_46    | 16    | 0,00284 | 0,11  | 0,037     | 3014,79  | 8,57   | -1           | -0,0244 | 0,00000      | 0,00284 |
| 46_47    | 60    | 0,00329 | 0,11  | 0,037     | 11305,45 | 37,16  | -1           | -0,1221 | 0,00000      | 0,00329 |
| 47_2     | 380   | 0,00281 | 0,11  | 0,037     | 71601,18 | 201,25 | -1           | -0,5657 | 0,00000      | 0,00281 |
| 2_31     | 41    | 0,00227 | 0,09  | 0,039     | 22550,98 | 51,18  | 1            | 0,1161  | 0,00000      | 0,00227 |
| 31_30    | 35    | 0,00199 | 0,09  | 0,039     | 19250,83 | 38,34  | 1            | 0,0763  | 0,00000      | 0,00199 |
| 30_29    | 36    | 0,00159 | 0,09  | 0,039     | 19800,86 | 31,51  | 1            | 0,0501  | 0,00000      | 0,00159 |
| 29_28    | 40    | 0,00107 | 0,09  | 0,039     | 22000,95 | 23,55  | 1            | 0,0252  | 0,00000      | 0,00107 |
| 28_27    | 43    | 0,00055 | 0,09  | 0,039     | 23651,02 | 13,02  | 1            | 0,0072  | 0,00000      | 0,00055 |
| 27_26    | 63    | 0,00008 | 0,09  | 0,039     | 34651,50 | 2,62   | -1           | -0,0002 | 0,00000      | 0,00008 |
| 26_25    | 35    | 0,00054 | 0,09  | 0,039     | 19250,83 | 10,48  | -1           | -0,0057 | 0,00000      | 0,00055 |
| 25_24    | 35    | 0,00080 | 0,09  | 0,039     | 19250,83 | 15,49  | -1           | -0,0125 | 0,00000      | 0,00081 |
| 24_23    | 50    | 0,00103 | 0,09  | 0,039     | 27501,19 | 28,34  | -1           | -0,0292 | 0,00000      | 0,00103 |
| 23_22    | 50    | 0,00122 | 0,09  | 0,039     | 27501,19 | 33,60  | -1           | -0,041  | 0,00000      | 0,00122 |
| 22_21    | 59    | 0,00141 | 0,09  | 0,039     | 32451,40 | 45,84  | -1           | -0,0648 | 0,00000      | 0,00141 |
| 21_20    | 40    | 0,00211 | 0,09  | 0,039     | 22000,95 | 46,35  | -1           | -0,0976 | 0,00000      | 0,00211 |
|          |       |         |       |           |          | 906,92 |              | 0,0014  |              |         |

Sixième itération pour la maille 4

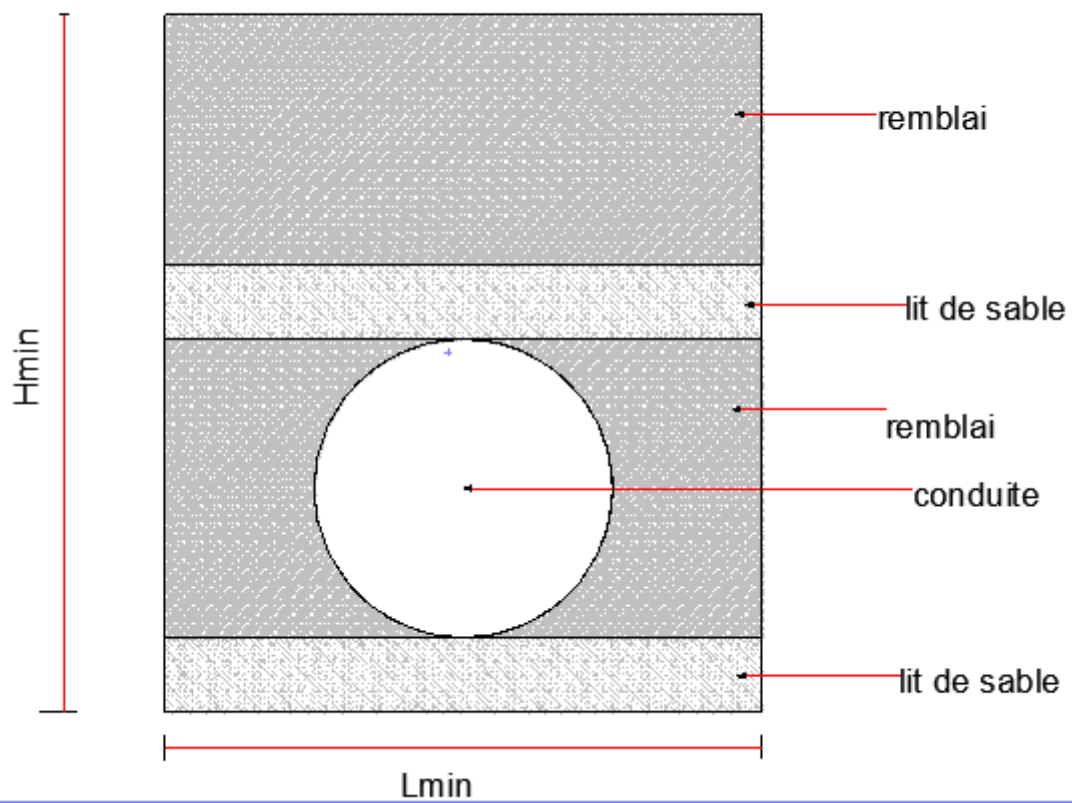
| Tronçons | L(m) | Qi      | DI(m) | $\Lambda$ | Ri       | Ai     | $\epsilon_i$ | bi      | $\Delta Qi$ | Qi      |
|----------|------|---------|-------|-----------|----------|--------|--------------|---------|-------------|---------|
| 2_47     | 540  | 0,00281 | 0,11  | 0,037     | 101749,0 | 285,99 | 1            | 0,8039  | 0,00000     | 0,00281 |
| 47_48    | 30   | 0,00048 | 0,11  | 0,037     | 5652,72  | 2,69   | -1           | -0,0013 | 0,00000     | 0,00048 |
| 48_49    | 25   | 0,00081 | 0,11  | 0,037     | 4710,60  | 3,80   | -1           | -0,0031 | 0,00000     | 0,00081 |
| 49_50    | 30   | 0,00110 | 0,11  | 0,037     | 5652,72  | 6,19   | -1           | -0,0068 | 0,00000     | 0,00110 |
| 50_51    | 30   | 0,00146 | 0,11  | 0,037     | 5652,72  | 8,26   | -1           | -0,0121 | 0,00000     | 0,00146 |
| 51_52    | 28   | 0,00184 | 0,11  | 0,037     | 5275,88  | 9,69   | -1           | -0,0178 | 0,00000     | 0,00184 |
| 52_53    | 26   | 0,00232 | 0,11  | 0,037     | 4899,03  | 11,36  | -1           | -0,0263 | 0,00000     | 0,00232 |
| 53_54    | 20   | 0,00279 | 0,11  | 0,037     | 3768,48  | 10,50  | -1           | -0,0293 | 0,00000     | 0,00279 |
| 54_55    | 200  | 0,00316 | 0,11  | 0,037     | 37684,83 | 119,23 | -1           | -0,3772 | 0,00000     | 0,00316 |
| 55_9     | 210  | 0,00347 | 0,11  | 0,037     | 39569,07 | 137,22 | -1           | -0,4758 | 0,00000     | 0,00347 |
| 9_8      | 37   | 0,00208 | 0,09  | 0,039     | 33001,43 | 68,69  | 1            | 0,143   | 0,00000     | 0,00208 |
| 8_7      | 37   | 0,00132 | 0,09  | 0,039     | 35751,55 | 47,11  | 1            | 0,0621  | 0,00000     | 0,00132 |
| 7_6      | 36   | 0,00060 | 0,09  | 0,039     | 19800,86 | 11,91  | 1            | 0,0072  | 0,00000     | 0,00060 |
| 6_5      | 35   | 0,00031 | 0,09  | 0,039     | 19250,83 | 5,90   | -1           | -0,0018 | 0,00000     | 0,00030 |
| 5_4      | 34   | 0,00081 | 0,09  | 0,039     | 18700,81 | 15,23  | -1           | -0,0124 | 0,00000     | 0,00081 |
| 4_3      | 40   | 0,00138 | 0,09  | 0,039     | 22000,95 | 30,35  | -1           | -0,0419 | 0,00000     | 0,00138 |
| 3_2      | 6    | 0,00187 | 0,09  | 0,039     | 3300,14  | 6,16   | -1           | -0,0115 | 0,00000     | 0,00186 |
|          |      |         |       |           |          | 780,27 |              | -0,0011 |             |         |

## Annexe 2

| Tronçons | Débits de fuites | Priorité | Longueur du tronçon | Débit des fuites par mètre linéaire de conduite | Priorité |
|----------|------------------|----------|---------------------|---|----------|
|          |                  |          |                     |   |          |
|          |                  |          |                     |   |          |
|          |                  |          |                     |   |          |

## Annexe3. Conduite de distribution

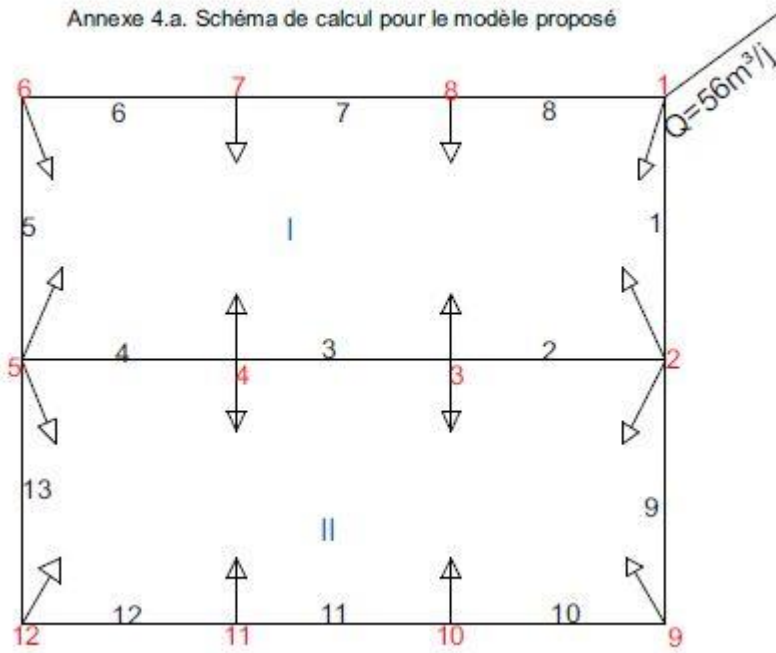
### Tuyau de la conduite de distribution



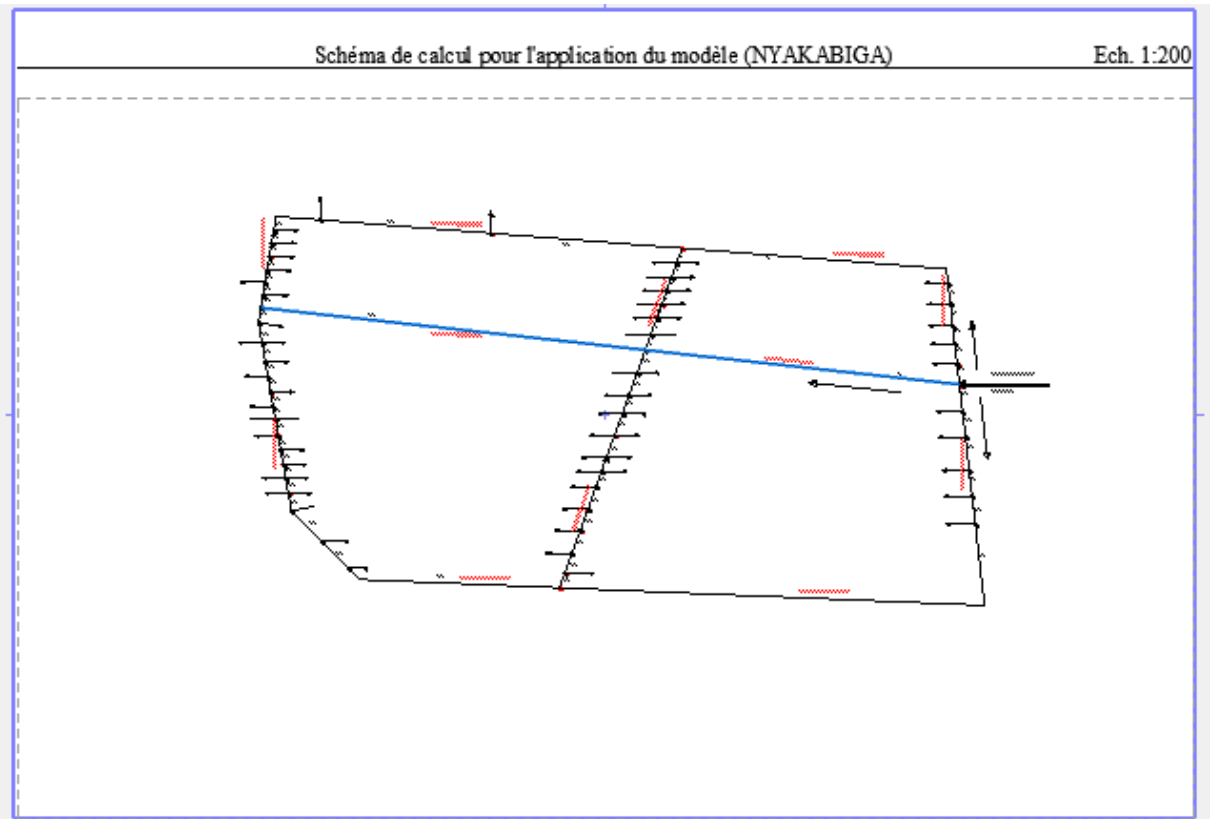
## Annexe 4. Vanne de sectionnement

### Annexe 4. schémas de calcul

Annexe 4.a. Schéma de calcul pour le modèle proposé



**Annexe 4.b.** Schéma de calcul pour l'application du modèle.



**Annexe 5.** Schéma de la répartition finale des débits pour l'application du modèle (NYAKABIGA)

