UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

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

Masabo, Armel.

2020-12
UB
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/103

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

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'Ingénier 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 nécessiteux 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

Ţ : Taux d'accroissement moyen de la population

Δ Ht : Perte de charge totale

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY……..…….i
DEDICACE iiii
REMERCIEMENTS iii
RESUME.....iv
ABSTRACT v
LISTE DES TABLEAUX vi
LISTE DES FIGURES.....vii
LISTE DES ABREVIATIONS.....viii
Table des matières …….ix
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 taches 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 dépende 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 suive est :

- Revue de la littérature,
- Collectes des données,
- Traitements des donnés,
- 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 frottant 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

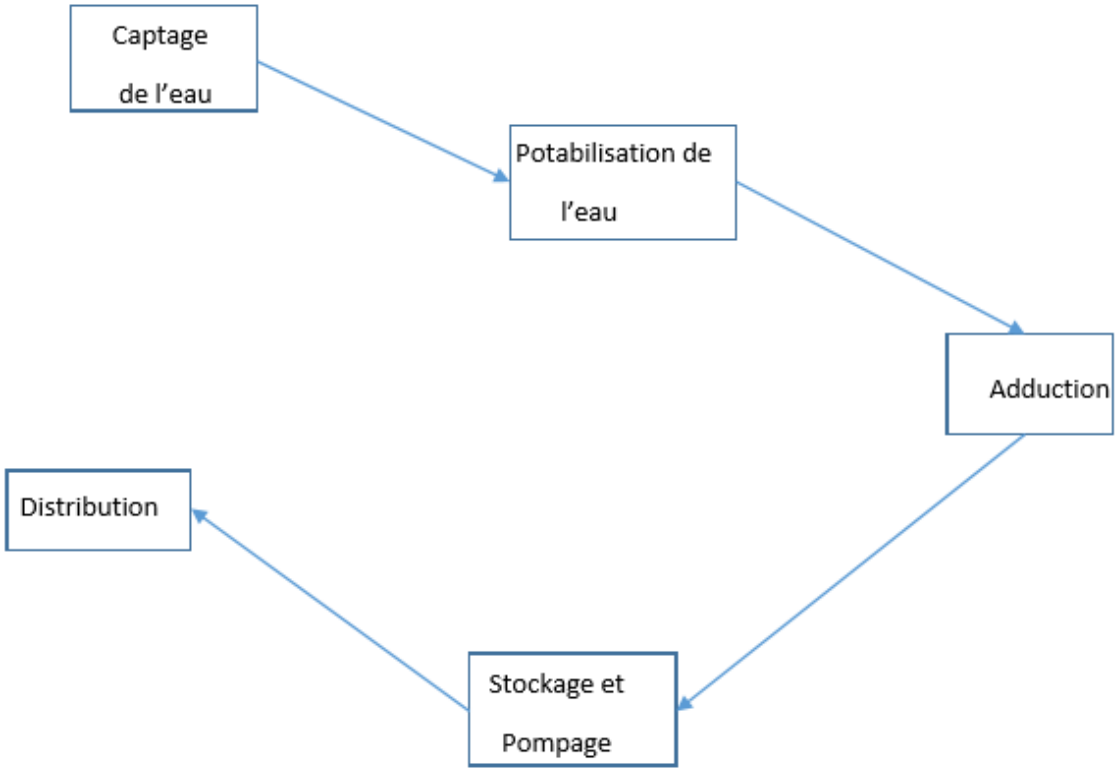
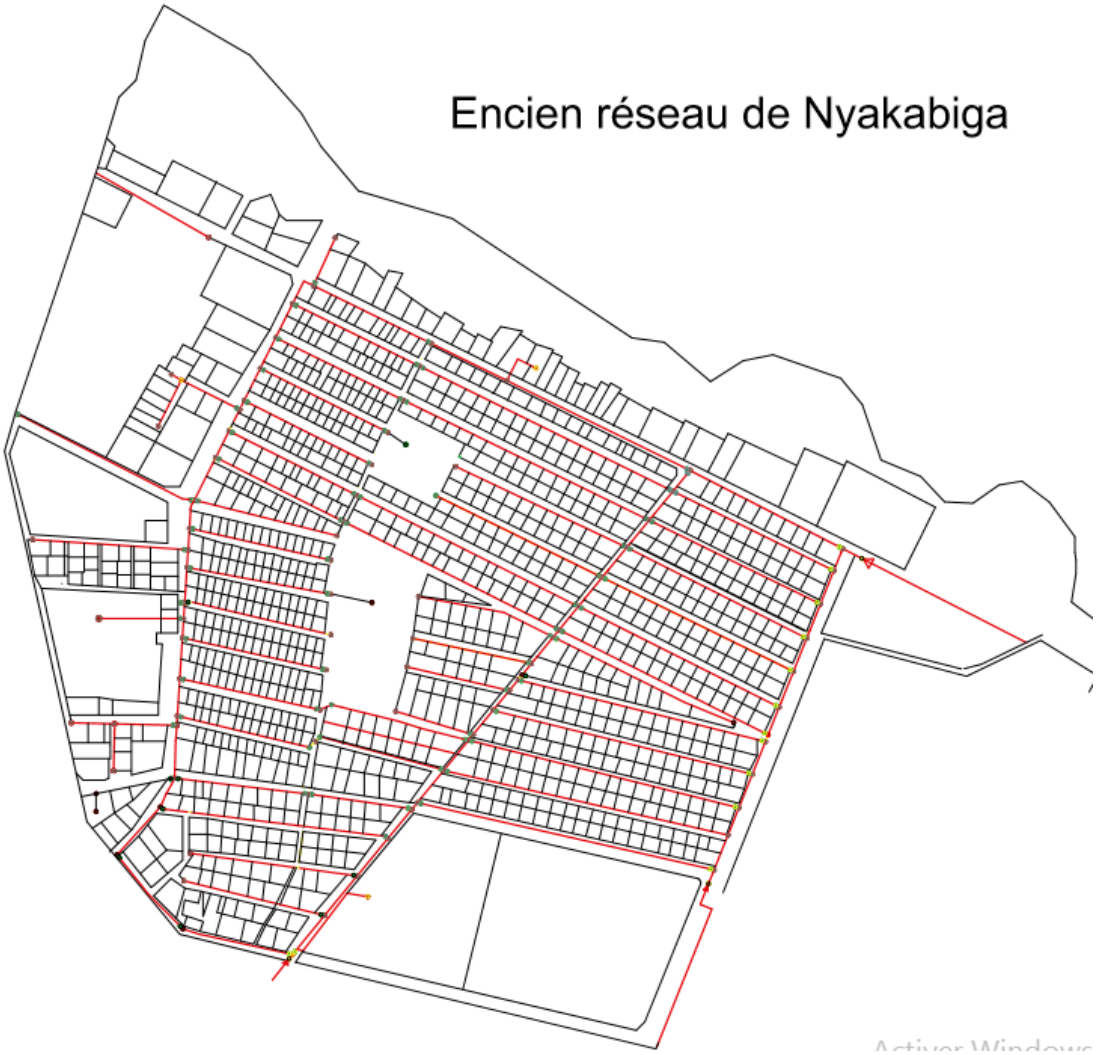


Figure II.4-1 Schéma général des installations du réseau d'AEP en Mairie de Bujumbura

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).



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

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 : $$\sum_{i=1}^{n} \delta i Qi = 0 \qquad \text{(II.2)}$$

Ou δ_i = Signe conventionnel affecté au tronçon suivant le sens de l'écoulement

δ_i = + si le débit est entrant dans le nœud considéré

δ_i = - si le débit est sortant du nœud considéré

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

Qi = 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 :

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

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 :

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

Où ε_i = signe conventionnel affecté au sens d'écoulement dans un tronçon considéré

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

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

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

la valeur n'est pas nulle, il faut donc un débit de correction ΔQ_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,……m

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

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

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

Car $\varepsilon_i^{\,2} \Delta Q^2$ est négligeable

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

Car $\varepsilon_i^{\,2} = 1$

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

- Donc dans chaque anneau de la maille, on doit utiliser la formule (5) pour calculer ΔQ, 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 ΔQ 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 relation: $\sum_{i=1}^{m} \varepsilon_i Ri Q_i^{\,2} = 0$ (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 $\overline{D}$, R ψ et R du modèle de référence ; le diamètre $\overline{D}$ est déterminé avec la relation suivante :

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

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

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

(II.13)

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

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

(I.14)

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

$$D = \psi\overline{D}$$

A. Types de réseaux de desserte.

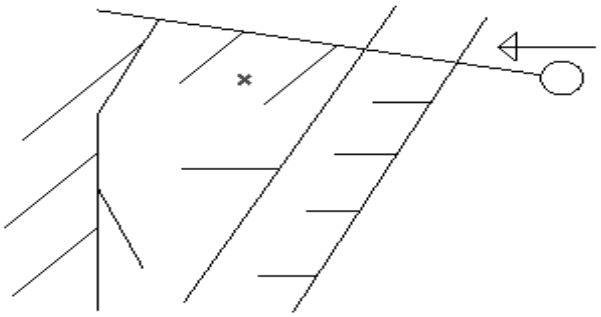
On distingue trois types de réseaux :

❖ 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.

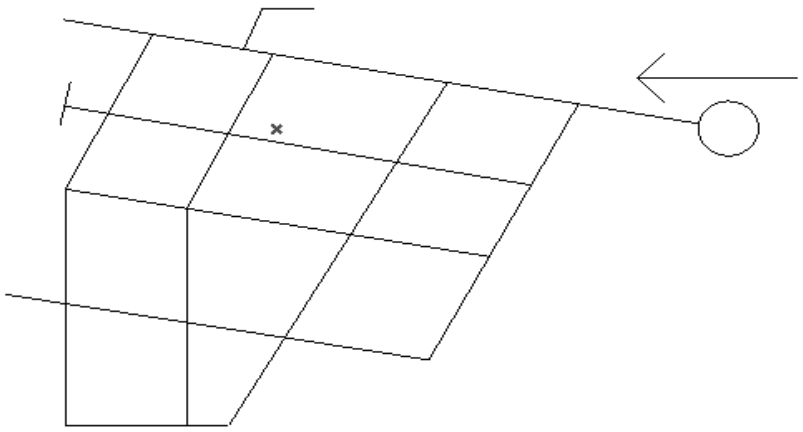


❖ Le réseau maillé

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 couteux 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.Itdpipeline .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 emboitement 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.

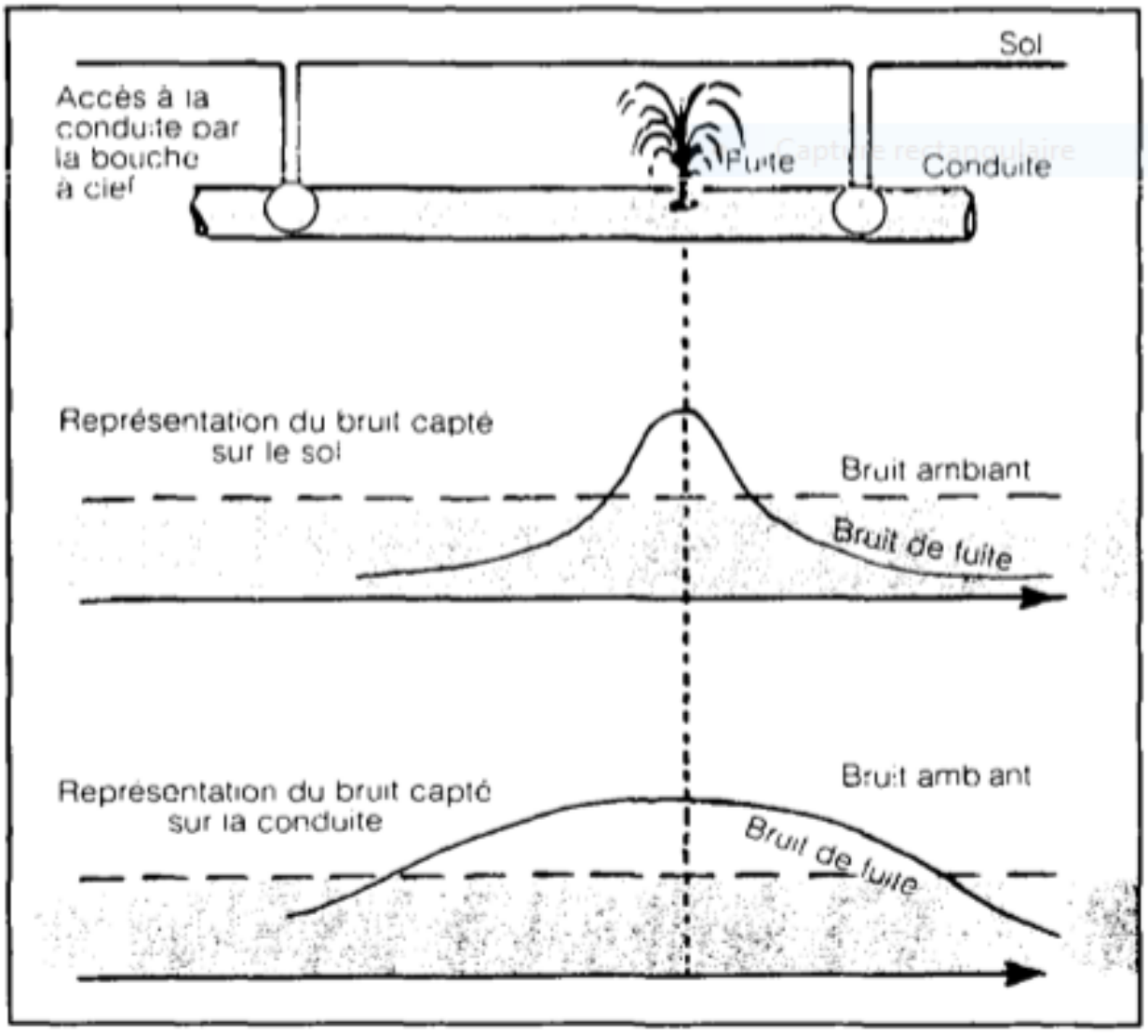


Figure II.7-1:Localisation de fuites

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 :

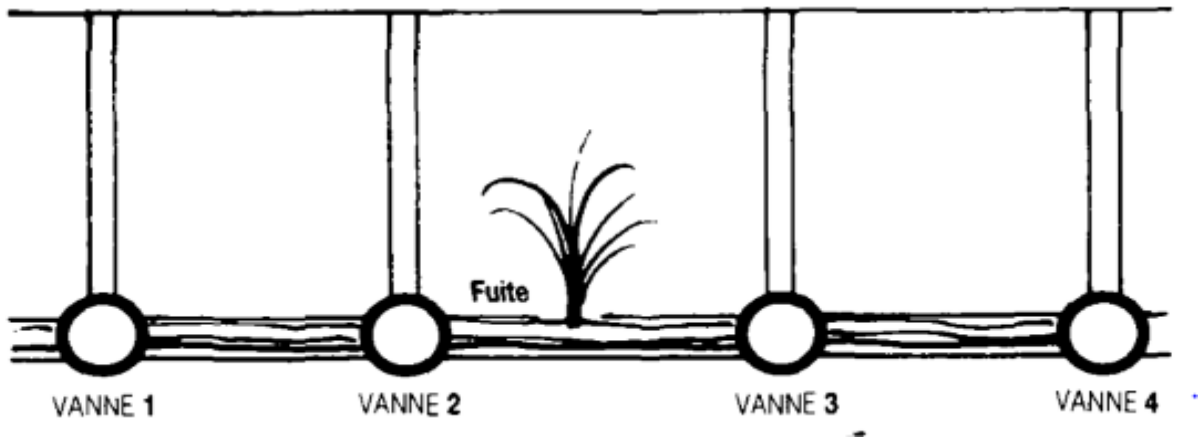


Figure II.7-2:Fuite sur une conduite

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/km².
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 Ntahangwa, Nord-Est par le campus Mutanga et au Sud par la zone Rohero.

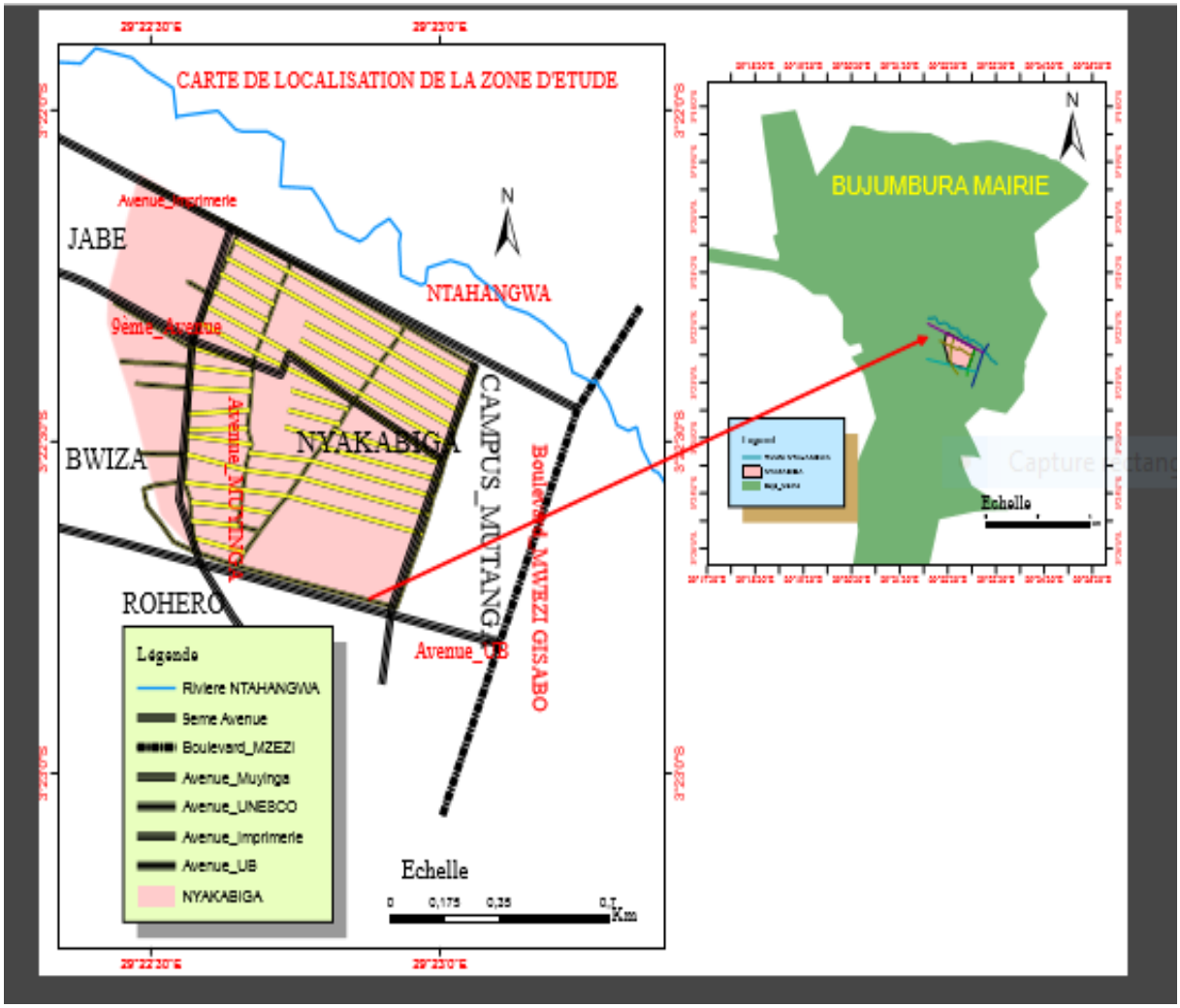


Figure III.1-1:Plan de localisation de la zone du Projet

III.2 Climatologie

Le climat de la région est tempéré. La température moyenne annuelle dans cette zone est de 32,27^{0}c. Le mois le plus chaud est Février, lorsque la température moyenne est de 35,30^{0}c, et le plus froid est janvier avec 17^{0}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 -3,32^0 Latitude Sud, 783mm altitude et 29,32^0 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 :

$Pn=Po*(1+Ƭ)^n$

(III.1)

Avec :

Pn : Population à l'horizon considéré

Po : Population de base

N : Intervalle des années considéré (25ans)

Ƭ : 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/ Localité	Taux d'accroissement Moyen en %	Population Actuelle Po en 2008	Population à 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

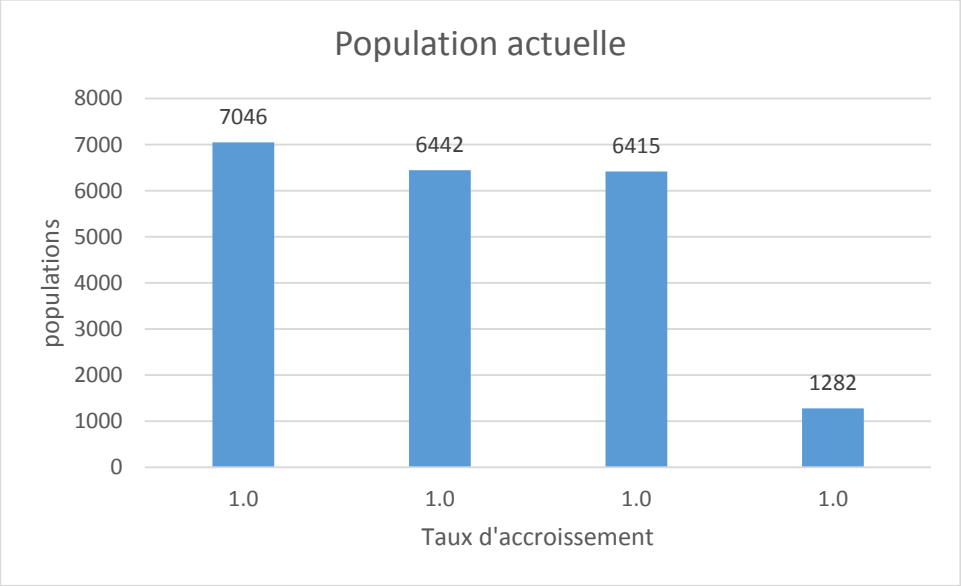


Figure III.5-1:Population bénéficiaire

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/ Localité	Taux d'accroissement Moyen en %	Population Actuelle Po en 2020	Population à l'horizon 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

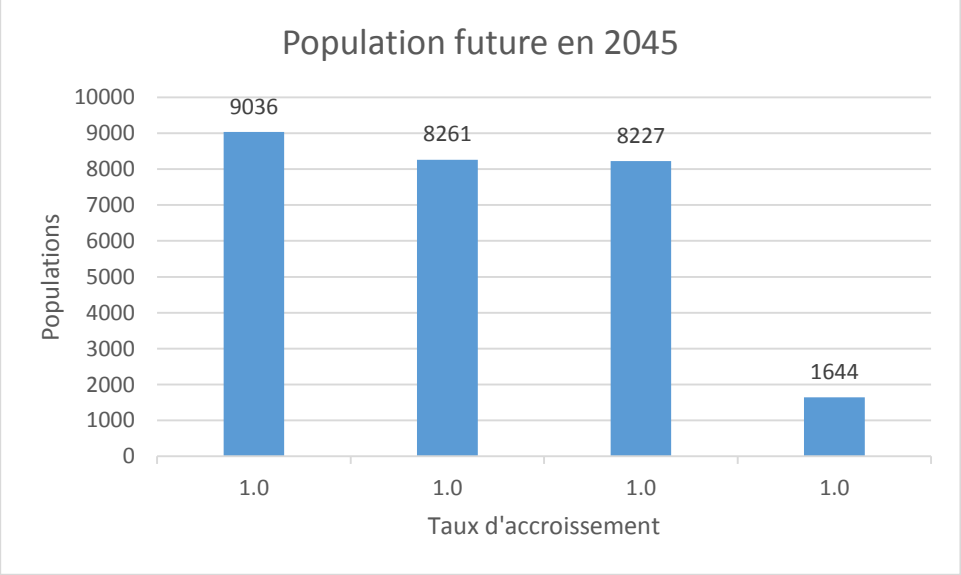


Figure III.6-1: Population future

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 :

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

(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^3/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 : 181jours
- Quantité totale d'eau pendant la période : 249306m^3/j
- Nombre total de parcelles (ménages) : 1101menages

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 1,251027m³/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 (m³/j)	Besoin (m³/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

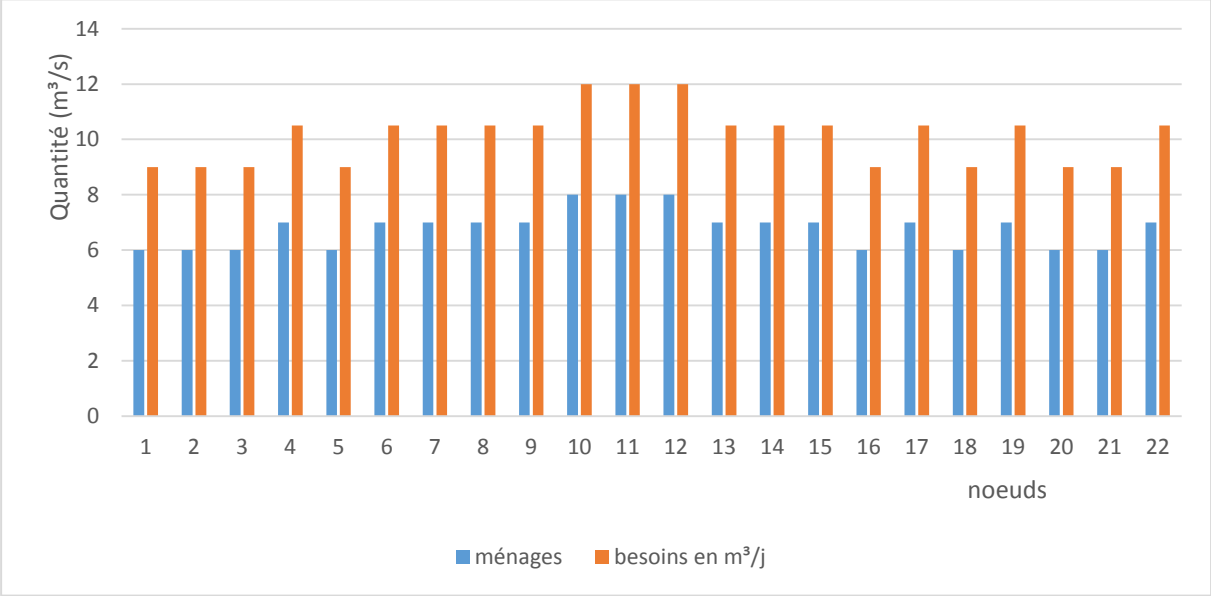


Figure 0-1: Histogramme des besoins pour le Quartier 1

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

Nœuds	Ménages	Norme (m³/j)	Besoin (m³/j)
1	16		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	1,5	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

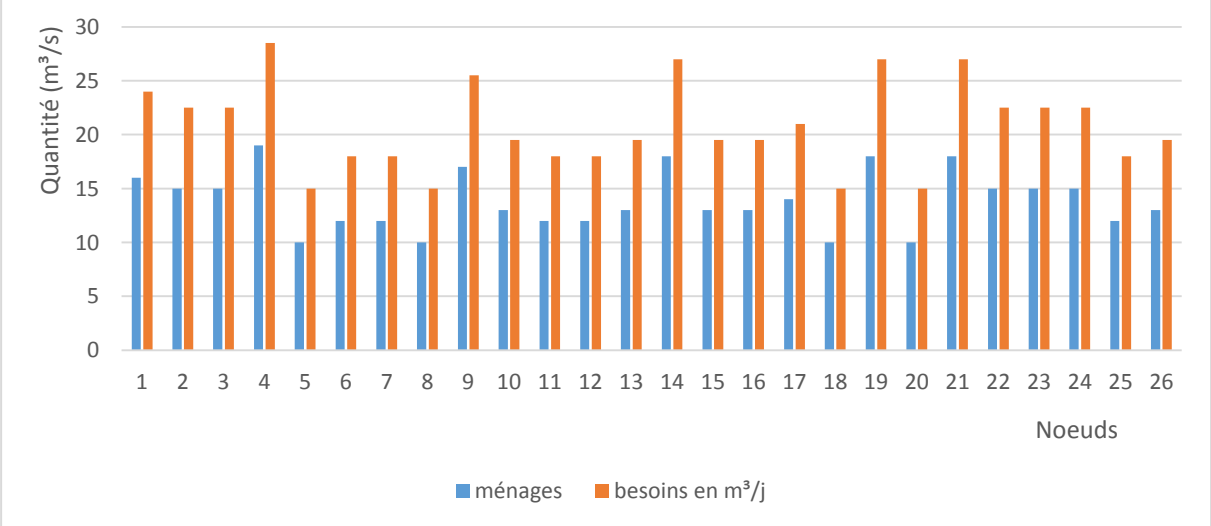


Figure 0-2:Histogramme des besoins pour le Quartier 2

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

Nœuds	Ménages	Norme (m^3/j)	Besoin (m^3/j)
1	8		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	1,5	9
23	3		4,5
24	15		22,5
25	14		21
26	11		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

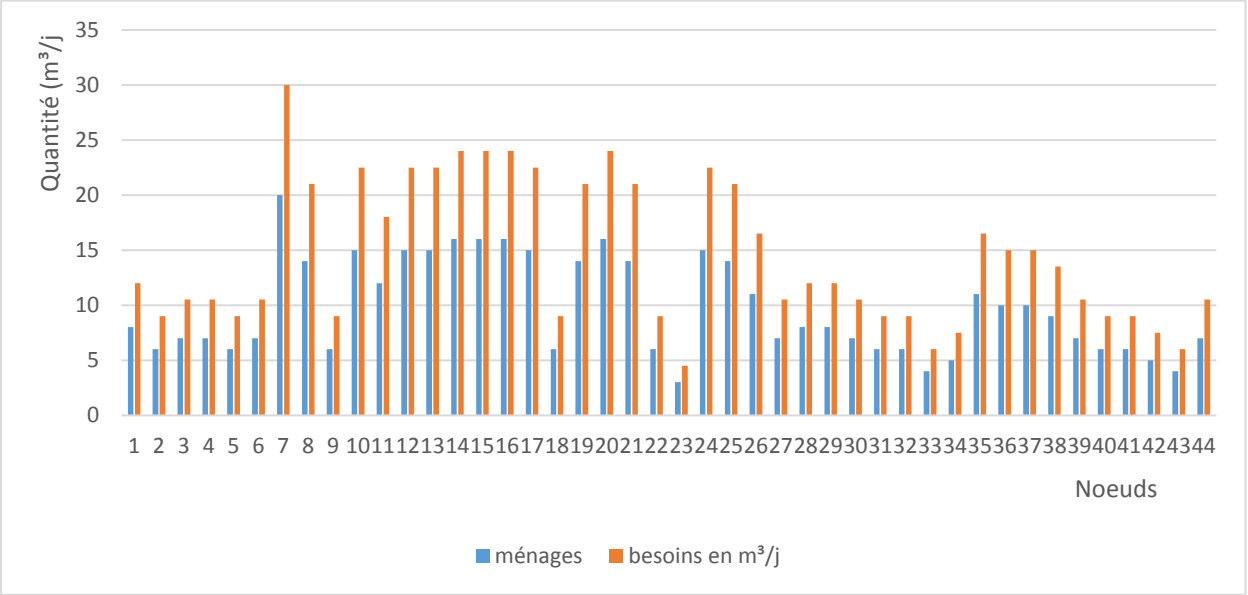


Figure 0-3:Histogramme des besoins pour le Quartier 3

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		249

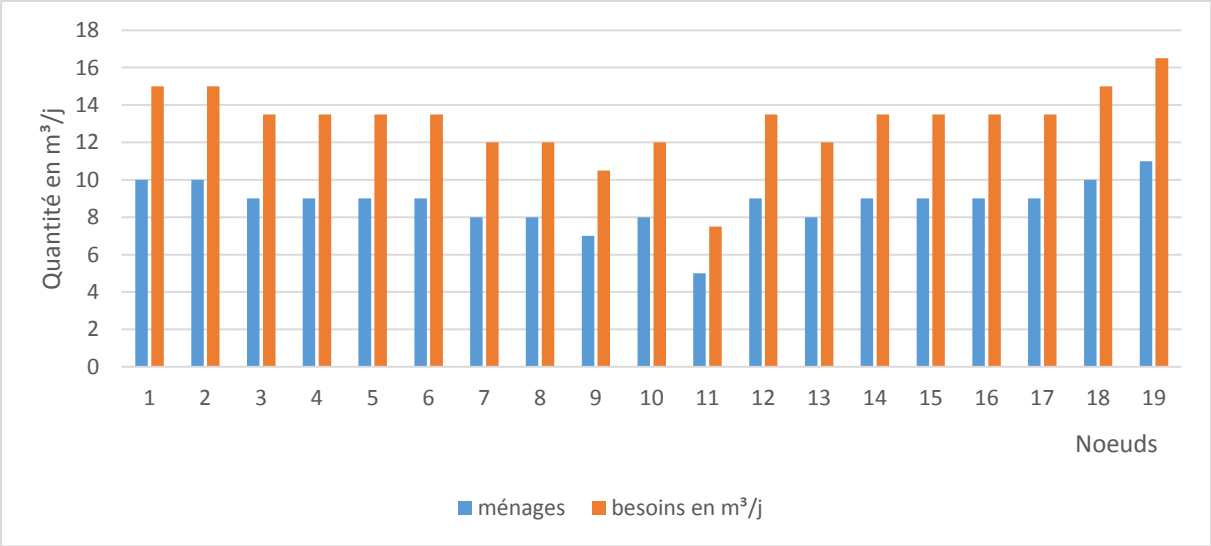


Figure 0-4:Histogramme des besoins pour le Quartier 4

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 :

$Qmoy,h=\frac{Qmoy,j}{24}$ (en m³/h)

(III.7)

Donc, on aura :

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

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 m³/h
0_1	32,4
1_2	28,2
2_3	55,7
3_4	83,1
4_5	86,5
5_6	91,9
6_7	116,4
7_8	131,4
8_9	125,9
9_10	118,8
10_11	106,6
11_12	96,2

Heures	cons. Tot m³/h
12_13	100,2
13_14	101,7
14_15	94,6
15_16	94,2
16_17	93,2
17_18	92
18_19	94,5
19_20	100,1
20-21	98
21_22	102,8
22_23	94,4
23_24	79,8
Total	2218,6

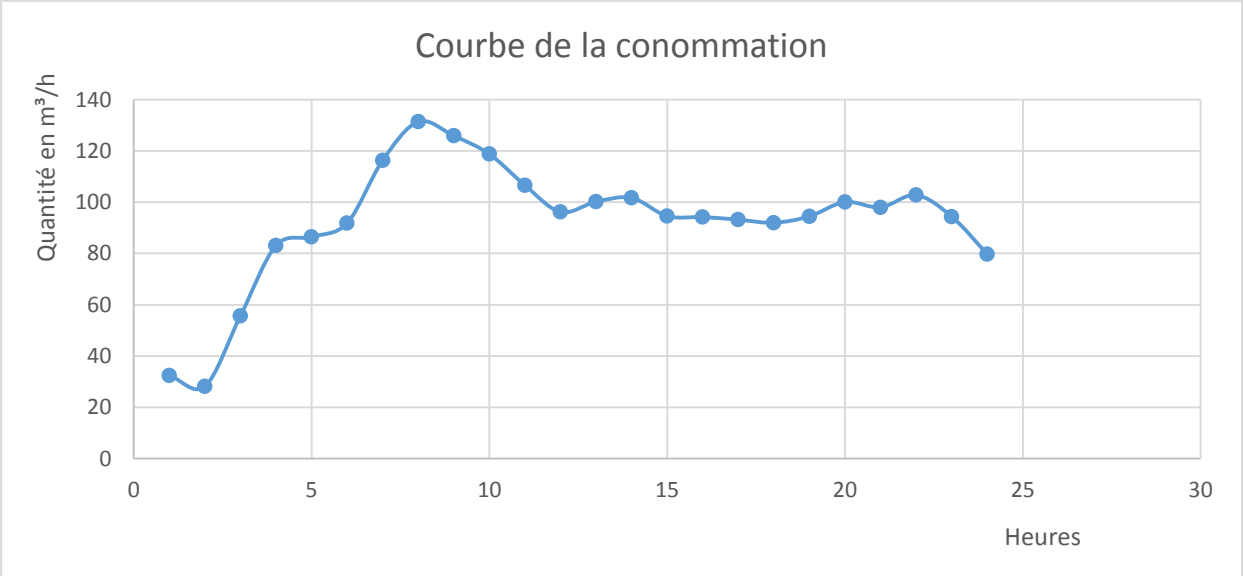


Figure 0-1:Courbe de la consommation journalière

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 :

.

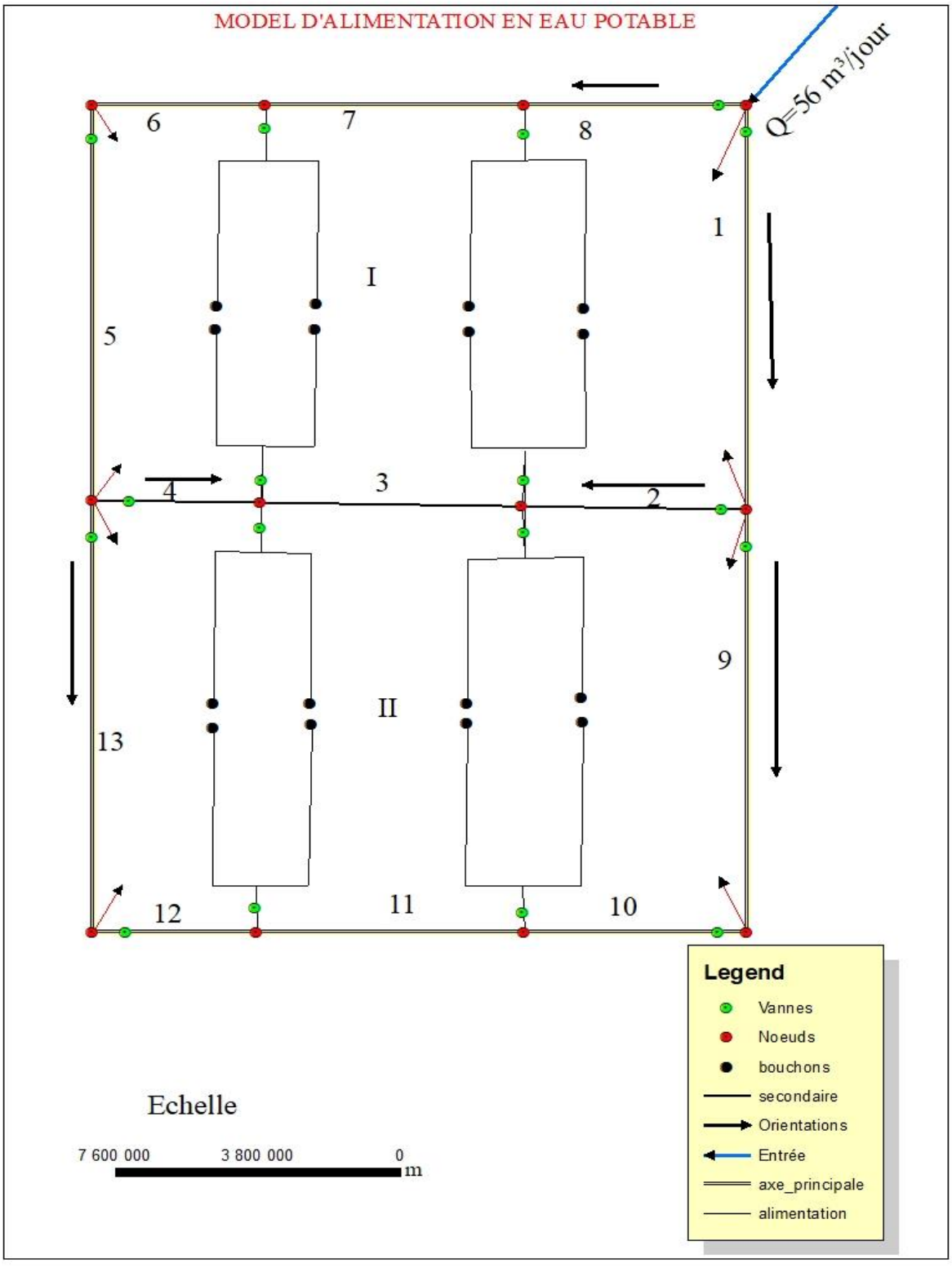


Figure IV.2-1: Modèle proposé d'alimentation en eau potable

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 (m^3/s)	DI (m)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi_{+1} (m^3/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)	λ	Ri	Qi (m^3/s)	ai	εi	bi	ΔQi	Q_{i+1} (m^3/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	**0,00014**
3_	48	0,09	0,039	26401,14	0,00005	1,191	1	0,0001	0,00000	**0,00003**
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)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi (m³/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)	λ	Ri	Qi (m³/s)	ai	εi	bi	ΔQi	Qi (m³/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)	Λ	Ri	Qi (m³/s)	ai	εi	Bi	ΔQi	Qi (m³/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^3/s)	Qi^2 (m^6/s^2)	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.almohandiss.comm/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] :

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

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

- Hmin: Profondeur minimale de la tranchée (m) ;
- Lmin : Largeur minimale de la tranchée (m);
- Dext : 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.

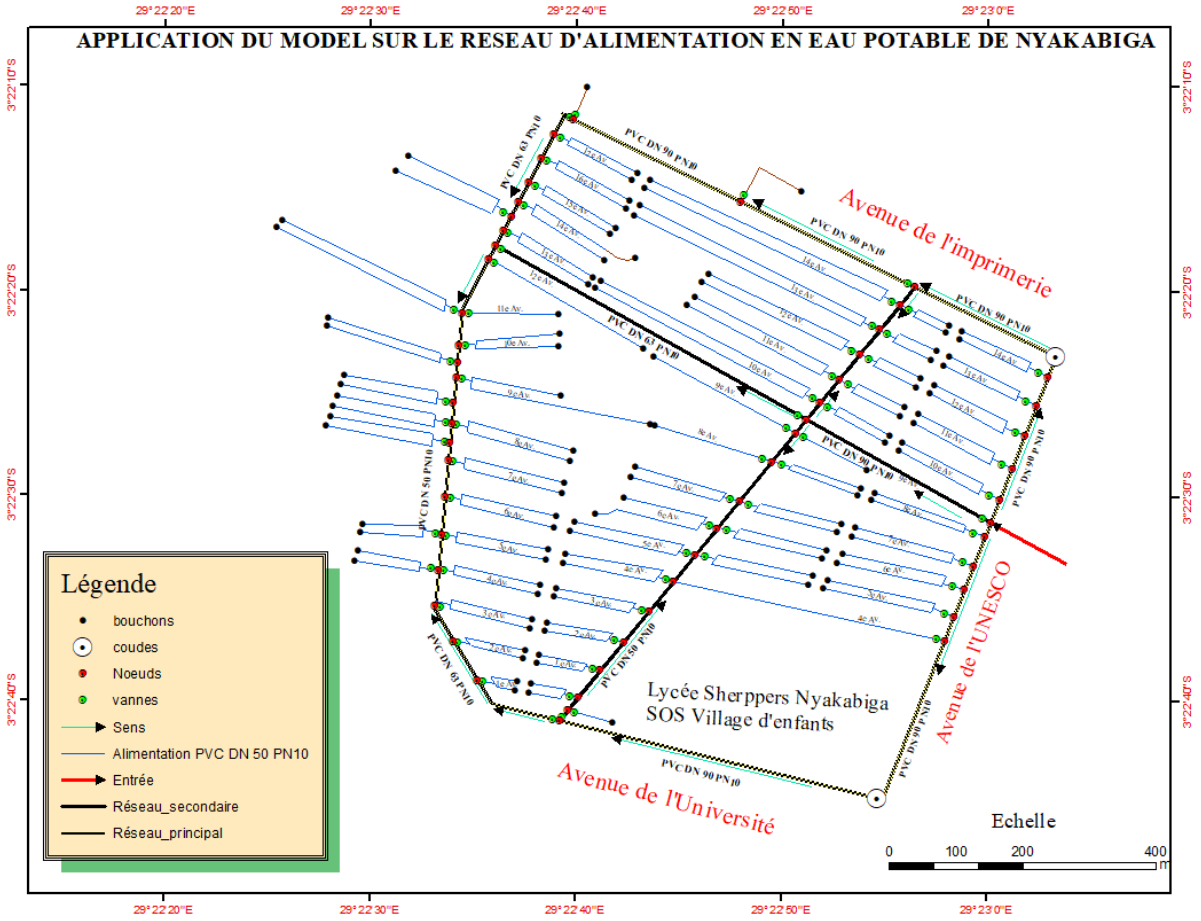
L'application de ce modèle nous facilite la distribution de l'eau potable dans la zone Nyakabiga. L'alimentation passe de part et d'autre de chaque rue dans les sous-quartiers.

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 pourtours 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 ΔQ. Il faudra l'ajouter sur chaque Qi, ou le retrancher de chaque Qi suivant le sens de l'écoulement, dont il faut l'affecter du coefficient de correction.

La correction ΔQ sera déterminée par le théorème des pertes de charges, on doit avoir la formule suivante :

$$\Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^{n} \varepsilon i * Ri * Q^2 i}{2\sum_{i=1}^{n} Ri * Qi}$$

(V.1)

Avec Ri et Q^2_i: la perte de charge dans le tronçon i de la maille considérée

Qi: le débit circulant dans le tronçon i de la maille

εi : 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 εiΔQ pour corriger le débit dans chaque tronçon de l'anneau. Après correction, le débit dans chaque tronçon sera donc : Qi+εi*ΔQ avec i=1, 2, 3,…, n

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

Le critère d'arrêt des itérations sera donc:

$$\sum_{i=1}^{m} \varepsilon i * Ri * Q^2 i = 0$$

(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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi+εiΔQi
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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi+εiΔQi
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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi+εiΔQi
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)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi+εiΔQi
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 différentes 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 considère. 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)

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

(V.6)

λ : Coefficient de frottements qui est fonction de Re et de la rugosité relative.

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

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

(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/s² ;

ε : rugosité absolue ;

γ : viscosité cinématique ($\gamma = 10^{-6}$m²/s)

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

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

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

(V.8)

- Formule de prendthd 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 :

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

(V.10)

En connaissant le débit Q et le diamètre D, on détermine les pertes de charge établies d'après les formule de COLEBROOK et on pourrait déterminer la perte de charge unitaire (j) avec la formule $j=Ri*Q_i^2$

(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*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 :

$D_{apt}=1{,}5*\sqrt{Q}$ (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 :

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

(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 :

$J=Ri*Q^2$

(V.15)

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

Tronçons	R_i	Q_i (m^3/s)	Q_i^2 (m^6/s^2)	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_{amont}	J	P_{aval}
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_{amont}	J	P_{aval}
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
1	30,000
2	27,001
3	26,989
4	26,948
5	26,935
6	26,933
7	26,941
8	27,003
9	27,146
10	28,678
11	28,897
12	29,147
13	29,452
14	29,758
15	29,953
16	29,773
17	29,589
18	29,413
19	29,247
20	26,824
21	26,750
22	26,715
23	26,686
24	26,669
25	26,657
26	26,652
27	26,652
28	26,659

Nœuds	P
29	26,691
30	26,754
31	26,885
32	26,248
33	26,184
34	26,137
35	26,100
36	26,080
37	26,075
38	26,071
39	26,225
40	26,226
41	26,229
42	26,238
43	26,247
44	26,267
45	26,288
46	26,313
47	26,435
48	26,055
49	26,058
50	26,065
51	26,055
52	26,058
53	26,121
54	26,150
55	26,527

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 m³/s	DI (m)	L(m)	J	J=j*L	DE (mm)	λ	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^3/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	Tron-çons	Q(m³/s)	Pression supposées		CP		ΔHt (m)	J (m)	D (m)	Ṟ	ε	Dthe (m)	DN (mm)
	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
I	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
		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
II	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	Tron çons	Q(m³/s)	Pression supposées		CP		ΔHt (m)	J (m)	D (m)	R̄	ε	Dthe (m)	DN (mm)
		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
III		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
		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
IV		55	0,004	34	30	878	877	1	267,0	0,122	39068,1	0,827	0,101	110
	I	8	0,002	32	27	875	874	1	557,4	0,079	29105,2	0,842	0,066	73
	I	7	0,001	22	29	871	870	1	970,9	0,056	23311,9	0,855	0,048	50
	I	6	3E-04	28,5	25	866,5	866	0,5	1592,4	0,032	12618,5	0,885	0,028	50
	I	5	6E-04	27	25	875	874	1	1680,7	0,040	18717,5	0,869	0,035	50
	I	4	0,001	25	20	873	858	15	13599,3	0,034	41180,4	0,860	0,029	50
	I	3	0,002	28	25	865	863	2	1199,0	0,065	32473,3	0,844	0,055	63
	I	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	Tron çons	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)	
	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
I	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					
		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
II	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)	
		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
III		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
				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
IV	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(m³/s)	DN (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)	
	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
I	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
		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
II	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		

MP	MA	Tron	Q (m³/s)	DN (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)	
		33	0,0028	0,1	0,14	49,52	0,000	0,000	0,0028	878,14	878	30,06	29
		34	0,0026	0,09	0,09	34,83	0,000	0,000	0,0026	866,09	866	23,09	18
		35	0,0023	0,09	0,001	0,43	0,000	0,000	0,0023	876,001	876	29,001	31
		36	0,0021	0,09	0,75	354,78	0,000	0,000	0,0021	869,25	868,5	24,55	20,5
		37	0,0014	0,063	0,203	145,52	0,000	0,000	0,0014	875,203	875	30,001	28
		38	0,0007	0,05	0,21	307,02	0,000	0,000	0,0007	873,21	873	26,2	24
		39	0,0004	0,05	1,532	-2378,15	0,000	0,000	0,0004	852	852,7	25	27
		40	0,0002	0,05	0,09	535,71	0,000	0,000	0,0002	853,09	853	20,09	20
		41	0,0005	0,05	-1,1	192,78	0,000	0,000	0,0057	874,2	873,1	25,1	25
		42	0,0011	0,063	-0,5	-467,29	0,000	0,000	0,0011	857,5	857	24,5	25
		43	0,0014	0,063	-0,5	-358,94	0,000	0,000	0,0014	853	853	21,06	25
		44	0,0018	0,09	-0,1	-55,74	0,000	0,000	0,0018	859,1	859	27,1	27
		45	0,0020	0,073	-0,05	-25,64	0,000	0,000	0,0019	859,95	860	28,1	30
III		46	0,0023	0,11	-0,15	-66,58	0,000	0,000	0,0022	867,15	867	35,15	35
		49	0,0027	0,09	-0,5	-187,83	0,000	0,000	0,0026	868,7	868,2	30,7	27,2
	II	32	0,0019	0,063	-0,2	-105,93	0,000	0,000	0,0019	866,2	866	28,2	25
	II	31	0,0016	0,063	-0,09	-55,90	0,000	0,000	0,0016	856,09	856	32,09	15
	II	30	0,0012	0,063	-0,1	-82,64	0,000	0,000	0,0012	876,3	876,2	28,3	35,2
	II	29	0,0007	0,05	-0,58	137,02	0,000	0,000	0,0042	872,7	872,12	30,7	30
	II	28	0,0002	0,05	-0,28	77,18	0,000	0,000	0,0036	868,4	868,12	26,1	35
	II	27	0,0005	0,05	0,67	1466,08	0,000	0,000	0,0004	868,87	868,2	26,1	35,2
	II	26	0,0009	0,063	0,22	69,25	0,000	0,000	0,0032	858,32	858,1	25,32	15,2
	II	25	0,0012	0,063	0,13	47,95	0,000	0,000	0,0027	869,25	869,12	26,05	35
	II	24	0,0014	0,063	0,2699	191,15	0,000	0,000	0,0014	869,3699	869,1	26,35	35,1
	II	23	0,0016	0,063	0,27	132,87	0,000	0,000	0,0020	865,37	865,1	31,27	18
	II	22	0,0018	0,073	0,85	473,80	0,000	0,000	0,0018	865,95	865,1	31,4	18,1
	II	21	0,0025	0,09	0,07	50,72	0,000	0,000	0,0014	857,22	857,15	14,22	23
					-			-		**ΔQ= (0,18 < 0,5)**			
				Somme	**0,0041**	**659,15**	**ΔQ=**	**0,0002**		**l/s**			
	III	39	0,0004	0,05	0,11	79,71	0,000	0,000	0,0014	869,21	869,1	22,01	25
		50	0,0017	0,09	0,8	460,30	0,000	0,000	0,0018	856,8	856	32,8	32
		51	0,0021	0,073	0,01	4,73	0,000	0,000	0,0021	859,01	859	29,01	35
		52	0,0026	0,09	0,05	19,26	0,000	0,000	0,0026	859	859,05	35,5	15,05
		53	0,0031	0,09	0,282	204,35	0,000	0,000	0,0014	877,432	877,15	33,03	30
IV		54	0,0034	0,1	-0,78	-226,68	0,000	0,000	0,0035	877,88	877,1	33,38	30,1
		55	0,0037	0,11	-0,39	128,57	0,000	0,000	0,0007	877,21	877,12	30,01	33
	I	8	0,0018	0,073	0,25	139,35	0,000	0,000	0,0018	877,35	877,1	30,35	33,1
	I	7	0,0010	0,05	-0,201	2010,00	0,000	0,000	0,0001	877,301	877,1	33,001	28,2
	I	5	0,0006	0,05	-0,1	-168,07	0,000	0,000	0,0006	854,1	854	30,1	20
	I	4	0,0011	0,05	-0,081	810,00	0,000	0,000	0,0001	876,201	876,12	29,001	31
	I	3	0,0017	0,063	-0,22	-131,89	0,000	0,000	0,0017	876,32	876,1	29,32	31,1
	I	2	0,0022	0,063	-0,1	-46,43	0,000	0,000	0,0022	865,8	865,7	29,8	20,7
										ΔQ= (0,15< 0,5)			
				Somme	**0,05**	**4620,79**	**ΔQ=**	**0,0002**		**l/s**			

					Cas où le diamètre de calcul est le diamètre normalisé			Cas où le diamètre de calcul est le diamètre théorique Dthe	
MP	Tron-çons	Dthé (m)	DN (mm)	PS Supposées		PS Vérifiées		PS m.c.e	PS Vérifiées	
	1	0,123	150	16	20	16,1	20,12		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
I	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	De 10 à 40 m.c/e	26,1	35
	17	0,154	200	25,12	15	25,32	15,2		25,12	15
	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
II	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-çons	Dthé (m)	DN (mm)	PS Supposées		PS Vérifiées		PS m.c.e	PS Vérifiées	
	33	0,099	100	34,05	30	34,05	30		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
III	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	De 10 à 40 m.c.e	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
	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
IV	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
	Méthode de Hardy-Cross		**Méthode de MMR**	

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 (λi et Ri) pour tout le réseau. Deuxièmement, chercher l'élimination de la variation des débits (ΔQi), des itérations successives pour tout le réseau. Chaque maille étant calculé à part jusqu'à ce qu'on trouve la réparation 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 (λi et Ri), nous commençons à chercher l'élimination de la variation des débits (ΔQi) 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 :

$$Qi=Qi+\varepsilon i\ \Delta Qi+\varepsilon i\Delta Qi \quad (V.19)$$

Avec :

εi : 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 εi égale +1 pour l'anneau I et εi 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 :

$$Qi=Qi+\varepsilon i\ \Delta Qi \quad (V.20)$$

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 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 desservies 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'usager, 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'usager ou l'initiative de la commune (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 contrôle 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 compressé.
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 :

$$Sd=bt*ht \quad (VI.1)$$

Où

Sd : Surface de déblais en (m²)

bt : largeur de la tranchée en (m)

ht : hauteur de la tranchée en (m)

Enfin, son volume est calculé comme suit :

$$Vd=Sd*Ld$$

(VI.2)

Où

Vd : Volume de déblais (m^3) ;

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.

bt=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 :

ht=ep+hr

(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.

$V_s=b_t*es*L_t$

(VI.4)

Où :

V_s : Volume du lit de sable (m^3) ;

e_s : Epaisseur du lit de sable (= 0,1m) ;

L_t: Longueur de la tranchée (m).

➢ Volume de la tuyauterie

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

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

(VI.5)

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

D : Diamètre de la conduite (m^3).

Vc=Sc*Lt

(VI.6)

V_c : volume de la conduite (m^3)

➢ Déblais d'excavation

V_d=1m^3*0,5*0,8*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 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/mm²)	L (m)	b (m)	Vc (m³)	Vs (m³)	Vd (m³)	Vr (m³)
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 de1,2 m comme dimension intérieure. Pour calculer celle-ci, on utilise des formules suivantes :

Dosage : 350kg/m³

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/m³

Trapillon : 50x50 pour accès à l'intérieur.

➢ Maçonnerie pour les parois :

Mortier de ciment pour enduit intérieur : 300kg/m³ ; mortier de ciment pour maçonnerie : 250kg/m³ ; Béton de propreté : 200kg/m³ et mortier de ciment pour revêtement : 400kg/m³

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	m³	76,9764
3	Graviers	m³	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	m³	1715,2032
I.2	Pose de lit de sable	m³	214,4004
I.3.	Pose des conduites	Ml	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	m³	1484,53061
II.	Chambres de Vanne		
II.1	Fouilles	m³	124,2
II.2	Briques	pièces	129168
II.3	Sables	m³	76,9764
II.4	Graviers	m³	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. 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	m³	1715,203	3,6	6174,7	154,37	12	13
Pose de lit de sable	m³	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	m³	1484,531	2	2969,1	74,23	4	19
Maçonnerie de briques	m³	1302,221	24	31253,3	781,33	8	98
Coffrages	m²	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	m³	85,800	15	1287,0	32,18	2	16
Enduit intérieur	m³	7,230	3	21,7	0,54	1	1
Décoffrages	m²	60,000	1	60,0	1,50	1	2

VI.5 Planning de Gantt

No	Désignations des travaux	1Mois				2Mois				3Mois				4Mois			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Installation du chantier																
2	Déblais d'excavation																
3	Posé de lit de sable																
4	Pose des conduites																
5	Remblayage des tranchées																
6	Maçonnerie en briques																
7	Coffrages																
8	Ferraillages																
9	Fabrication et mise en place du béton																
10	Enduit intérieur																
11	Décoffrages																

Figure VI.5-1: Graphique de Gantt

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	m³	1715,203	10000	17152030
I.2	Pose de lit de sable	m³	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	m³	1484,53	4000	5938120
Sous total					93822366
II.	Chambres de Vanne				
II.1	Fouille	m³	124,2	10000	1242000
II.2	Briques	Pièces	129168	60	7750080
II.3	Sables	m³	76,9764	30000	2309292
II.4	Graviers	m³	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	m²	60	4000	240000
II.9	Ferraillages	Kg	659,348	4000	2637392
II.10	Décoffrages	m²	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^3/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 , 2ème 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 6/réseau de distribution, consulté le 15/6/2020

[21] (https://www.dipra.org, le20 mai 2020 à 8h)

[22] 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 **:** **1ère Itération pour la maille 1**

Tronçons	L (m)	Qi	DI (m)	Λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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		

1èren Itération pour la maille 2

Tronçon	L (m)	Qi	DI (m)	λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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		

1ère Itération pour la maille 3

Tronçons	L (m)	Qi	DI (m)	Λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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		

1ère Itération pour la maille 4

Tronçons	L (m)	Qi	DI (m)	Λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	Qi
2_47	540	0,002662	0,11	0,0367	101749,04	270,805	1	0,721	0,00023	0,00273
47_48	30	0,000753	0,11	0,0367	5652,724	4,254	-1	-0,003	0,00023	0,00052
48_49	25	0,001083	0,11	0,0367	4710,604	5,099	-1	-0,006	0,00023	0,00085
49_50	30	0,001373	0,11	0,0367	5652,724	7,758	-1	-0,011	0,00023	0,00114
50_51	30	0,001738	0,11	0,0367	5652,724	9,822	-1	-0,017	0,00023	0,00150
51_52	28	0,002114	0,11	0,0367	5275,876	11,151	-1	-0,024	0,00023	0,00188
52_53	26	0,002596	0,11	0,0367	4899,028	12,715	-1	-0,033	0,00023	0,00236
53_54	20	0,003064	0,11	0,0367	3768,483	11,545	-1	-0,035	0,00023	0,00283
54_55	200	0,003441	0,11	0,0367	37684,830	129,655	-1	-0,446	0,00023	0,00321
55_9	210	0,003745	0,11	0,0367	39569,071	148,166	-1	-0,555	0,00023	0,00351
9_8	37	0,001794	0,09	0,0393	33001,428	59,188	1	0,106	0,00023	0,00199
8_7	37	0,001030	0,09	0,0393	35751,547	36,806	1	0,038	0,00023	0,00122
7_6	36	0,000314	0,09	0,0393	19800,857	6,208	1	0,002	0,00023	0,00051
6_5	35	0,000595	0,09	0,0393	19250,833	11,445	-1	-0,007	0,00023	0,00040
5_4	34	0,001103	0,09	0,0393	18700,809	20,618	-1	-0,023	0,00023	0,00091
4_3	40	0,001668	0,09	0,0393	22000,952	36,687	-1	-0,061	0,00023	0,00147
3_2	6	0,002154	0,09	0,0393	3300,143	7,107	-1	-0,015	0,00023	0,00196
						789,027		-0,369		

Deuxième itération pour la maille 1

Tronçons	L (m)	Qi	DI (m)	Λ	Ri	ai	Ei	bi	ΔQi	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)	Λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	ai		bi	ΔQi	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)	λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	Qi+εiΔQi
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)	λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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 (m)	Qi	DI (m)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi+εiΔQi
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)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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

Tronç Ons	L (m)	Qi	DI (m)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	Qi+εiΔQi
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)	λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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)	Λ	Ri	ai	εi	bi	ΔQi	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		

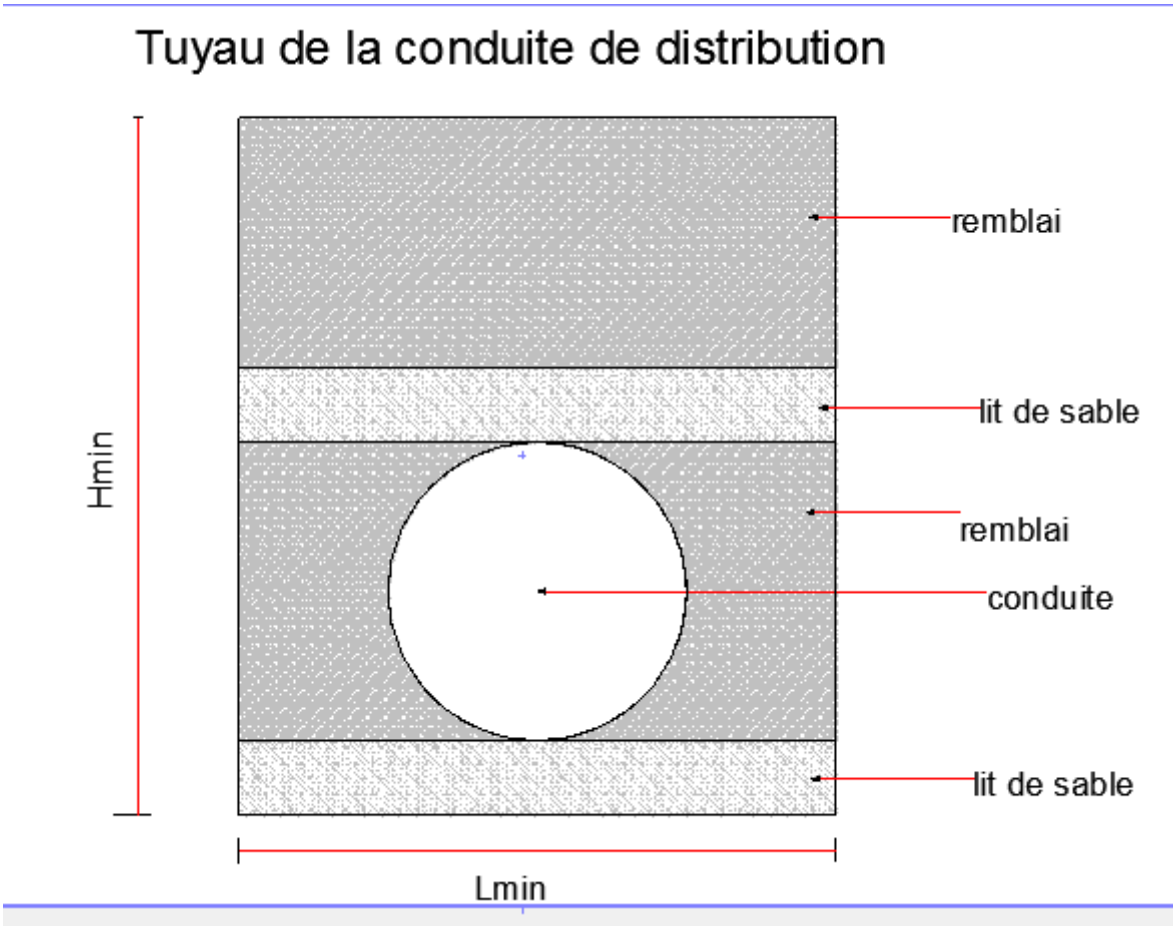
Sixième itération pour la maille 4

Tronçons	L(m)	Qi	DI(m)	Λ	Ri	Ai	εi	bi	ΔQi	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

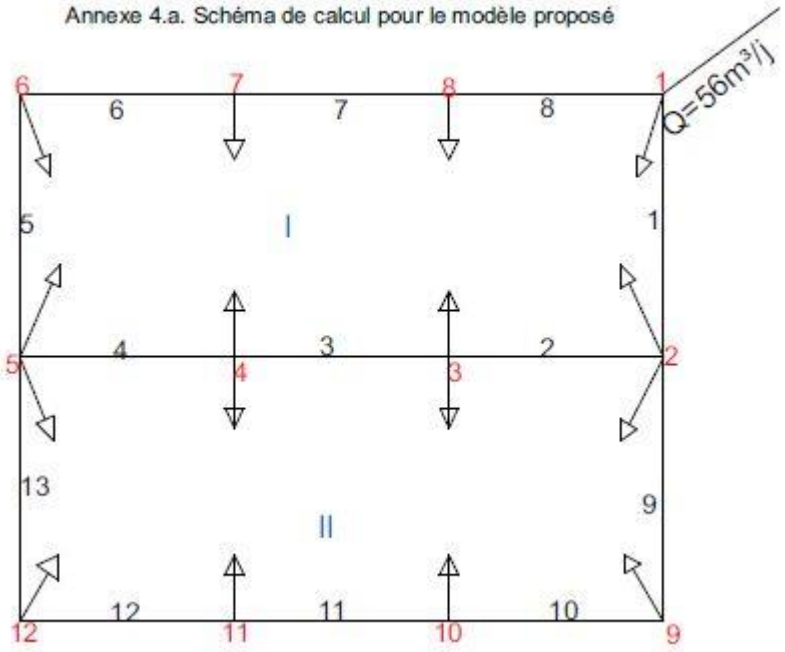
Annexe3. Conduite de distribution



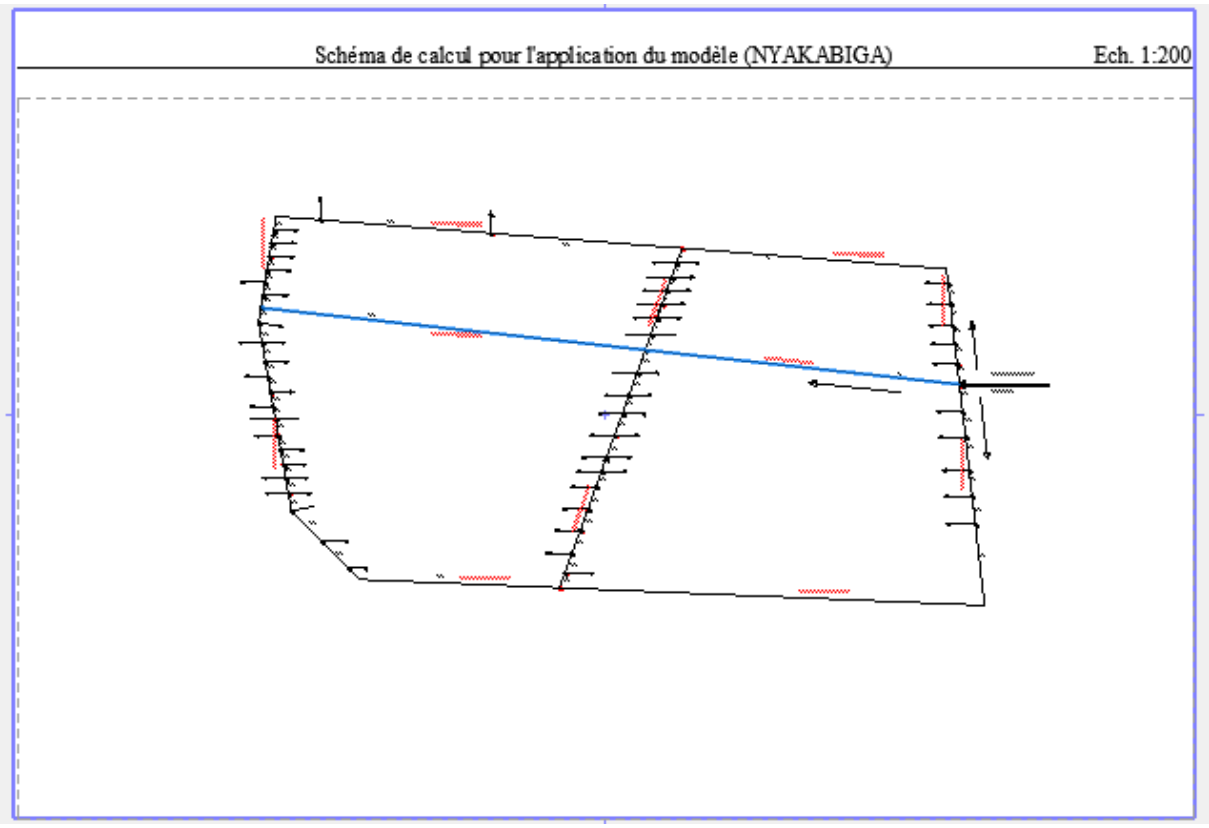
Annexe 4. Vanne de sectionnement

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)

