

Higher National School of Hydraulic

The Library

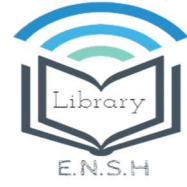
Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Elaboration d'une programme de dinulation numérique de fonctionnement de réservoir d'équilibre et de calcul de réseaux ranifs Mixte de distribution d'eau.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0027-10

APA Citation (توثيق APA):

Dahmani, Saad (2010). Elaboration d'une programme de dinulation numérique de fonctionnement de réservoir d'équilibre et de calcul de réseaux ranifs Mixte de distribution d'eau[Mem Ing, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مباحثات، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرة المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
-ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN
HYDRAULIQUE

Option : Conception des Systèmes d'Alimentation en Eau Potable.

THEME :

ELABORATION D'UN PROGRAMME DE SIMULATION
NUMERIQUE DE FONCTIONNEMENT DE RESERVOIRS
D'EQUILIBRE ET DE CALCUL DE RESEAU MIXTE DE
DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

Présenté par :

M^r: DAHMANI SAAD

Promoteur :

M^r: A. OULARBI

Devant le jury composé de :

Président: M^r B.SALAH

Examineurs:

M^r A.HACHEMI

M^r R.KERID

M^r D.KOLIAI

Octobre 2010

Remerciement

A I' issu de cette étude, Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mes parents pour leur patience et leurs encouragements qui m'ont été très utiles tout au long de mes études.

Ma reconnaissance va plus particulièrement à :

Mon promoteur Dr Azzedine OULARBI (maître de conférences), pour tous ses conseils et orientations ainsi que pour sa disponibilité qui ont été déterminants pour l'élaboration de ce mémoire.

De l'Arabie Saoudite, Mr Turki Al-Assiri (Microsoft Most Valuable Professional (MVP)) qui ma aider d'apprendre le langage de programmation VisualBasic.Net.

Enfin, j'exprime mes vifs remerciements a tous ceux qui ont contribue de près ou de loin a l'élaboration de ce travail.

Mr. Saad DAHMANI

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et du respect:

- A mes parents ;*
 - A mon frère et mes sœurs ;*
 - A Lina, Abdo-Rahman, Wail et Rachia*
 - A toute la famille ;*
 - A mes amis ;*
 - A tous les élèves ingénieurs de ma promotion.*
-

Mr. Saad DAHMANI

الملخص:

يهدف هذا العمل إلى تطوير برنامج للمحاكاة الرقمية لعمل شبكات توزيع المياه، هذه الشبكات قد تكون محتوية على خزانات التوازن معتمدين في ذلك على نظرية المخططات لتطبيق طريقة المصفوفات المباشرة وكتابة هذا البرنامج بلغة « VisualBasic.Net » .

مقارنة نتائج المحاكاة الرقمية المتحصل عليها مع نتائج كل من البرنامجين «Epanet» و «WaterCAD» أظهرت تقارباً جيداً وذلك تحقيقاً للقوانين المتكاملة في جريان المياه داخل الشبكة مما يعطي مصداقية للبرنامج على مستوى الدقة وسرعة إنجاز العمليات الحسابية.

نستطيع تعميم تطبيق البرنامج لتشخيص عمل شبكات توزيع المياه ونأخذ كمثال على ذلك شبكة توزيع المياه الصالحة للشرب بمدينة عين البنيان الواقعة على بعد كيلومترين غرب الجزائر العاصمة. من خلال هذا التشخيص حصلنا على عدة نتائج مركزية في ذلك على خزانات التوازن التي تعتبر منضمة لضغط وتدفق المياه داخل شبكة توزيع المياه الصالحة للشرب.

RESUME :

Ce travail porte sur l'élaboration d'un code de calcul en vue de la simulation numérique du fonctionnement de réseaux de distribution d'eau, dotés de réservoirs d'équilibre. Nous nous sommes inspirés de l'approche mathématique de la théorie des graphes pour mettre au point la méthode matricielle directe et écrire notre propre code sous VB.NET(VisualBasic.Net).

La confrontation avec les résultats de simulation numérique sous Epanet et Water CAD nous a permis de noter une très bonne concordance, aussi la satisfaction des lois gouvernant l'écoulement dans le réseau, ce qui garantit la validité, de notre code de calcul, au niveau de la précision et le temps d'exécution.

Nous avons ainsi pu généraliser son application pour une étude de diagnostic du réseau de distribution d'eau en prenant celle d'Ain Benian, ville située à quelques kilomètres à l'ouest d'Alger.

A travers le diagnostic ainsi effectué, plusieurs constats ont été établis. Une attention toute particulière est accordée aux réservoirs d'équilibre autant qu'organe régulateur de la pression et de débit.

ABSTRACT:

This work focuses on developing a computer code for numerical simulation of the operation of networks for water distribution, with reservoirs balance. We sum based on the mathematical theory of graphs to develop the direct matrix method and write our own code in VB.NET (VisualBasic.Net).

The comparison with results of numerical simulation in WaterCAD and EPANET allowed us to note a very good agreement, also the satisfaction of loops and nodes laws, which guarantee the validity of our calculation code, at execution time and accuracy.

We were able to generalize its application for a diagnostic study of the distribution of water; we were taken the water distribution network of Ain Benian, a town a few kilometers west of Algiers.

Through diagnosis and made several observations have been established. Particular attention is given to balance all body tanks pressure control and flow.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Le réseau d'alimentation en eau potable et la théorie des graphes

I.1-Introduction :	1
I.2- L'Alimentation en Eau Potable (AEP) :	1
I.2.1- Fonctions d'Alimentation en Eau Potable :	1
I.2.2-La distribution et le réseau d'alimentation en eau potable :	2
I.2.3-Structure du réseau d'alimentation en eau potable :	2
I.2.4-Topologie du réseau d'alimentation en eau potable:	3
I.2.5- Composantes de réseau hydraulique :	4
I.3-La modélisation du réseau d'Alimentation en eau potable :	7
I.3.1- Modèle pour le dimensionnement du réseau :	7
I.3.2- Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic :	7
I.3.3-Modèle pour la gestion du réseau :	7
I.3.4-Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau :	8
I.4-La théorie des graphes :	8
I.4.1-Historique de la théorie des graphes :	8
I.4.2-Définition d'un graphe simple :	9
I.4.3-Définition d'une matrice d'incidence :	9
I.4.4-Matrice des cycles (Mailles) :	11
I.4.5-Arbre couvrant :	12
I.5-Conclusion:	13

Chapitre II :Calcul de distribution des débits et des charges dans un réseau d'alimentation en eau potable

II.1- Introduction	14
II.2- Une brève historique sur les méthodes de résolution:	14

II.3-La méthode matricielle directe des débits :	16
II.3.1-La loi des nœuds :.....	16
II.3.2- La loi des mailles :.....	17
II.3.3-Description de la méthode :	18
II.3.4-Déroulement de la méthode:	20
II.3.5-Exemple d'élaboration de système matriciel :.....	23
II.3.6-L'Organigramme de la méthode de calcul de distribution des débits:.....	31
II.3.7-Langage de programmation utilisé :.....	33
II.4.-Adaptation de la méthode pour les réseaux contenant plusieurs réservoirs d'équilibre :	33
II.5-Calcul des charges et pressions Nodales :.....	37
II.5.1-Une méthode matricielle de calcul des charges :.....	37
II.5.2-Calcul des pressions :.....	43
II.5.3-L'organigramme de la méthode de calcul des charges et des pressions nodales :.....	44
II.6-Exemple de comparaison.....	46
II.6.1-Les données de l'exemple:.....	47
II.6.2- Résultats et interprétation:.....	49
II.6.3- Constatations :.....	57
II.7-Stabilité et convergence de la méthode matricielle directe :.....	58
II.8-Conclusion :	59

Chapitre III : Influence de diamètre de la conduite d'apport sur le remplissage de réservoir d'équilibre

III.1-Introduction :.....	61
III.2-Influence de diamètre de la conduite d'adduction sur les débits de remplissage du réservoir d'équilibre:.....	62
III.2.1-Cas d'absence d'un clapet anti-retour dans la conduite d'apport :	67
III.2.2-Cas d'existence d'un clapet anti-retour placé dans la conduite d'adduction de réservoir d'équilibre :.....	73
III.2.3-Résultats et interprétation:	74
III.3-Volume cumulé dans le réservoir :	75
III.3.1-Résultats et interprétation :	76
III.4-Conclusion	78

Chapitre IV : Etude de diagnostic du réseau de distribution de la ville d'Ain Bénian

IV.1- Introduction :	79
IV.2- Présentation de site de la ville d'Ain-Bénian :	79
IV.2 .1- La Géologie :	80
IV.2 .2-La Sismicité :	80
IV.2 .3- La Climatologie:	81
IV.2.4-L' Hydrogéologie :	81
IV.3- L'Alimentation en eau potable de la ville :	82
IV.3.1- Les ressources en eau et capacité de stockage :	82
IV.3.2- Consommation moyenne journalière :	82
IV.3.3- Consommation maximale journalière:	86
IV.3.4- Calcul des débits nodaux :	93
IV.3.5- Répartition des débits, vitesses, pertes de charge pendant l'heure de pointe de la journée:	98
IV.3.6- Interprétation des résultats de calcul des débits, vitesses et pertes de charge des conduites:	102
IV.3.7- Répartition de charges et de pressions pendant l'heure de pointe de la journée :	103
IV.3.7- Interprétation des résultats de calcul des charges et des pressions nodales:	106
IV.4- Influence de diamètre de la conduite d'adduction sur les débits écoulant vers le réservoir d'équilibre :	107
IV.4.1- Résultats de simulation :	108
IV.4.2- Volume de remplissage de réservoir d'équilibre :	114
IV.5-Conclusion :	116

Conclusion générale

Bibliographie

Liste des tableaux

Chapitre II : Calcul de distribution des débits et des charges dans un réseau d'alimentation en eau potable

Tableau N° 1 : Les débits et les élévations des nœuds.	47
Tableau N° 2: Caractéristiques de réservoir.	47
Tableau N° 3: Caractéristiques des conduites.	48
Tableau N° 4: Comparaison des résultats de distribution des débits et des vitesses pour les deux logiciels.	49
Tableau N° 5: Coefficients de frottement (λ) et les pertes de charge calculées par notre programme et le logiciel Epanet.	50
Tableau N° 6: La somme algébrique des pertes de charge dans les mailles.	50
Tableau N° 7: Vérification de loi des nœuds pour notre programme.	51
Tableau N° 8: Comparaison des charges et les pressions nodales calculées par notre programme avec celles calculées par le logiciel Epanet.	55

Chapitre III : Influence de diamètre de la conduite d'apport sur le volume de réservoir d'équilibre

Tableau N° 1: Caractéristiques des conduites de réseau de la figure N° 3.	65
Tableau N° 2: caractéristiques des réservoirs.	65
Tableau N° 3: Les débits nodaux en (l/s) et coefficients de variation horaire de la consommation.	65
Tableau N° 4: Les débits (Q8) en (l/s) écoulant de et vers le réservoir R2 durant la journée pour différents diamètre de la conduite d'adduction de R2.	68
Tableau N° 5 : Volumes cumulés en (m3) dans le réservoir durant la journée pour différents diamètre de la conduite d'adduction :	71
Tableau N° 6: Les débits (Q8) en (l/s) écoulant vers le réservoir R2 durant la journée pour différents diamètre de la conduite d'adduction de R2.	73
Tableau N° 7: Volumes cumulés en (m3) pendant la journée pour différents diamètres de la conduite d'adduction.	75
Tableau N° 8: Volume totale flue vers le réservoir R2 pour chaque diamètre se la conduite d'apport.	77

Chapitre IV : Etude de diagnostic du réseau de distribution de la ville d'Ain Bénian

Tableau N° 1: Variation de température moyenne mensuelle de la ville d'Ain Bénian.....	81
Tableau N° 2: La précipitation moyenne mensuelle en 2008.....	81
Tableau N° 3: Vitesse moyenne mensuelle de vent en 2008.....	81
Tableau N° 4: Les réservoirs d'alimentation de la ville.....	82
Tableau N° 5: Besoins domestique estimés.....	84
Tableau N° 6: Les besoins scolaires estimés.....	84
Tableau N° 7: Les besoins administratifs estimés.....	84
Tableau N° 8: Les besoins sanitaires estimés.....	84
Tableau N° 9: Les besoins socioculturels.....	85
Tableau N° 10: L'estimation des besoins touristiques.....	85
Tableau N° 11: les besoins commerciaux estimés.....	85
Tableau N° 12: Les besoins d'arrosage estimés.....	85
Tableau N° 13: Les besoins industriels.....	86
Tableau N° 14: Récapitulation des besoins en eau de la ville.....	86
Tableau N° 15: Les débits maximaux journaliers.....	87
Tableau N° 16: β max en fonction du nombre d'habitants.....	89
Tableau N° 17: Variation horaire de consommation en fonction de nombre d'habitants.....	89
Tableau N° 18: Répartition des débits horaires.....	90
Tableau N° 19: Valeurs de rugosité des conduites pour différents matériaux.....	95
Tableau N° 20: Rugosité pris pour différents matériaux des conduites.....	95
Tableau N° 21: Les débits spécifiques horaires.....	96
Tableau N° 22: Répartition des débits concentrés.....	97
Tableau N°23: Cotes radiers des réservoirs.....	97
Tableau N° 24 : Résultats de distribution des débits et des vitesses.....	98
Tableau N° 25: Résultats de calcul des pertes de charge des deux programmes.....	100
Tableau N°26: Résultats de calcul des charges et des pressions nodales de l'heur de pointe par les deux programmes.....	104
Tableau N°27: Débits et vitesses d'écoulement pour différents diamètres de la conduite d'adduction P-10.....	108
Tableau N°28 : Volumes cumulés dans le réservoir R3 durant la journée.....	114
Tableau N°29 : Volume total cumulé dans le réservoir R3 pour différents diamètres de la conduite P-10 d'adduction.....	114

Liste des figures

Chapitre I : Le réseau d'alimentation en eau potable et la théorie des graphes

Figure N° 1:Schéma explicatif d'un réseau ramifié.....	3
Figure N° 2:Schéma explicatif d'un réseau maillé.....	4
Figure N° 3:Les sept ponts de Königsberg.....	8
Figure N° 4:Graphe non orienté.....	9
Figure N° 5:Graphe orienté.....	9
Figure N° 6: Schéma d'un graphe (Réseau) orienté.....	10
Figure N° 7:La matrice d'incidence.....	10
Figure N° 8:Schéma d'un graphe orienté.....	11
Figure N° 9:Matrices des mailles.....	12
Figure N° 10:Schéma représente l'arbre couvrant d'un graphe.....	12

Chapitre II : Calcul de distribution des débits et des charges dans un réseau d'alimentation en eau potable

Figure N° 1: Un exemple d'un réseau mixte.....	16
Figure N° 2 : Schéma d'un réseau.....	18
Figure N° 3 : Système matriciel correspond à la méthode directe des débits.....	19
Figure N° 4 : Schéma d'un réseau mixte à deux mailles.....	23
Figure N° 5 : La matrice d'incidence des nœuds de réseau.....	25
Figure N° 6: Matrice d'incidence des mailles de réseau.....	27
Figure N° 7: L'organigramme de méthode matricielle direct de calcul des débits.....	32
Figure N° 8: Schéma d'un réseau à trois réservoirs.....	34
Figure N° 9: Schéma d'un réseau à deux mailles.....	37
Figure N° 10: Arbres couvrants de réseau de figure N°9.....	38
Figure N° 11: Schéma explicatif d'un réseau.....	39
Figure N° 12: Arbre couvrant de graphe.....	39
Figure N° 13:La matrice d'incidence de graphe (réseau).....	40
Figure N° 14:La matrice d'incidence transposée de graphe (réseau).....	40
Figure N° 15:le vecteur d'incidence $\{A_R\}$ pour le nœud de référence R.....	40

Figure N°16 :L'organigramme de la méthode de calcul des charges et pressions aux nœuds.....	45
Figure N°17 :Schéma d'un réseau mixte.....	46
Figure N° 18 : Comparaison des résultats des débits trouvés par notre programme et le logiciel Epanet.....	52
Figure N° 19 :Comparaison des résultats de calcul des vitesses par les deux programmes.....	52
Figure N°20 :Comparaison des résultats de calcul de coefficient de frottement (λ) par notre programme et Epanet.....	53
Figure N°21 :Comparaison des résultats de calcul de perte de charge par les deux programmes.....	53
Figure N°22 :Les différences entre les résultats de calcul des débits, vitesses, coefficients de frottement et pertes de charge entre notre programme et Epanet.....	53
Figure N°23 :Comparaison des résultats de calcul des charges de notre programme et Epanet.....	56
Figure N° 24 : L'arbre couvrant (réseau ramifié) utilisé par notre programme pour le calcul des charges nodales.	57

Chapitre III : Influence de diamètre de la conduite d'apport sur le remplissage de réservoir d'équilibre

Figure N° 1 : Equipements d'un réservoir d'équilibre (GODART, 2001).	61
Figure N° 2 : Schéma d'une adduction gravitaire en charge.....	62
Figure N° 3 : Schéma de réseau.....	64
Figure N° 4 :Courbes de variation de débits flués vers le réservoir R2 durant la journée pour différent diamètres de la conduite d'adduction.....	69
Figure N°5 : Courbes de variation de volume cumulé dans le réservoir R ₂ durant la journée pour différent diamètres de la conduite d'adduction.....	72
Figure N° 6 :Variation de débit flue vers le réservoir R2 durant la journée pour différents diamètres d'adduction (Cas d'existence d'un clapet anti-retour)	74
Figure N° 7 :Variation des volumes cumulés dans le réservoir R ₂ durant la journée pour différents diamètres de la conduite d'apport.	76
Figure N° 8 :Variation de volume cumulé dans le réservoir R ₂ en fonction de diamètre choisi de la conduite d'adduction.	77

Chapitre IV : Etude de diagnostic du réseau de distribution de la ville d'Ain Bénian

Figure N° 1: Situation administrative de la ville d'Ain-Bénian.	79
Figure N° 2: Le graphique de consommation.	92
Figure N° 3: La courbe intégrale de consommation.....	92
Figure N° 4: Les parties de réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian.	93
Figure N°5: comparaison des résultats des débits trouvés par notre programme et WaterCAD.....	102
Figure N° 6: Comparaison des résultats des charges trouvés par notre programme et WaterCAD.....	106
Figure N° 7: Variation de débit écoulant vers le réservoir R3 pour un diamètre φ 100mm du conduit d'adduction P-10.	109
Figure N° 8: Variation de débit écoulant vers le réservoir R3 pour un diamètre φ 150mm du conduit d'adduction P-10.	110
Figure N° 9 : Variation de débit écoulant vers le réservoir R ₃ pour un diamètre φ 200mm du conduit d'adduction P-10.	110
Figure N° 10 : Variation de débit écoulant vers le réservoir R ₃ pour un diamètre de φ 250 mm de la conduite d'adduction P-10.....	111
Figure N° 11 : Variation de débit écoulant vers le réservoir R ₃ pour un diamètre de φ 300 mm de la conduite d'adduction P-10.....	111
Figure N° 12 : Variation de débit écoulant vers le réservoir R ₃ pour un diamètre de φ 400 mm de la conduite d'adduction P-10.....	112
Figure N° 13 : Variation de vitesse d'écoulement durant la journée pour différents diamètres de la conduite P-10 d'adduction de réservoir d'équilibre R3.	112
Figure N° 14 : Variation de débit de consommation pendant la journée.	113
Figure N °15: Variation des volumes cumulés dans le réservoir R ₃ durant la journée pour différents diamètres de la conduite P-10.	115
Figure N°16 : Variation de volume cumulé dans le réservoir R ₃ en fonction de diamètre de la conduite d'adduction P-10.....	115
Figure N°17: La première partie de réseau de distribution d'eau potable de la ville d'Ain Bénian (W.Alger)	115

Liste des planches

Planche N°1 : Plan de masse de la ville d'Ain Bénian (W.Alger) avec le réseau de distribution d'eau potable.

Liste des principaux symboles

- C = nombre de conduites.
- C : Coefficient de Hazen-Williams.
- D : Diamètre d'une conduite.
- g : accélération de la pesanteur.
- H : La charge totale ou la cote piézométrique.
- L : La longueur de conduite.
- P : La pression au sol.
- M : nombre de mailles (boucles fermées) dans un réseau.
- N = nombre de nœuds (points de jonction).
- R : la résistance d'un tronçon.
- h : La perte de charge.
- i : indice de numérotation.
- j : indice de numérotation.
- q : indique la demande nodale ou le débit soutiré par un nœud.
- Q : le débit transporté par une conduite.
- V : la vitesse
- $[A]$: Notation de la matrice.
- $[A]^T$: indique la matrice transposée de la matrice $[A]$.
- $[A]^{-1}$: indique la matrice inverse de la matrice $[A]$.
- a_{ij} : indique l'élément de ligne (i) et de colonne (j) d'une matrice
- m.c.e : mètre colonne d'eau.
- λ : coefficient de frottement (sans dimension)
- ξ : l'erreur maximale permis durant les itérations.
- ε : désigne le signe de débit.
- K : indique l'étape ou l'itération dans une opération itérative.
- Δ : indique la différence.
- SI : Système international.
- SA : Système américain.

Introduction générale

Introduction générale

Le développement urbanistique et social actuel des agglomérations, influent sur les différents types de besoins humains, telles que les besoins en nourriture, en énergie, en communication (Téléphone, Internet)...etc., et particulièrement en eau.

La structure des réseaux de distribution, compte tenu de cette évolution des besoins en eau potable, devient énorme et complexe par conséquent difficile, voir même impossible d'étudier.

L'ingénieur hydraulicien a pour rôle à surmonter cette difficulté en adoptant de nouvelle démarche dans la conception et la gestion de ce type de réseau, en faisant appel à l'outil informatique et aux nouveaux concepts de l'analyse fonctionnelle pour élaborer un moyen de simulation du fonctionnement du réseau tout en visualisant le comportement des différents ouvrages et organes de contrôle.

Par ailleurs bien que les réservoirs d'équilibre, autant qu'ouvrages annexes, représentent un moyen adéquat pour remédier aux problèmes de basse pression pour les zones extrêmes du réseau, il n'en demeure pas moins leurs bon fonctionnement constitue une problématique.

En effet pourraient-ils assurer une pression convenable pour la zone desservie tout en satisfaisant la condition de leurs remplissages à partir de la zone tampon?

Pour répondre à une telle question on doit tenir compte des paramètres fondamentaux conditionnant le bon fonctionnement du réservoir d'équilibre qui sont, a priori, sa cote géodésique et sa capacité d'emmagasinement optimale.

Les objectifs qu'on s'était fixés dans ce cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'étude se résument comme suit :

1. Elaborer un code de calcul permettant de simuler le fonctionnement des réseaux maillés et ramifiés qu'on pourrait qualifier de réseaux hybrides en utilisant une méthode matricielle mise en œuvre à partir des principes fondamentaux de l'hydraulique, équations de conservation de la masse et les équations d'énergie et des concepts de la théorie des graphes.
2. Après validation de l'applicabilité de notre outil, par une analyse comparative, on l'adaptera pour simuler théoriquement le fonctionnement d'un réseau doté d'un ou plusieurs réservoirs d'équilibre, cette simulation sera axée sur l'étude du comportement des réservoirs d'équilibre ;
3. Il s'ensuit un diagnostic du réseau existant de la ville d'Ain Bénian de Willaya d'Alger, en axant notre sur l'étude du comportement de l'un de ces réservoirs transformé en l'occasion en réservoir d'équilibre.

Chapitre I :

Le réseau d'alimentation en eau potable et la théorie des graphes.

I.1-Introduction :

Le développement urbanistique actuel influe sur l'importance des réseaux hydrauliques aussi bien sur le plan de la dimension que dans leurs configurations. Devenus suffisamment complexe au point où leur calcul manuelle est devenu parfois impossible à réaliser.

Pour répondre à ce souci le support informatique, sous tendu par des algorithmes assez puissants, représente l'unique palliatif. Il permet de simuler en temps réel le fonctionnement de tels réseaux, tout en visualisant le comportement des différents ouvrages et organes annexes.

En règle générale, la modélisation numérique d'un réseau hydraulique nécessite en plus des principes hydrauliques, l'exploitation de méthodes et théories mathématiques telles que les méthodes matricielles, conjuguées à la théorie des graphes dont le principe de base sera décrit dans la suite de notre travail.

Avant de passer en revue l'explication de la méthode de résolution itérative basée sur les équations de conservation de la masse appliquées aux nœuds et des équations de l'énergie appliquées aux mailles pour l'approximation de la distribution des débits et des charges, quelques définitions, notions et terminologies relatives au réseau de distribution d'eau potable, les modèles de traitement de ce réseau et la théorie des graphes s'imposent.

I.2- L'Alimentation en Eau Potable (AEP) :

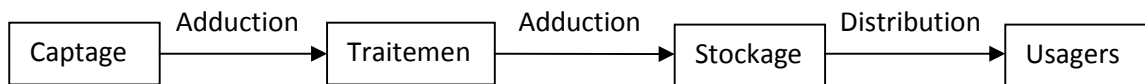
L'Alimentation en Eau Potable comprend l'ensemble des opérations d'approvisionnement de la population en eau potable, depuis le prélèvement du milieu naturel jusqu'à l'utilisateur. Elle cherche à répondre à deux objectifs:

- Production d'une eau de qualité, à partir d'une eau brute qui nécessite généralement un traitement.
- La distribution de l'eau produite, à travers un ensemble d'installations et de réseaux afin de répondre à la demande des consommateurs de manière satisfaisante.

I.2.1- Fonctions d'Alimentation en Eau Potable :

Nous distinguons plusieurs étapes dans le processus de production et de acheminement de l'eau. La première étape est l'étape de Captage, qui consiste à recueillir les eaux souterraines ou de surfaces de la source. Vient ensuite l'étape d'Adduction qui permet de transférer l'eau de la zone de captage jusqu'à proximité de la zone de distribution. Avant d'être distribuée l'eau doit subir des

traitements ce qui permet de transformer l'eau brute en eau potable. L'eau est ensuite acheminée vers les zones de stockage afin de réguler le débit dans le réseau et prévenir une pénurie d'eau en cas de défaillance ou forte demande. L'eau est distribuée à travers le réseau d'Alimentation d'Eau Potable aux usagers (NAFI, 2006).



I.2.2-La distribution et le réseau d'alimentation en eau potable :

Nous distinguons plusieurs types d'abonnés en fonction de la raison sociale : domestique, commerce, industriel, administration.

La distribution de l'eau s'effectue à l'aide de réseaux enterrés constitués de conduites et de canalisations sous pression qui comprennent des:

- conduites et pièces spéciales.
- appareils de robinetterie : vannes, clapets.
- appareils de mesure : compteurs, débitmètres.
- appareils de fontainerie : bouches d'incendie

Les zones de stockage comprennent généralement des réservoirs à grande capacité, la liaison entre les abonnés est assurée à l'aide des conduites. La jonction entre conduites constitue des nœuds. L'écoulement de l'eau s'accompagne d'une perte d'énergie en raison des frottements avec les parois internes des conduites et des organes hydrauliques que comporte le réseau. Cette dissipation d'énergie est traduite par le phénomène de perte de charge.

I.2.3-Structure du réseau d'alimentation en eau potable :

La structure du réseau d'alimentation en eau potable dépend de la localisation des abonnés, de leur importance et du niveau de demande à assurer. La structure traduit les dimensions des conduites, la capacité des réservoirs, le nombre de pompes et la puissance fournie. La structure du réseau tient compte d'éléments géographiques tels que: la dispersion des abonnés, la présence d'obstacles naturels, la présence de routes, chemin de fer, jardins, d'autres réseaux enterrés (NAFI, 2006).

Tous ces éléments vont permettre au service de l'eau de définir des caractéristiques propres à chaque composant du réseau afin d'assurer son bon fonctionnement.

I.2.4-Topologie du réseau d'alimentation en eau potable:

La topologie du réseau est la représentation schématique des différents nœuds d'un réseau et de leurs liaisons physiques (conduites, pompes, vannes). La disposition des nœuds et des conduites dépend de la localisation des abonnés, présence de routes, obstacles naturels, présence d'autres réseaux. En termes de topologie, nous distinguons:

I.2.4.1-Les réseaux ramifiés :

Ce type de réseau se présente selon une structure arborescente à partir du nœud à charge fixée assurant la mise sous pression.

Cette configuration est justifiée par la dispersion des abonnés. Cependant, ce type de topologie réduit la fiabilité du réseau dans le cas d'une rupture d'une conduite, privant en eau les utilisateurs en aval du point de rupture. Elle caractérise généralement les réseaux de distribution d'eau en milieu rural.

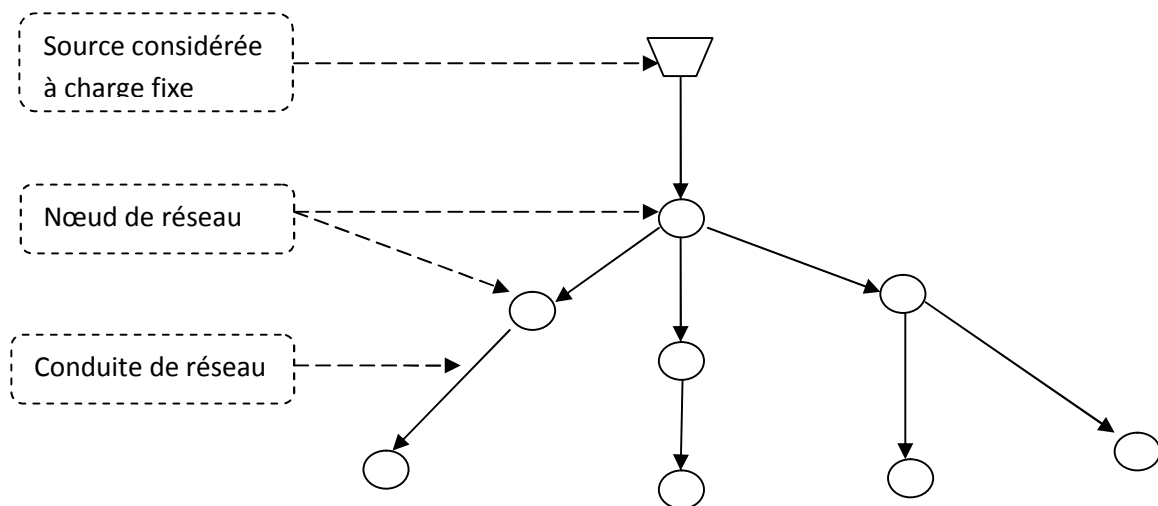


Figure N° 1:Schéma explicatif d'un réseau ramifié.

I.2.4.2- Les réseaux maillés :

Comportant un certain nombre d'antennes en boucle et pouvant assurer la distribution en eau, cette configuration caractérise les réseaux de distribution d'eau en milieu urbain où il existe une concentration des abonnés. La présence de boucle ou de maille réduit les risques de coupure en cas de rupture de conduites, car assurant une redondance dans l'acheminement de l'eau et limitant l'impact d'une rupture sur la desserte en eau.

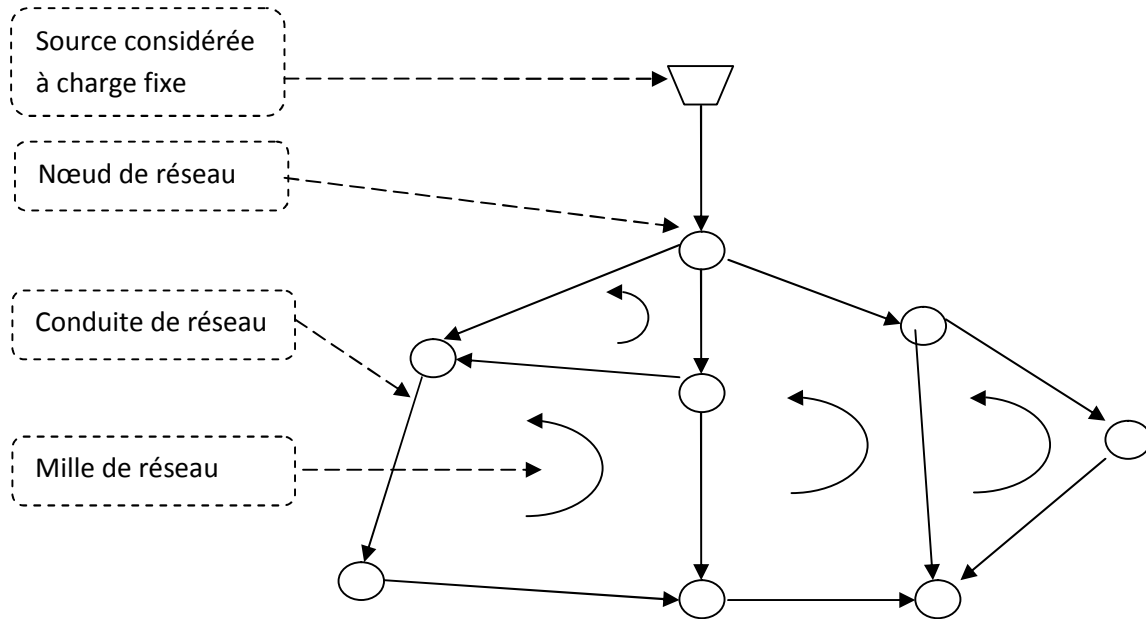


Figure N° 2:Schéma explicatif d'un réseau maillé.

Dans la réalité les deux configurations coexistent dans un même réseau. En milieu rurale, le réseau sera formé par plus de ramifications, alors qu'en milieu urbain on constatera plus de mailles.

I.2.5- Composantes de réseau hydraulique :

On se limite par quelques composantes principales trouvées couramment dans les réseaux d'AEP.

I.2.5.1- Les conduites :

Les conduites permettent l'acheminement l'eau d'un point à un autre point du réseau. Une conduite est un segment de tuyau ou canalisation délimitée par deux points de consommation d'eau appelés nœuds. Chaque conduite est caractérisée par :

- Un nœud initial et un nœud final.
- Une longueur donnée L.
- Un diamètre D.
- La rugosité () traduisant la perte de charge.
- Un état : ouvert, fermé

L'écoulement de l'eau s'effectue du nœud disposant de la cote piézométrique la plus élevée vers le nœud dont la cote piézométrique est la plus faible. La rugosité traduit la résistance de la conduite à l'écoulement de l'eau. Les

parois internes des conduites au contact de l'eau créent un phénomène de friction qui s'accompagne de perte d'énergie due au frottement créant ainsi une perte de charge linéaire.

Dans le cadre de notre travail, pour le calcul de la perte de charge dans les conduites, on utilise la formule de « Darcy-Weisbach ».

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gA^3} \dots\dots\dots(I.1)$$

Telle que :

- h : La perte de charge en (m.c.e).
- L : la longueur de la conduite.
- Q : le débit véhiculé par la conduite en (m³/s).
- D : Diamètre de la conduite en (m).
- λ : coefficient de frottement (sans dimension).

Pour Le calcul de coefficient de frottement (λ), on la formule de « Colebrook »:

- La formule de « Colebrook » qu'est la plus précise et la plus utilisée en Europe, elle est valable quelle que soit la rugosité :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \dots\dots\dots(I.2)$$

Avec :

Re : Le nombre de Reynolds (sans unité).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots(I.3)$$

Telle que :

- V : la vitesse d'écoulement en (m/s).
- D : le diamètre de la conduite en (m).
- ν : la viscosité cinématique (m²/s).

On note que le calcul itératif coefficient de frottement linéaire (λ) est effectué en adoptant comme critère d'arrêt :

$$|\lambda^{(i+1)} - \lambda^{(i)}| = \xi \dots\dots\dots(I.4)$$

- $\lambda^{(i)}$: la valeur de coefficient de frottement calculée par l'itération (i).
- $\lambda^{(i+1)}$: valeur de coefficient de frottement calculée par l'itération (i+1).
- ξ : l'erreur minimale acceptable de calcul de coefficient de frottement (λ).
- i : numéro d'itération.

I. 2.5.2- Les nœuds :

Les nœuds représentent des points de jonction entre les conduites. Ils correspondent à des points d'entrée ou de sortie d'eau. Il existe deux catégories de nœuds :

– Les nœuds à débit fixe

Ces nœuds se caractérisent par une cote au sol connue et un débit connu (demande), l'inconnue est la pression au nœud qui doit être calculée. Ils correspondent à des points de consommation dans le réseau. Ces nœuds peuvent décrire la consommation d'un ou de plusieurs abonnés de même type. Nous distinguons entre les abonnés selon le type de consommation : domestique, industrielle, administration. La consommation au nœud exprimée par la demande peut être constante ou variable. Selon la nature des abonnés, la demande est décrite par une courbe de consommation.

– Les nœuds à charge fixe

Ce sont des nœuds où la cote piézométrique de l'eau est connue. Il peut s'agir d'un réservoir dont le niveau d'eau varie en fonction du temps au sol, d'un poteau à incendie ou d'une bêche de pompage dont le niveau reste inchangé. Pour ces nœuds le débit doit être calculé.

I. 2.5.3-Les pompes :

Une pompe est un dispositif permettant de fournir de l'énergie au liquide. Le fonctionnement de la pompe est relié généralement à un réservoir. Le démarrage et l'arrêt de la pompe sont fonction du niveau du réservoir ou de plages horaires spécifiques. Une pompe peut être caractérisée soit par une puissance constante (énergie), fournie à l'eau au cours du temps indépendamment du débit et de la hauteur de refoulement, ou par une courbe caractéristique qui décrit la relation entre la hauteur de refoulement et le débit fournie à l'aide d'une fonction $H=f(Q)$.

I. 2.5.4-Les vannes :

Certaines conduites comportent des vannes qui permettent de limiter la pression ou le débit en des points précis du réseau. Les vannes sont caractérisées par :

- Les nœuds d'entrée et de sortie.
- Le diamètre.
- La consigne de fonctionnement et l'état de la vanne.
- Coefficient de perte de charge singulière.

L'écoulement de l'eau à travers la vanne s'accompagne d'une perte d'énergie exprimée par la perte de charge singulière.

$$= - \dots\dots\dots(1.5)$$

Avec :

- h : perte de charge singulière en mètres.
- c : coefficient de perte de charge singulière propre à la vanne.
- V : vitesse d'écoulement de l'eau dans la conduite supportant la vanne en (m/s).
- g : gravité en (m/s²).

I.3-La modélisation du réseau d'Alimentation en eau potable :

La modélisation du fonctionnement du réseau cherche à décrire le comportement hydraulique des différents dispositifs du réseau. L'intérêt est de reproduire ce qui se déroule en réalité dans le réseau à l'aide d'un modèle hydraulique. On distingue plusieurs types de modèles:

I.3.1- Modèle pour le dimensionnement du réseau :

Le modèle permet de vérifier pour une configuration donnée du réseau, la satisfaction des exigences des abonnés en termes de pression et de débit. L'intérêt est de dimensionner les conduites et les dispositifs hydrauliques, sachant l'état des conduites et la demande.

I.3.2- Modèle pour l'analyse du fonctionnement hydraulique et diagnostic :

Dans ce cas, le modèle cherche à décrire le fonctionnement d'un réseau existant, par la détermination de l'état des conduites à travers la mesure de la rugosité des conduites et la demande des abonnés. Pour un réseau, des données liées à la topologie du réseau, les types des conduites, la typologie des consommateurs ainsi que des mesures de pression et débits en des points du réseau sont supposés connus. Un calage du modèle permet de déterminer certains paramètres inconnus: rugosité, consommation afin de s'approcher le plus possible du fonctionnement réel du réseau.

I.3.3-Modèle pour la gestion du réseau :

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

de l'eau dans la journée. Ce modèle ne retient que les conduites de grand diamètre servant au transport et à la distribution de l'eau.

I.3.4-Modèle pour la mesure de la qualité de l'eau :

Ce modèle cherche à décrire le temps de séjour (stagnation de l'eau) de l'eau dans le réseau. En effet des temps de séjour important altèrent la qualité de l'eau dans le réseau. L'objet du modèle est de mesurer l'évolution d'un produit à titre d'exemple le chlore dans le réseau et d'en mesurer les concentrations à des points précis du réseau.

I.4-La théorie des graphes :

I.4.1-Historique de la théorie des graphes :

L'histoire de la théorie des graphes débute avec les travaux d'Euler au 1736 et trouve son origine dans l'étude de certains problèmes, tels que celui des ponts de Königsberg (voir la figure N°3) : les habitants de Königsberg se demandaient s'il était possible, en partant d'un quartier quelconque de la ville, de traverser tous les ponts sans passer deux fois par le même et de revenir à leur point de départ.

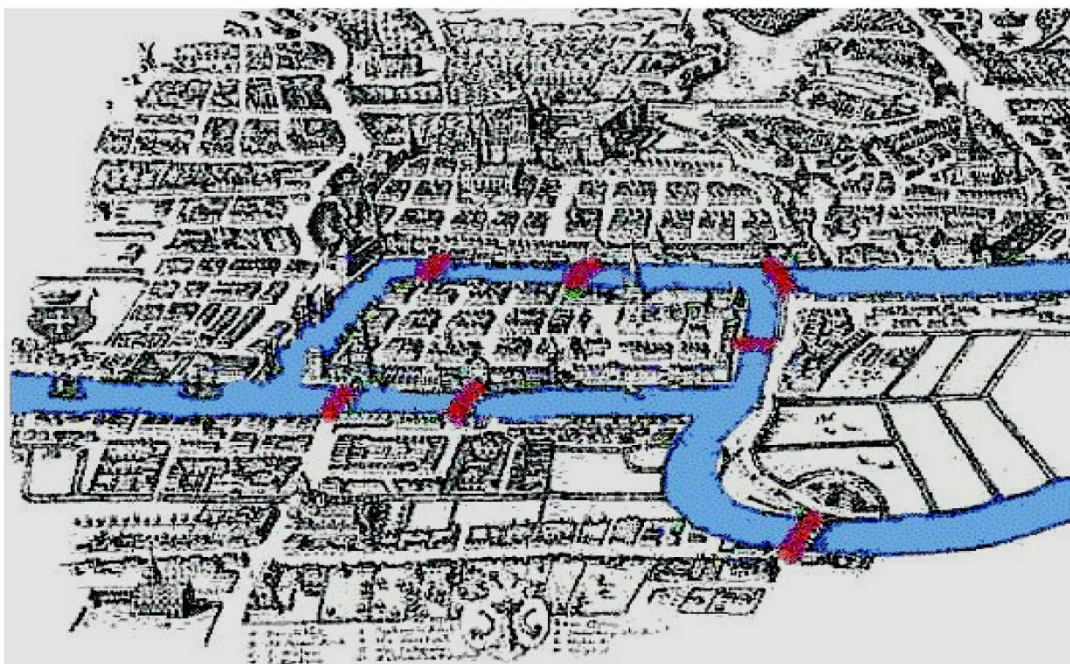


Figure N° 3:Les sept ponts de Königsberg.

La théorie des graphes a pris de l'essor dans diverses disciplines telles que l'informatique, la chimie, la biologie, les sciences sociales, la planification...etc. (Eric Sigward, 2002).

Les graphes modélisent de nombreuses situations concrètes où interviennent des objets en interaction : les relations humaines (sciences sociales), les structures moléculaires (Chimie), les interconnexions routières, ferroviaires ou aériennes entre différentes agglomérations, les liens entre les composants d'un circuit électronique, les réseaux Hydrauliques, réseaux Electriques ...etc.(Pierre Lopez, 2005).

Plusieurs problèmes sont étudiés par cette théorie telle que la recherche du plus court et plus long chemin dans un graphe, aussi la recherche de l'arbre couvrant de poids minimal, ou bien la recherche de chemin unique liant tous les sommets...etc.

Depuis le début du 20^{ème} siècle, elle constitue une branche à part entière des mathématiques, grâce aux travaux de König, Menger, Cayley puis de Berge et d'Erdős.

I.4.2-Définition d'un graphe simple :

Un graphe simple G est un couple formé de deux ensembles : un ensemble de départ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ dont les éléments sont appelés sommets (Nœuds), et un ensemble d'arrivé $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ dont les éléments correspondent aux arêtes (Branches), On notera un graphe $G = (X, A)$ (Hélary, 2004).

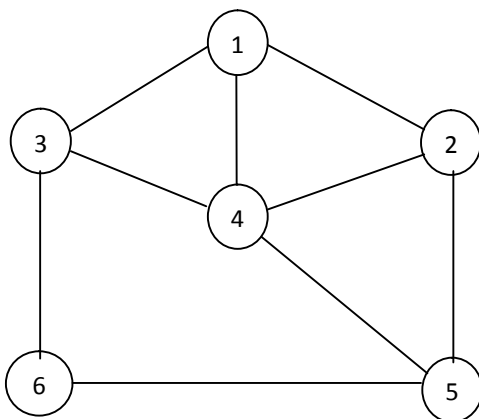


Figure N° 4:Graphe non orienté

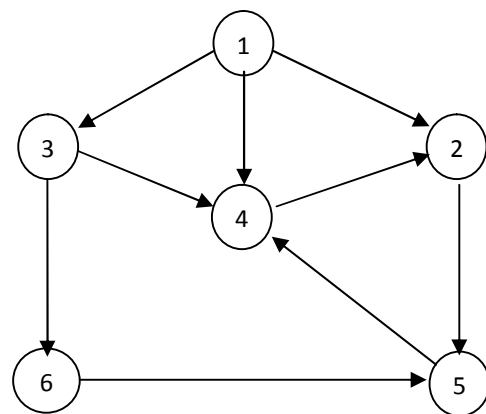


Figure N° 5:Graphe orienté.

Donc, d'une manière similaire, **un réseau hydraulique est aussi un graphe simple orienté, dont les nœuds correspondent aux sommets et les conduites sont associées aux arrêtes.**

I.4.3-Définition d'une matrice d'incidence :

Une représentation matricielle d'un graphe permettra l'exploitation de la relation d'incidence entre arêtes et sommets.

Par exemple considérons un réseau (graphe orienté $G = (X, A)$), comportant n nœuds (sommets $\{x_1, \dots, x_n\}$) et m branches (arêtes $\{a_1, \dots, a_m\}$).

On appelle matrice d'incidence (aux arcs) de G la matrice $M = [m_{ij}]$ de dimension $(n \times m)$ telle que chaque élément (m_{ij}) de la matrice est défini comme suit (Sigward, 2002):

$$m_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{si le nœud } i \text{ est l'origine de branche } j. \\ 1 & \text{si le nœud } i \text{ est l'arrivée de branche } j. \\ 0 & \text{si aucune relation entre le nœud } i \text{ et la branche } j. \end{cases}$$

Exemple:

Pour illustrer la définition on prend comme exemple le réseau suivant :

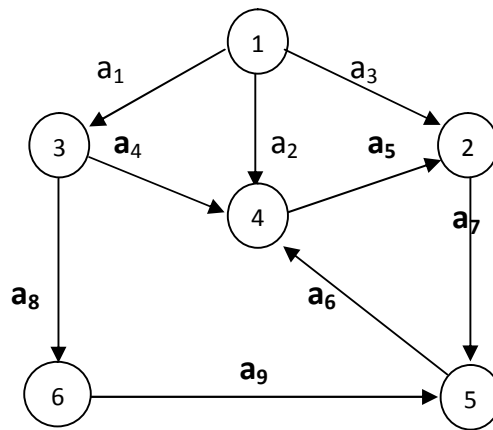


Figure N° 6: Schéma d'un graphe (Réseau) orienté.

La matrice d'incidence associée à ce réseau s'écrit comme suit :

		Arêtes(Conduites)								
		a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉
Nœuds	1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	0	1	0	-1	0	0
	3	1	0	0	-1	0	0	0	-1	0
	4	0	1	0	1	-1	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	-1	1	0	1
	6	0	0	0	0	0	0	0	1	-1

Figure N° 7: La matrice d'incidence.

Cette matrice est très utile, elle nous permet de représenter les équations des débits aux nœuds sous forme matricielle, on va voir cela en détail dans le chapitre suivant.

I.4.4-Matrice des cycles (Mailles) :

Comme la matrice précédente, elle exprime la relation entre les conduites (arêtes) et les mailles (Cycles).

Considérons un graphe orienté $G = (X, A)$ comportant n sommets (Nœuds)

$\{x_1, \dots, x_n\}$ et m arêtes (Branches) $\{a_1, \dots, a_m\}$. On appelle matrice des cycles de G la matrice $C = [c_{ij}]$ de dimension $(c \times m)$ telle que chaque élément (c_{ij}) de la matrice est défini comme suit:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{: si la branche } j \text{ a le même sens que de la maille } i. \\ -1 & \text{: si la branche } j \text{ est de sens contraire que de la maille } i. \\ 0 & \text{: Si aucune relation entre la maille } i \text{ et la branche } j. \end{cases}$$

Il est a noté que dans la théorie des graphes le nombre des mailles, appelé aussi le nombre cyclomatique (Sigward, 2002), est égale à

$$C = m - n + 1.$$

Exemple :

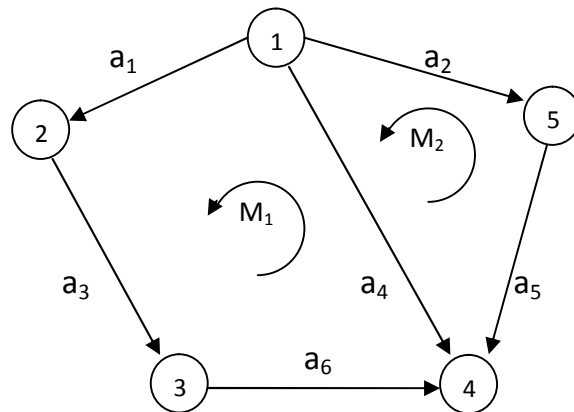


Figure N° 8:Schéma d'un graphe orienté.

Le nombre des mailles (nombre cyclomatique) pour ce réseau est :

$$= m - n + 1$$

- m : le nombre des arrêts, $m=6$.
- n : le nombre des nœuds, $n=5$.

Donc : $= 6 - 5 + 1 = 2.$

		Arêtes(Conduites)					
		a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
Mailles	M ₁	1	0	1	-1	0	1
	M ₂	0	-1	0	1	-1	0

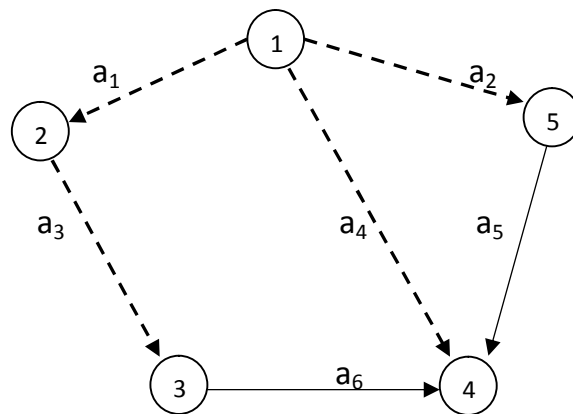
Figure N° 9:Matrices des mailles.

Cette matrice nous permet aussi de représenter les pertes de charge au niveau des mailles comme on va voir dans le chapitre suivant.

I.4.5-Arbre couvrant :

Un arbre est un graphe partiel sans cycles ou sans mailles, c.-à-d. c'est l'ensemble des arêtes qui lient les nœuds sans qu'il y ait une maille, il représente, par exemple, un réseau ramifié incluant tous les nœuds du réseau (Dicky, 1998).

Exemple :



- ➔ Branche appartenant à l'arbre couvrant.
- ➔ Corde, Branche n'appartenant pas à l'arbre couvrant.

Figure N° 10:Schéma représente l'arbre couvrant d'un graphe.

Dans un graphe on peut avoir plusieurs arbres couvrants, l'un est intéressé par la théorie des graphes est l'arbre de poids minimal, et défini comme l'arbre inclut les plus courts chemins aux nœuds à partir d'un nœud de référence.

Il est important de souligner que le graphe de l'arbre couvrant est très utile dans le calcul des charges nodales, cette technique est utilisée par plusieurs logiciels de simulation des réseaux hydrauliques.

Les algorithmes les plus connus de recherche de l'arbre couvrant appliqués à la recherche du poids minimal sont ceux de **Kruskal** et de **Prim**. Dans la suite de notre étude on a utilisé l'algorithme de **Prim** pour la recherche de l'arbre couvrant de poids minimal.

L'algorithme de **Prim** consiste à bâtir progressivement un arbre (un réseau ramifié) à partir d'un sommet quelconque (sommet considéré comme référence) et en y greffant à chaque étape l'arrête de poids minimal parmi celles qui permettent de maintenir un graphe partiel qui soit un arbre (Didier, 2008).

Pour un réseau hydraulique, le poids d'une arrête est assimilé à la longueur de conduite. Donc une arrête de poids minimal est une conduite de longueur minimale. Pour un graphe de transport par exemple, le poids d'un chemin est considéré comme le coût de transport ou le temps de parcourir de ce chemin ...etc.

I.5-Conclusion:

Le traitement d'un réseau hydraulique à travers un modèle adéquat aux buts désirés (modèle pour dimensionnement, pour diagnostic...etc.) sert à concentrer l'étude sur les cotés qui présentent des problèmes ou des anomalies et de fixer les données nécessaires à injecter dans le modèle afin d'assurer une conception ou une gestion optimale de réseau hydraulique.

La théorie des graphes apte à modéliser les structures des différents types des réseaux et dans des multitudes des domaines de la vie humaine.

Le réseau hydraulique n'échappe pas à la règle, la théorie des graphes avec ses notions peut modéliser ce réseau et exprimer sa structure en forme schématique plus claire et maniable et encore sous forme mathématique simple à manipuler par les différentes méthodes d'analyse et traitement de ce réseau.

Chapitre II :

Calcul de distribution des débits et
des charges dans un réseau
d'alimentation en eau potable.

II.1- Introduction

La connexité des qui caractérise les tronçons d'un réseau maillé rendre le calcul de distribution des débits, les pertes de charge au niveau des tronçons de réseau avec suffisamment de précision et de vitesse un problème sévère car le calcul n'est pas simple surtout s'il faite manuellement.

La complexité se réside où :

- La satisfaction de principe d'énergie minimale (l'eau toujours favorise le chemin le plus économique énergétiquement c.-à-d. qui engendre une perte de charge minimale) qui est conditionné par les éléments matériels installés et les débits passants à travers les tronçons, ce qui à pour conséquence que la moindre modification de réseau entraine une redistribution des débits donc un changement des pertes de charge et même les sens des écoulements, de ce fait la résolution de réseau dépend simultanément de ce qui se passe dans chaque tronçon de réseau.
- Aussi la relation qui lie les débits de tronçons avec les pertes de charge de ces derniers cette relation est comme elle est connus n'est pas linéaire, ce qui complexe le calcul.

II.2- Une brève historique sur les méthodes de résolution:

Dans les années 20, Hardy Cross, le premier, appliqua sa méthode de distribution des débits dans les structures hyperstatiques à la recherche d'une solution au problème de l'équilibre des réseaux de conduites. Sa technique consiste à remplacer la simultanité des comportements par une méthode de correction interactive appliquée à une solution de départ approximative. La convergence de cette méthode n'est cependant pas acquise,

La méthode de Hardy Cross a été utilisée avec succès depuis cette période puisque qu'elle était la seule méthode relativement précise disponible. Cependant, le fait que le nombre de calculs par itérations et que le nombre d'itérations elles-mêmes était assez important, on ne pouvait pas facilement faire le calcul pour des réseaux denses (dont nombre des mailles important) et pour des scénarios de consommation variés et surtout avec un calcul effectuée manuellement. La méthode de Hardy Cross est connue sous la catégorie des **méthodes des corrections successives**.

Au début des années 60, d'une certaine accessibilité à la puissance de calcul des ordinateurs, les premiers programmes de calcul de l'équilibre des réseaux sont apparus, mais n'étaient en fait que la codification sur ordinateur de la méthode de Hardy Cross c.-à-d juste la programmation de la méthode, Bien que cela permît l'analyse de plus gros réseaux, l'utilisation d'un calculateur ne modifiait en rien le comportement numérique de la méthode, soit l'hypothèse de non-simultanéité des événements. Puisqu'il était alors possible de faire plus de calculs, les problèmes de convergences furent plus fréquents.

C'est alors qu'apparurent des méthodes dites matricielles. Le fondement de ces méthodes repose sur une approche semblable à celle de Hardy Cross, mais en tenant compte de l'interaction des éléments voisins. Elles permettent donc de corriger simultanément l'ensemble du réseau afin d'améliorer la solution de départ approximative, elles portent le nom de **Méthodes de corrections simultanées**. Ces méthodes sont, évidemment liées à l'emploi d'un ordinateur puisqu'elles conduisent, à chaque itération, à la résolution d'un système matriciel important. Bien que l'introduction de la simultanéité des corrections améliore significativement la convergence du processus itératif, les problèmes liés au choix de la solution de départ restent les mêmes, c'est-à-dire que ce choix initial conditionne encore le comportement de la convergence de la méthode (Robert, 2004).

Au début des années 70, la méthode linéaire commençait à être utilisée. Basée que la résolution simultanée des équations d'énergie et de continuité sur l'ensemble du réseau, elle conduit à un système matriciel plus gros donc, nécessite l'utilisation d'un ordinateur plus puissant. Cependant, son avantage principal réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire de choisir une solution initiale et qu'il est plus facile d'y inclure des équipements spécifiques, c'est la méthode directe, qui a deux approches (Robert, 2004).

- **Méthode des débits.**
- **Méthode des charges.**

Pour notre travail on adopte la méthode matricielle des débits qui est une méthode matricielle itérative, la solution s'obtient après l'élaboration puis la résolution itérative d'un système matriciel décrivant le réseau.

II.3-La méthode matricielle directe des débits :

La méthode matricielle des débits est basée sur la résolution matricielle itérative des équations tirées par les deux lois qui gouvernent la circulation de l'eau dans le réseau, les deux lois sont la loi des nœuds et la loi des mailles, ces lois sont applicables aussi au domaine d'électricité et connus sous le nom de lois de KIRCHOUF.

II.3.1-La loi des nœuds :

Cette loi est tirée par la notion de conservation de la masse, et décrit par la somme des débits entrants dans un nœud égale aux débits sortants par celle-ci.

Mathématiquement on écrit :

$$\sum \epsilon Q = \dots\dots\dots (II. 1)$$

Telle que (ϵ) désigne la signe de débit et ne peut prendre que les valeurs **1**, **-1** ou **0** et par convention.

$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon=1 : \text{pour un débit entrant dans le nœud.} \\ \epsilon=-1 : \text{pour un débit sortant par le nœud.} \\ \epsilon=0 : \text{pour un débit d'une conduite qui n'a aucune relation avec le nœud} \end{array} \right.$
 considéré.

Et N est le nombre des nœuds.

Exemple :

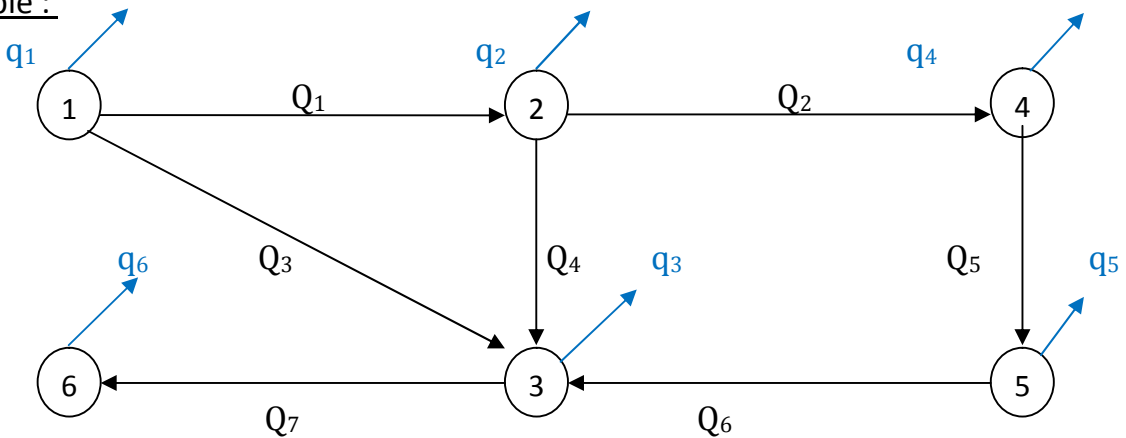


Figure N° 1: Un exemple d'un réseau mixte.

Pour le nœud 2 par exemple le débit Q_1 est débit entrant ($\epsilon=1$), par contre les débits Q_2 et Q_4 sont des débits sortants ($\epsilon=-1$), donc on peut écrire la loi des nœuds pour ce nœud comme suit :

$$Q_1 - Q_2 - Q_4 - q_2 = 0.$$

Et pour le nœud 3 :

$$Q_3 + Q_4 + Q_6 - q_3 = 0$$

Pour le nœud 6 :

$$Q_7 - q_6 = 0$$

Et ainsi de suite pour les autres nœuds de réseau.

II.3.2- La loi des mailles :

Cette loi exprime la notion de conservation d'énergie, dans une maille, chaque sens de parcourir est caractérisé par une perte de charge qui égale à la perte de charge résultante par le parcours opposé.

La loi est exprimée par la relation mathématique suivante :

$$\sum \epsilon h = \sum R Q^n = \dots \dots \dots (II - 2)$$

Telle que :

- ϵ : exprime le sens de parcourir de l'eau dans la maille par rapport au sens conventionnel ou bien le sens choisi.
 - $\epsilon = 1$: le sens de parcourir de l'eau dans la conduite est le même que dans la maille.
 - $\epsilon = -1$: les sens sont opposés
 - $\epsilon = 0$: la conduite n'appartenant pas à la maille considérée.
- h : la perte de charge de tronçon d'indice (i).
- R : la résistance hydraulique qui caractérise le tronçon d'indice (i) en (m^5/s^2) .
- Q : le débit transporté par le tronçon d'indice (i).
- n : exposant de formule de perte de charge ($n=1.85$; $n=2$...) selon la formule de perte de charge utilisée dans le calcul.

Exemple 2 :

On reprend l'exemple précédent apparue dans la Figure (1) en indiquant les mailles.

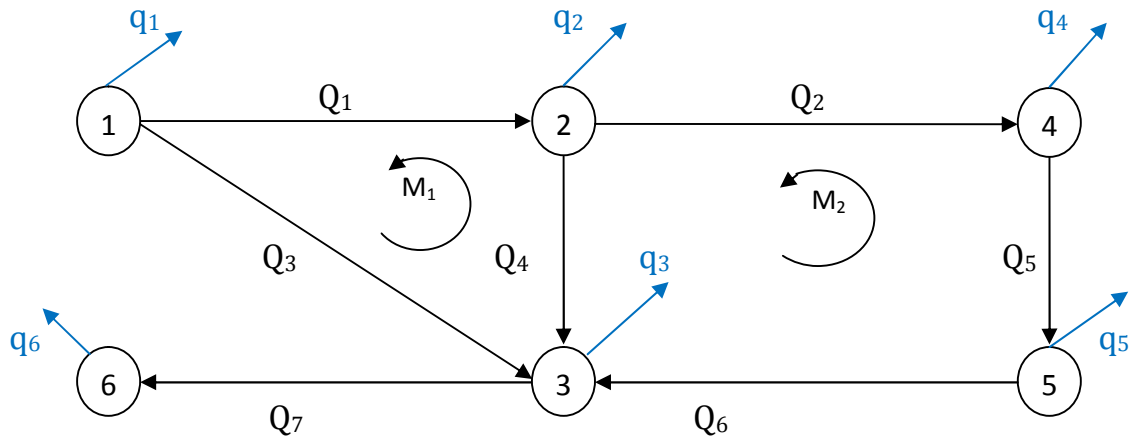


Figure N° 2 : Schéma d'un réseau.

Pour la maille M₁ l'équation de maille s'écrit comme suit :

$$-h_1+h_3-h_4=0$$

Ou bien

$$-R_1Q_1^n + R_3Q_3^n - R_4Q_4^n = 0$$

Le sens est par convention c'est au contraire de sens de rotation des aiguilles d'une montre.

Pour le débit Q₁ le sens de parcourir de l'eau est opposé avec le sens de parcourir de l'eau dans la maille, donc ($\epsilon=-1$) et même pour le débit Q₄, par contre pour le débit Q₃ ($\epsilon=1$) car le sens de parcourir de l'eau dans cette branche est le même que de maille, ($\epsilon=0$) pour tous les autres débits qui ne sont pas des branches de ce maille. La règle est applicable pour toutes les mailles de réseau.

II.3.3-Description de la méthode :

Cette méthode pose les débits des conduites (Q_i) comme inconnus, la méthode est simple, il suffit d'écrire un nombre d'équations de conservation de débits et de conservation d'énergie qu'il y a des débits dans les éléments de réseau.

Pour un réseau maillé on peut écrire la relation suivante en admettant qu'une conduite se branche entre deux (2) Nœuds, cette relation est démontrée dans la théorie des graphes.

$$= + - \dots\dots\dots (II - 3)$$

- C = nombre de conduites.
- M = nombre de mailles (boucles fermées).
- N = nombre de nœuds (points de jonction).

Autant qu'il y a des conduites il y a des débits inconnus dans le système, on doit écrire un nombre d'équations égal au nombre d'inconnus.

Donc il faut **(M)** équations de maille et **(N-1)** équations de Nœud pour résoudre le problème et trouver les **C** débits inconnus.

Les équations tirées on doit les représentées sous forme matricielle pour les résoudre par la suite.

La forme matricielle est équivalente à celle-ci.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{|l} \hline \text{Les (N-1)} \\ \text{équations} \\ \text{des nœuds} \\ \hline \end{array} \\
 \begin{array}{c} \updownarrow \\ \updownarrow \end{array} \\
 \left(\begin{array}{ccc} \epsilon_{1,1} & \dots & \epsilon_{1,c} \\ \epsilon_{2,1} & \dots & \epsilon_{2,c} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \epsilon_{N-1,1} & \dots & \epsilon_{N-1,c} \\ \hline (\epsilon R | Q_0 |^{n-1})_{1,1} & \dots & (\epsilon R | Q_0 |^{n-1})_{1,c} \\ \cdot & \dots & \cdot \\ (\epsilon R | Q_0 |^{n-1})_{M,1} & \dots & (\epsilon R | Q_0 |^{n-1})_{M,c} \end{array} \right) * \begin{array}{|l} \hline Q_1 \\ Q_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Q_C \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|l} \hline q_1 \\ q_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ q_{N-1} \\ h_1 \\ \cdot \\ h_M \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

Figure N° 3 : Système matriciel correspond à la méthode directe des débits.

Telle que :

- Les (N-1) Equations correspondent aux équations tirées par la loi des nœuds.
- Les (M) dernières équations sont les équations d'énergie correspondent aux mailles.
- Les débits (qi) sont les demandes (débits constants).

- Les charges (h_i) sont les gains et les pertes de charge dans les mailles, sont nulles lorsque la maille n'est pas une maille fictive c.-à-d. ne contient pas une conduite fictive.
- Les valeurs de (h_i) sont nulle pour les mailles réelles.
- Ou cours des itérations les débits peuvent changer leurs signes, et pour permettre l'influence de ce changement sur le calcul on doit prendre les débits (Q_i) multipliés par les résistances (R_i) en valeur absolue.

Remarque :

- ✓ Les débits inconnus se présentent dans la matrice à résoudre donc la résolution doit être itérative (système implicite).
- ✓ La seconde partie de la matrice contient des débits qui ne sont pas encore connus. On les remplace dans la matrice par des débits quelconques (Q_{0i}) qui sont **sans rapport** avec la loi des nœuds (débits arbitraires)(Robert. j-L ,2004). On calcule alors une première estimation des débits (Q_i) avec ces débits (Q_{0i}) arbitraires puis on améliore la solution en procédant à des itérations, en corrigeant à chaque fois les débits.

II.3.4-Déroulement de la méthode:

Le déroulement de la méthode se résume dans les étapes suivantes :

1. Au début, on pose des débits arbitraires (Q_{0i}) pour former les termes ($R_i|Q_i|^{n-1}$).
2. On injecte les termes ($R_i|Q_i|^{n-1}$) calculés précédemment dans la matrice, donc le système $[A]*\{X\} = \{B\}$ est formé.
3. On résout le système utilisant l'une des méthodes de résolution matricielle (méthode de Gauss, méthode de Jordan, méthode de relaxation...etc.).
4. On trouve d'autres débits (Q_i).
5. A cette étape on corrige les débits soit par la formule :

$$Q_i^{(k)} = \frac{Q_i^{(k-1)} + Q_i^{(k)}}{2} \dots\dots\dots (II - 4)$$

Telle que :

- K : indique l'étape ou l'itération.
- i : indique l'indice de débit.

Ou par la formule :

$$Q_i^{(k+1)} = Q_i^{(k)} + \Delta \dots\dots\dots (II - 5)$$

On injecte autre fois les débits ($Q_{oi}^{(k+1)}$) dans la matrice et on résout le système, on arrête les itérations lorsque la condition suivante est vérifiée pour tout les débits.

$$|Q_i^{(k+1)} - Q_i^{(k)}| \leq \xi \dots\dots\dots (II - 6)$$

Telle que :

- ξ : l'erreur maximale indiquant la précision désirée de calcul, égale par exemple $\xi = 0.00001$ ou d'autre valeur minimale.

Concernant la valeur (ΔQ) apparue dans l'équation (II-5) on peut la calculer pour chaque maille par le développement de « Taylor » :

Le but des itérations est de satisfaire l'égalité suivante pour chaque maille (la somme algébrique des pertes de charge est nulle):

$$\sum h_{ij} = 0 \dots\dots\dots (II - 2)$$

Comme on peut écrire les débits (Q_i) en fonction des corrections (ΔQ) des mailles et les débits initiaux :

$$Q_i = Q_{oi} + \Delta Q_i \dots\dots\dots (II - 2)$$

Connaissant les débits initiaux (Q_{oi}), donc on peut déterminer les corrections(ΔQ), on les applique sur les débits initiaux (Q_{oi}) de telle sorte l'ensemble des expressions (II-2') s'annule, en satisfaisant la loi des mailles.

Par développement en série de « Taylor » :

$$\begin{aligned} \sum h_{ij}(Q_{oi} + \Delta Q_i) &= \sum h_{ij} Q_{oi} + \sum h_{ij} \Delta Q_i - \sum h_{ij} Q_{oi}^2 \frac{\Delta Q_i}{Q_{oi}} = \\ \sum h_{ij} Q_{oi} + \sum h_{ij} \Delta Q_i - \sum h_{ij} Q_{oi}^2 \frac{\Delta Q_i}{Q_{oi}} &= \sum h_{ij} Q_{oi} + \sum h_{ij} \Delta Q_i \left(1 - \frac{Q_{oi}}{Q_i} \right) = \\ (\dots) &= \dots, \dots = - \dots \end{aligned}$$

Donc on peut écrire :

$$\sum h_{ij} Q_{oi} + \sum h_{ij} \Delta Q_i \left(1 - \frac{Q_{oi}}{Q_i} \right) = 0 ; \Delta Q_i \sum h_{ij} \left(1 - \frac{Q_{oi}}{Q_i} \right) = - \sum h_{ij} Q_{oi}$$

Ce qui donne :

$$\Delta Q_i = - \frac{\sum h_{ij} Q_{oi}}{\sum h_{ij} \left(1 - \frac{Q_{oi}}{Q_i} \right)}$$

\dots\dots\dots (II - 7)

On applique la correction (ΔQ) de chaque maille aux débits des conduites constituant la maille en tenant compte du signe par la formule (II – 5) :

$$= + \Delta .$$

Pour accélérer la convergence, on peut prendre comme (Q_0) les valeurs déjà corrigées par l'itération précédente.

On note aussi que la valeur de (n) apparue dans la formule (II – 7) dépend de la formule de calcul de perte de charge utilisée:

- **n=2** : si on utilise la formule de « Darcy - Weisbach » pour le calcul de résistance des conduites.

$$= \frac{8 \rho g n^2 L Q^2}{\pi^5 D^5} \dots \dots \dots (II - 8)$$

Avec :

 : Coefficient de résistance de conduite.

 : La longueur de conduite (en m).

 : Diamètre de la conduite (en m).

 g : accélération de la pesanteur(en m/s²) en prend g = 9.81 m/s².

- **n=1.85** si on utilise la formule de « Hazen-Williams» pour le calcul de résistance des conduites.

$$= \left(\frac{10.67}{C^{1.486}} \right) \cdot \frac{L Q^{1.85}}{D^{4.75}} \dots \dots \dots (II - 9)$$

Avec :

 : Coefficient de Hazen-Williams.

 : La longueur de conduite (en m).

 : Diamètre de la conduite (en m).

 : Coefficient de l'unité, (C = 0.2785) pour le système international (SI).

 (C = 0.4322) Pour le système American (SA).

Remarque :

D'après les testes qu'on a fait sur quelques exemples, on a constaté que l'utilisation de la méthode de Gauss comme méthode de résolution des systèmes matriciels avec la première méthode de correction (II – 4) donne des bons résultats de convergence.

II.3.5-Exemple d'élaboration de système matriciel :

Dans cet exemple on illustre le procédé d'élaboration de système matriciel à résoudre pour un réseau mixte. On prend un réseau de deux mailles pour simplifier les choses, le même procédé est applicable pour les réseaux contenant plus des mailles ou des ramifications.

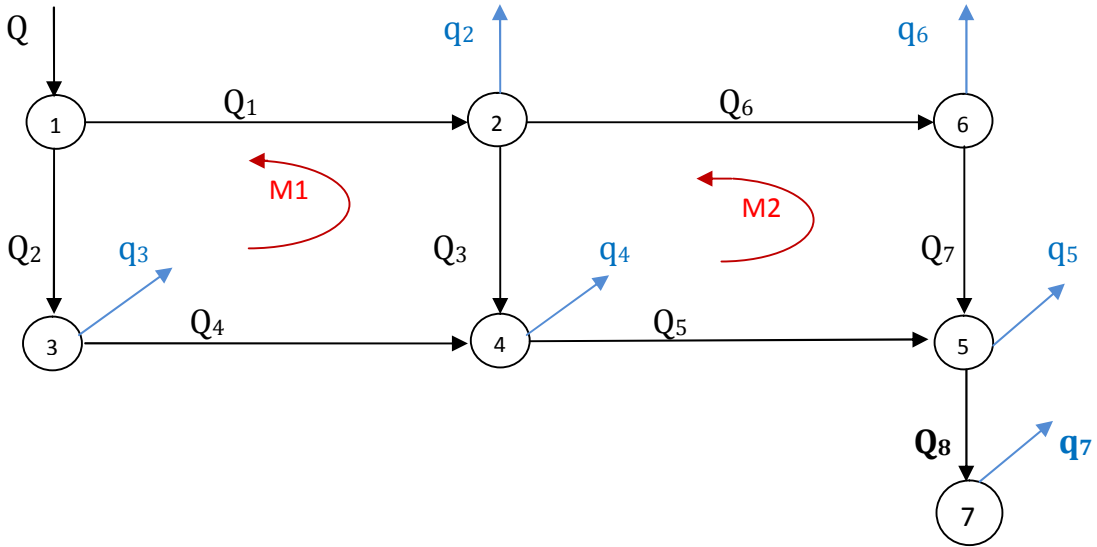


Figure N° 4 : Schéma d'un réseau mixte à deux mailles.

Le réseau contient (C=8) débits inconnus, donc il faut huit (8) équations pour résoudre le problème.

$$C = M + N - 1 \Rightarrow 8 = 2 + 7 - 1.$$

- C=8 : le nombre de conduites et égale le nombre de débits inconnus.
- M=2 = le nombre de mailles dans le réseau.
- N=7= le nombre de nœuds dans le réseau.

❖ Equations de conservation de la masse (par la loi des nœuds) :

Il faut six équations des nœuds (N-1 = 7-1 = 6), on choisi six (6) nœuds parmi les six (6) existants, par exemple (2, 3, 4, 5, 6) et on laisse le nœud (1) comme référence (un réservoir par exemple).

$$\text{Nœud 2 : } Q_1 - Q_3 - Q_6 - q_2 = 0 \quad ; \text{ ou } Q_1 + 0.Q_2 - Q_3 + 0.Q_4 + 0.Q_5 - Q_6 + 0.Q_7 + 0.Q_8 = q_2$$

$$\text{Nœud 3 : } Q_2 - Q_4 - q_3 = 0 \quad ; \text{ ou } 0.Q_1 + Q_2 + 0.Q_3 - Q_4 + 0.Q_5 + 0.Q_6 + 0.Q_7 + 0.Q_8 = q_3$$

$$\text{Nœud 4 : } Q_3 + Q_4 - Q_5 - q_4 = 0 \quad ; \text{ ou } 0.Q_1 + 0.Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_5 + 0.Q_6 + 0.Q_7 + 0.Q_8 = q_4$$

$$\text{Nœud 5 : } Q_5 + Q_7 - q_5 = 0 \quad ; \text{ ou } 0.Q_1 + 0.Q_2 + 0.Q_3 + 0.Q_4 + Q_5 + 0.Q_6 + Q_7 - Q_8 = q_5$$

Nœud 6 : $Q_6 - Q_7 - q_6 = 0$; ou $0.Q_1 + 0.Q_2 + 0.Q_3 + 0.Q_4 + 0.Q_5 + Q_6 - Q_7 + 0.Q_8 = q_6$

Nœud 7 : $Q_8 - q_7 = 0$; ou $0.Q_1 + 0.Q_2 + 0.Q_3 + 0.Q_4 + 0.Q_5 + 0.Q_6 + 0.Q_7 + Q_8 = q_7$

La deuxième écriture est importante pour l'élaboration de la matrice.

On peut traduire les équations précédentes en les écrivant sous forme matricielle.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \end{pmatrix}$$

❖ En appliquant le critère de la matrice d'incidence tiré par la théorie des graphes.

Pour la matrice d'incidence on prend par convention :

$$\mathbf{m}_{ij} = \begin{cases} -1 : \text{si le nœud } i \text{ est l'origine de branche } j. \\ 1 : \text{si le nœud } i \text{ est l'arrivé de branche } j. \\ 0 : \text{Si aucune relation entre le nœud } i \text{ et la branche } j. \end{cases}$$

L'application sur l'exemple apparue dans la figure N°4 donne :

		Conduite							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Nœud	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
	2	1	0	-1	0	0	-1	0	0
	3	0	1	0	-1	0	0	0	0
	4	0	0	1	1	-1	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	0	1	-1
	6	0	0	0	0	0	1	-1	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	1
	8								

Matrice d'incidence de réseau en exceptant le nœud 1 considéré comme référence

Figure N° 5 : La matrice d'incidence des nœuds de réseau.

On remarque que la matrice résultante par la transformation des équations de conservation de la masse au système matriciel et la matrice d'incidence de réseau (en exceptant le nœud N°1 de référence) sont identiques, ce qui nous permet d'élaborer le système matriciel d'un réseau quelconque sans passer par l'écriture des équations de conservation de la masse, et au point de vue programmation est un résultat très important offert par l'incorporation de notion de matrice d'incidence de la théorie des graphes.

❖ Equations d'énergie (par la loi des mailles) :

Il apparaît dans le schéma représenté dans la figure N°4 qu'il existe deux mailles (M=2), donc il faut deux (2) équations.

Maille 1 : $-R_1Q_1^n + R_2Q_2^n - R_3Q_3^n + R_4Q_4^n = 0$.

Maille 2 : $R_3Q_3^n + R_5Q_5^n - R_6Q_6^n - R_7Q_7^n = 0$.

Les équations précédentes ne sont pas linéaires, on peut les écrire sous forme linéaire en tirant les débits comme suit :

Maille 1 : $-R_1|Q_1^{n-1}| Q_1 + R_2| Q_2^{n-1}| Q_2 - R_3| Q_3^{n-1}| Q_3 + R_4| Q_4^{n-1}| Q_4 = 0$.

Maille 2 : $R_3| Q_3^{n-1}| Q_3 + R_5| Q_5^{n-1}| Q_5 - R_6| Q_6^{n-1}| Q_6 - R_7| Q_7^{n-1}| Q_7 = 0$

On peut écrire les équations comme suit pour éclaircir leurs transformations en système matriciel.

M1: $(-R_1|Q_1^{n-1}|)Q_1 + (R_2|Q_2^{n-1}|)Q_2 - (R_3|Q_3^{n-1}|)Q_3 + (R_4|Q_4^{n-1}|)Q_4 + 0*(R_5|Q_5^{n-1}|)Q_5 + 0*(R_6|Q_6^{n-1}|)Q_6 + 0*(R_7|Q_7^{n-1}|)Q_7 + 0*(R_8|Q_8^{n-1}|)Q_8 = 0$

$$\mathbf{M2} : 0*(R_1|Q_1^{n-1})Q_1 + 0*(R_2|Q_2^{n-1})Q_2 + (R_3|Q_3^{n-1})Q_3 + 0*(R_4|Q_4^{n-1})Q_4 + (R_5|Q_5^{n-1})Q_5 - (R_6|Q_6^{n-1})Q_6 - (R_7|Q_7^{n-1})Q_7 + 0*(R_8|Q_8^{n-1})Q_8 = 0$$

On peut écrire les équations sous forme matricielle :

$$\begin{pmatrix} -R_1|Q_1|^{n-1} & R_2|Q_2|^{n-1} & -R_3|Q_3|^{n-1} & R_4|Q_4|^{n-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_3|Q_3|^{n-1} & 0 & R_5|Q_5|^{n-1} & -R_6|Q_6|^{n-1} & -R_7|Q_7|^{n-1} & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Matrice des résistances des conduites multipliées par les débits initiaux [RQ].

Vecteur des débits inconnus.

Vecteur des sommes des pertes de charge des mailles.

On appelle la matrice des résistances (R_i) des conduites multipliées par les débits (Q_i) la matrice [RQ], dans ce cas on peut la réécrire encore sous forme de produit d'élément par élément comme suit:

$$[RQ] = \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_1|Q_1|^{n-1} \\ R_2|Q_2|^{n-1} \\ R_3|Q_3|^{n-1} \\ R_4|Q_4|^{n-1} \\ R_5|Q_5|^{n-1} \\ R_6|Q_6|^{n-1} \\ R_7|Q_7|^{n-1} \\ R_8|Q_8|^{n-1} \end{pmatrix}$$

La matrice d'incidence des Mailles (Circuits) décrite dans la partie théorie des graphes

Vecteur des résistances des conduites multipliées par les débits

Remarque :

- (•) Indique un produit d'élément de la matrice d'incidence des mailles par un élément de vecteur des résistances des conduites multipliées par les débits afin d'obtenir la matrice [RQ].
- ❖ En appliquant le critère de matrice d'incidence des mailles (des cycles) décrit dans la partie (Matrice des cycles dans le chapitre I) sur le réseau de l'exemple représenté dans la Figure N°4:

Pour les éléments (c_{ij}) de la matrice d'incidence des mailles on prend par convention:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la branche } j \text{ a le même sens que de la maille } i. \\ -1 & \text{si la branche } j \text{ est de sens contraire que de la maille } i. \\ 0 & \text{Si aucune relation entre la maille } i \text{ et la branche } j. \end{cases}$$

Il résulte la matrice suivante :

		Conduite							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Maille	M ₁	-1	1	-1	1	0	0	0	0
	M ₂	0	0	1	0	1	-1	-1	0

Figure N° 6: Matrice d'incidence des mailles de réseau.

On remarque que la matrice résultante de la substitution précédente et la matrice d'incidence des mailles (cycles) sont identiques.

Donc pour obtenir la matrice représentant les équations d'énergie (équations des mailles), il suffit de multiplier élément par élément la matrice d'incidence des mailles par le vecteur qui englobe les valeurs des résistances (R_i) des conduites multipliées lui-même par les débits (Q_i), ce qui simplifie significativement la formation de la cette partie de système matriciel pour un réseau quelconque en évitant le passage par l'écriture des équations générés par l'application de loi des mailles.

On combine les deux systèmes matriciels générés par l'application de la loi des nœuds et la loi des mailles pour obtenir le système matriciel à résoudre :

$$\begin{pmatrix}
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 \hline
 -R_1|Q_{01}|^{n-1} & R_2|Q_{02}|^{n-1} & -R_3|Q_{03}|^{n-1} & R_4|Q_{04}|^{n-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & R_3|Q_{03}|^{n-1} & 0 & R_5|Q_{05}|^{n-1} & -R_6|Q_{06}|^{n-1} & -R_7|Q_{07}|^{n-1} & 0
 \end{pmatrix}
 \begin{matrix}
 Q_1 \\
 Q_2 \\
 Q_3 \\
 Q_4 \\
 Q_5 \\
 Q_6 \\
 Q_7 \\
 Q_8
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 q_2 \\
 q_3 \\
 q_4 \\
 q_5 \\
 q_6 \\
 q_7 \\
 0 \\
 0
 \end{matrix}$$

La matrice globale (la jonction de matrice d'incidence des nœuds avec la matrice des mailles).
Vecteur global (jonction de vecteur des sommes des pertes de charge au niveau des mailles et le vecteur de demande).

Les débits de correction des mailles sont calculés par les deux méthodes citées précédemment :

A)-La formule (II – 4) :

$$() = \frac{() + ()}{ }$$

Appliquant cette formule pour tous les débits des conduites de réseau (dans ce cas de i=1 jusqu'à i=8).

$$\begin{aligned}
 () &= \frac{() + ()}{ } \\
 () &= \frac{() + ()}{ } \\
 () &= \frac{() + ()}{ } \\
 () &= \frac{() + ()}{ }
 \end{aligned}$$

$$Q_i = \frac{Q_j + Q_k}{2}$$

$$Q_i = \frac{Q_j + Q_k}{2}$$

$$Q_i = \frac{Q_j + Q_k}{2}$$

$$Q_i = \frac{Q_j + Q_k}{2}$$

B)-Ou bien par la formule (II – 5):

$$Q_i = Q_j + \Delta$$

Avec

$$\Delta = - \frac{\sum Q_j}{\sum K_i^{n-1}}$$

Pour la maille (1) :

$$\Delta = - \frac{(-K_1^{n-1} + K_2^{n-1} - K_3^{n-1} + K_4^{n-1})}{K_1^{n-1} + K_2^{n-1} + K_3^{n-1} + K_4^{n-1}}$$

Pour la maille (2) :

$$\Delta = - \frac{(K_5^{n-1} + K_6^{n-1} - K_7^{n-1} - K_8^{n-1})}{K_5^{n-1} + K_6^{n-1} + K_7^{n-1} + K_8^{n-1}}$$

Avec

- **n=2** si on utilise la formule de « Darcy – Weisbach ».
- **n=1.85** si on utilise la formule de « Hazen-Williams» conduites.

On corrige les débits :

$$Q_i = Q_j + \Delta$$

- K : indique l'étape de calcul.
- i : indice de conduite.

$$Q_i = Q_j - \Delta$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k-1)} + \Delta$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k-1)} - \Delta + \Delta$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k-1)} + \Delta$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k-1)} + \Delta$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k-1)} - \Delta$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k-1)} - \Delta$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i^{(k-1)}$$

Avant de passer à l'étape suivante c.-à-d. l'injection des débits corrigés ($Q_i^{(k)}$) dans la partie gauche de système, on doit vérifier le critère de convergence ou le critère d'arrêt.

Pour tous les débits l'inégalité suivante doit être vérifiée pour arrêter les itérations:

$$|Q_{0i}^{(k)} - Q_i^{(k)}| \leq \xi$$

Avec ξ l'erreur permise ou la précision désirée, ξ est un chiffre petit.

Donc on vérifie est ce que :

$$|Q_{01}^{(1)} - Q_1^{(1)}| \leq \xi$$

$$|Q_{02}^{(1)} - Q_2^{(1)}| \leq \xi$$

$$|Q_{03}^{(1)} - Q_3^{(1)}| \leq \xi$$

$$|Q_{04}^{(1)} - Q_4^{(1)}| \leq \xi$$

$$|Q_{05}^{(1)} - Q_5^{(1)}| \leq \xi$$

$$|Q_{06}^{(1)} - Q_6^{(1)}| \leq \xi$$

Et $|Q_{07}^{(1)} - Q_7^{(1)}| \leq \xi$

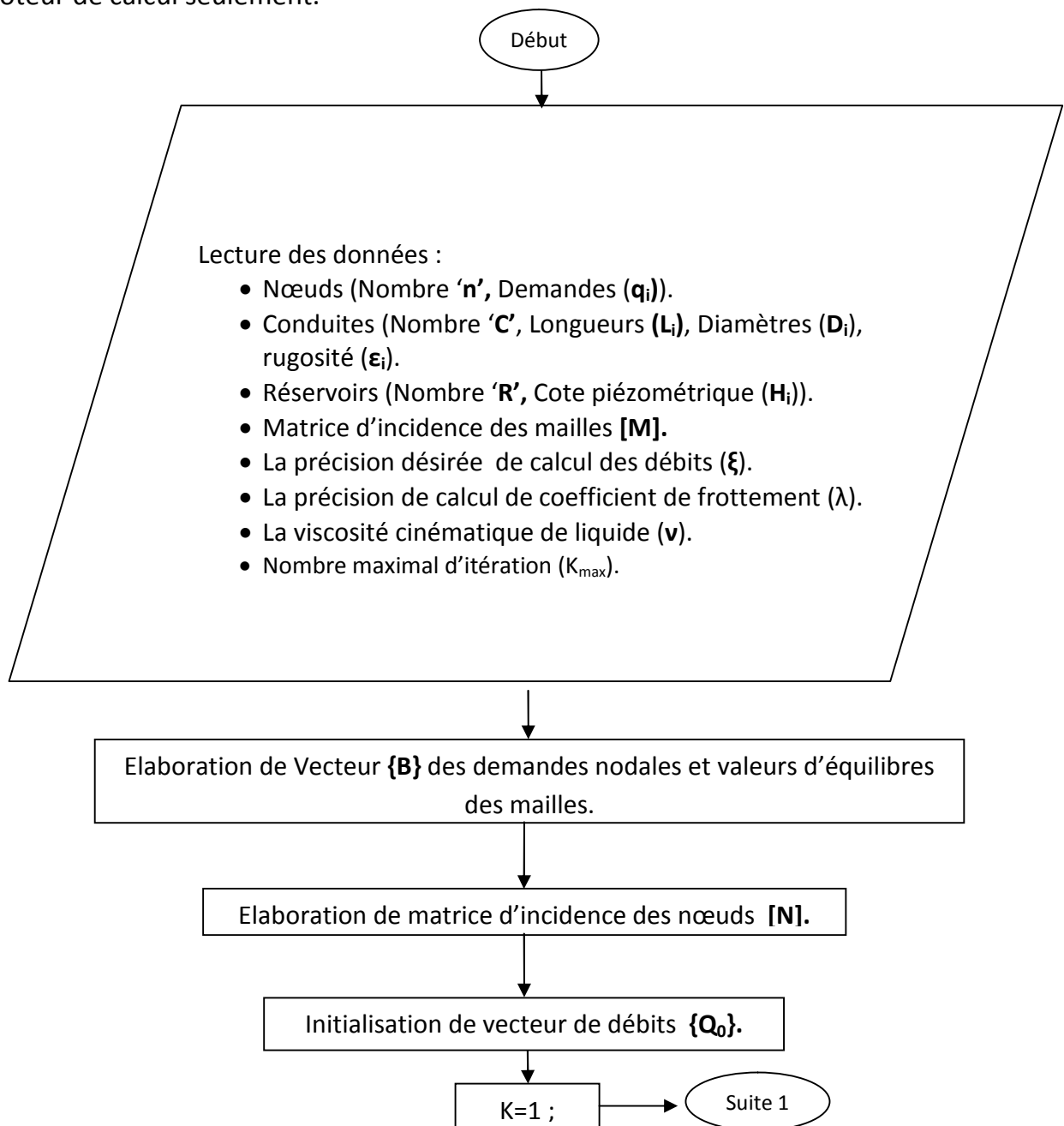
$$|Q_{08}^{(1)} - Q_8^{(1)}| \leq \xi$$

Si l'une des inégalités précédentes n'est pas vérifiée on lance l'itération suivante ainsi de suite, ou bien on arrête le calcul lorsque le nombre des itérations (K) dépasse certaine valeur (K_{\max}) fixée préalablement.

II.3.6-L'Organigramme de la méthode de calcul de distribution des débits:

Dans le but de résoudre le système matriciel $[A]*\{Q\} = \{B\}$ de manière itérative afin d'obtenir les débits inconnus (Q_i) on a élaboré l'organigramme présenté ci-dessous, ce dernier encapsule notre programme.

A cause de complexité de programme, on mentionne juste l'organigramme qui inclue le moteur de calcul seulement.



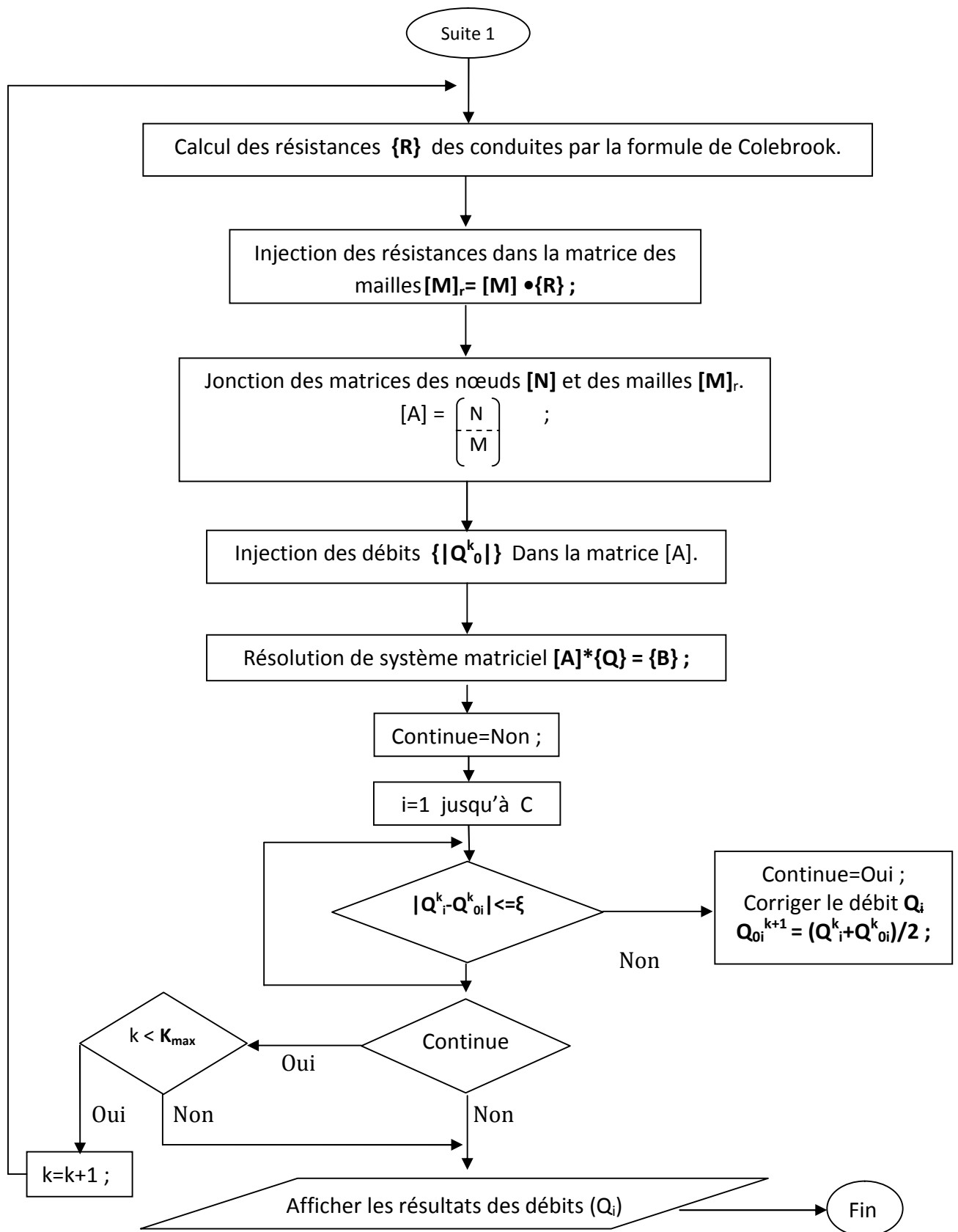


Figure N° 7: L'organigramme de méthode matricielle direct de calcul des débits.

Remarque :

La matrice d'incidence des mailles est introduite comme données dans le programme, car la détection automatique des mailles n'est pas effectuée.

II.3.7-Langage de programmation utilisé :

Le langage de programmation utilisé afin de traduire cet organigramme et tout le programme à un programme exécutable sur la machine est le langage VisualBasic.NET (VB.NET).

VisualBasic.NET (prononcé Visual Basic dot net) est un langage de programmation orienté objet de cinquième génération développé par la société américaine Microsoft®. La première version de langage apparut en 2001.

VB.NET partage la même syntaxe avec l'ancien Visual Basic et la même structure avec le C# (C Sharp).

Les programmes développés par le langage VisualBasic.NET nécessitent la présence de la plate-forme Microsoft.NET (Dot Net Framework) pour le fonctionnement sous les versions de système d'exploitation Microsoft Windows et la plate-forme Mono pour le fonctionnement sous le système d'exploitation Linux et Mac OS (Wikipédia, 2010).

II.4.-Adaptation de la méthode pour les réseaux contenant plusieurs réservoirs d'équilibre :

Les réseaux de distribution ne sont pas constitués uniquement de conduites mais aussi d'autres éléments tels que les réservoirs, pompes, vannes ...etc.

Donc il est très important d'incorporer dans le programme d'analyse la possibilité de simuler le comportement de réseaux contenant ces ouvrages ou ces équipements, pour notre travail on se limite à l'incorporation des réservoirs seulement.

La méthode de résolution déjà citée est utilisée pour simuler les réseaux avec un seul réservoir, mais la question qui se pose est comment on peut faire s'il y a plusieurs réservoirs comme le cas des réservoirs d'équilibre.

L'idée est de relier les réservoirs deux à deux (2 à 2) on considère une conduite fictive reliant les réservoirs en créant une maille fictive comme montre la figure suivante.

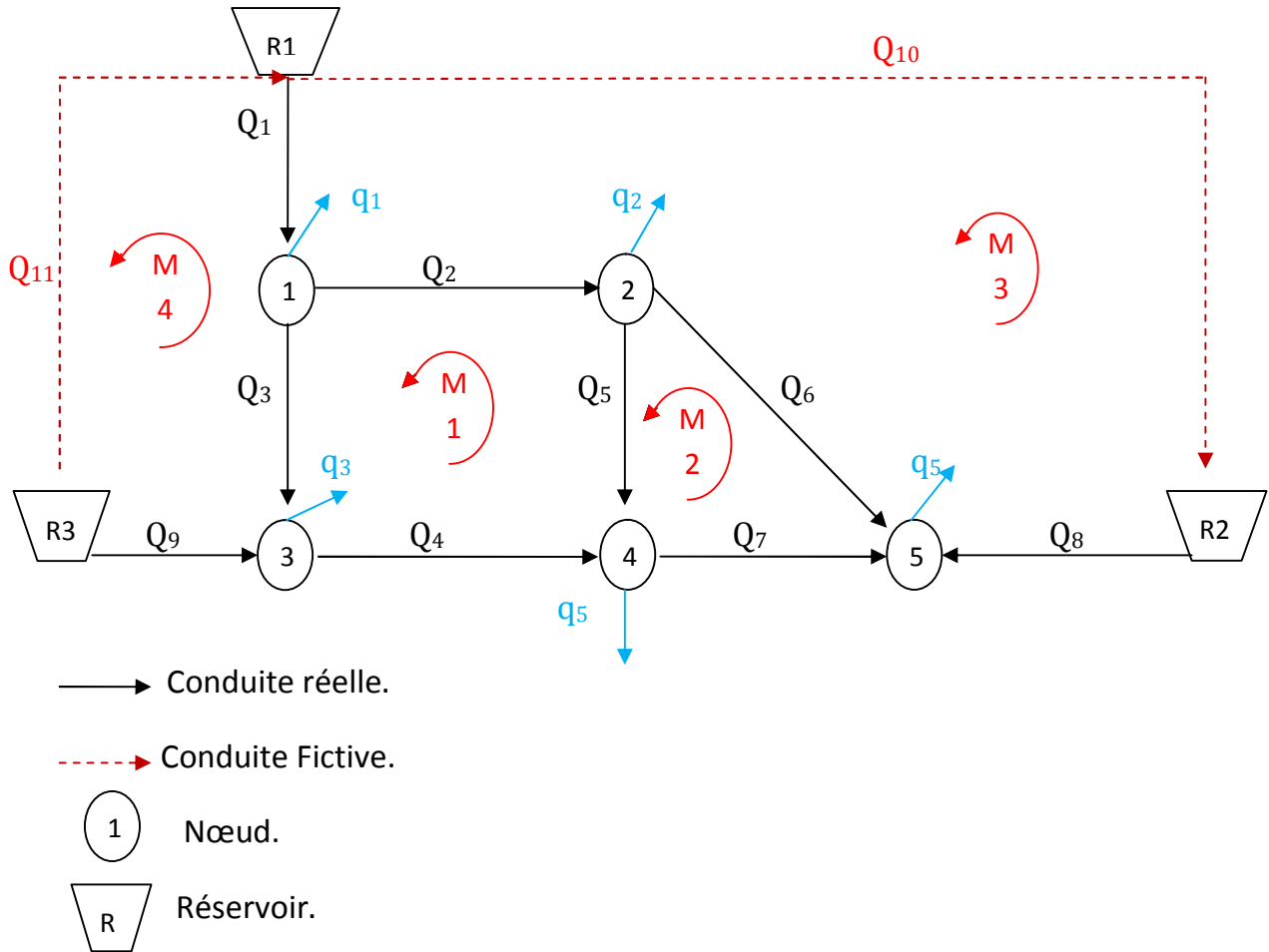


Figure N° 8: Schéma d'un réseau à trois réservoirs.

Les mailles (1 et 2) sont des mailles réelles, les mailles (3 et 4) sont des mailles fictives.

Les conduites fictives sont de perte de charge imposée qui égale à la différence des charges (Cotes piézométriques) des deux réservoirs reliés par cette conduite, cette perte de charge reste invariable durant les itérations ce qui annule la déformation de comportement de réseau.

$$\text{La perte de charge de conduite (10) : } h_{10} = H_{R1} - H_{pR2} = R_{10} Q_{10}^n \text{ ----- (1)}$$

$$\text{La perte de charge de conduite (11) : } h_{11} = H_{pR3} - H_{pR1} = R_{11} Q_{11}^n \text{ ----- (2)}$$

Pour élaborer le système matriciel on concédera les réservoirs tant que des nœuds.

1) On applique la loi des Nœuds:

On choisi (N-1) nœuds parmi les nœuds existants en considérant les réservoirs existants comme des nœuds ont des débits de demande nuls ($q_R=0$) :

Il résulte les équations suivantes

$$\begin{aligned} N1 : Q_1 - Q_2 - Q_3 - q_1 &= 0 & \Rightarrow & Q_1 - Q_2 - Q_3 = q_1 \\ N2 : Q_2 - Q_5 - Q_6 - q_2 &= 0 & \Rightarrow & Q_2 - Q_5 - Q_6 = q_2 \\ N3 : Q_3 - Q_4 + Q_9 - q_3 &= 0 & \Rightarrow & Q_3 - Q_4 + Q_9 = q_3 \\ N4 : Q_4 + Q_5 - Q_7 + Q_8 - q_4 &= 0 & \Rightarrow & Q_4 + Q_5 - Q_7 + Q_8 = q_4 \\ N5 : Q_6 + Q_7 + Q_8 - q_5 &= 0 & \Rightarrow & Q_6 + Q_7 + Q_8 = q_5 \\ R2 : -Q_8 + Q_{10} &= 0 \\ R3 : -Q_9 - Q_{11} &= 0 \end{aligned}$$

2) On applique la loi des mailles

Sur les quatre mailles existantes :

Maille 1 : $-R_2Q_2^n + R_3Q_3^n + R_4Q_4^n - R_5Q_5^n = 0$.

Maille 2 : $R_5Q_5^n - R_6Q_6^n + R_7Q_7^n = 0$.

Maille 3 : $R_1Q_1^n + R_2Q_2^n + R_6Q_6^n - R_8Q_8^n - R_{10}Q_{10}^n = 0$.

Maille 4 : $-R_1Q_1^n - R_3Q_3^n + R_9Q_9^n - R_{11}Q_{11}^n = 0$.

On remplace dans l'équation de la maille (3) par l'équation (1).

Maille 3 : $R_1Q_1^n + R_2Q_2^n + R_6Q_6^n - R_8Q_8^n - (H_{R1} - H_{R2}) = 0$.

Pour l'équation de la maille (4) en remplace par l'équation (2).

Maille 4 : $-R_1Q_1^n - R_3Q_3^n + R_9Q_9^n - (H_{R3} - H_{R1}) = 0$.

On reformule les équations (3 et 4) pour laisser les inconnus à gauche :

Maille 3 : $R_1Q_1^n + R_2Q_2^n + R_6Q_6^n - R_8Q_8^n = (H_{R1} - H_{R2}) = h_{10}$

Maille 4 : $-R_1Q_1^n - R_3Q_3^n + R_9Q_9^n = (H_{R3} - H_{R1}) = h_{11}$

De manière générale, on réécrit les équations d'énergie des mailles en montrant tous les débits afin de faciliter l'écriture matricielle :

Maille 1 : $0.R_1Q_1^n - R_2Q_2^n + R_3Q_3^n + R_4Q_4^n - R_5Q_5^n + 0.R_6Q_6^n + 0.R_7Q_7^n + 0.R_8Q_8^n + 0.R_9Q_9^n + 0.R_{10}Q_{10}^n + 0.R_{11}Q_{11}^n = 0$

Maille 2 : $0.R_1Q_1^n + 0.R_2Q_2^n + 0.R_3Q_3^n + 0.R_4Q_4^n + R_5Q_5^n - R_6Q_6^n + R_7Q_7^n + 0.R_8Q_8^n + 0.R_9Q_9^n + 0.R_{10}Q_{10}^n + 0.R_{11}Q_{11}^n = 0$

$$\text{Maille 3 : } R_1 Q_1^n + R_2 Q_2^n + 0.R_3 Q_3^n + 0.R_4 Q_4^n + 0.R_5 Q_5^n + R_6 Q_6^n - 0.R_7 Q_7^n + R_8 Q_8^n + 0.R_9 Q_9^n + 0.R_{10} Q_{10}^n + 0.R_{11} Q_{11}^n = (H_{R1} - H_{R2}) = h_{10}$$

Ainsi pour la maille (4)

$$\text{Maille 4 : } -R_1 Q_1^n + 0.R_2 Q_2^n - R_3 Q_3^n + 0.R_4 Q_4^n + 0.R_5 Q_5^n + 0.R_6 Q_6^n - 0.R_7 Q_7^n + 0.R_8 Q_8^n + R_9 Q_9^n + 0.R_{10} Q_{10}^n + 0.R_{11} Q_{11}^n = (H_{R3} - H_{R1}) = h_{11}$$

Remarque :

Pour l'équation de la maille (3) contenant la branche fictive (10) et l'équation de la maille (4) contenant la branche fictive (11), on remarque que les valeurs des pertes de charge ($R_{10} Q_{10}^n$) et ($R_{11} Q_{11}^n$) sont multipliées par zéro (0) ce qui supprime l'influence des débits (Q_{10}) et (Q_{11}) et les résistances (R_{10}) et (R_{11}) sur le comportement des mailles fictives si leurs valeurs se changent durant les itérations ainsi pour les deux autres maille (1) et (2) qui n'ont aucune relation direct avec les branches fictives.

On regroupe maintenant tous les équations pour former le système matriciel à résoudre, comme on à fait pour le premier cas, la où une seule source existe)

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & -R_2|Q_{02}|^{n-1} & R_3|Q_{03}|^{n-1} & R_4|Q_{04}|^{n-1} & -R_5|Q_{05}|^{n-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_5|Q_{05}|^{n-1} & -R_6|Q_{06}|^{n-1} & R_7|Q_{07}|^{n-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ R_1|Q_{01}|^{n-1} & R_2|Q_{02}|^{n-1} & 0 & 0 & 0 & R_6|Q_{06}|^{n-1} & 0 & -R_8|Q_{08}|^{n-1} & 0 & 0 & 0 \\ -R_1|Q_{01}|^{n-1} & 0 & -R_3|Q_{03}|^{n-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -R_9|Q_{09}|^{n-1} & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \\ Q_9 \\ Q_{10} \\ Q_{11} \end{matrix} = \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ h_{10} \\ h_{11} \end{matrix}$$

On résout le système itérativement jusqu'à ce que la convergence soit vérifiée c.-à-d. l'erreur de calcul (ξ) soit minimale et acceptable.

Les valeurs des débits des conduites fictives ne sont pas considérées et égales toujours les valeurs des débits des conduites réelles sortant de ces réservoirs.

II.5-Calcul des charges et pressions Nodales :

Après certain temps de vidange ou de remplissage des réservoirs les charges totales des réservoirs se changent, pour certaines heures la demande augmente, les charges disponibles peuvent être insuffisantes, donc il est nécessaire de savoir les pressions au niveau des nœuds de réseau.

Le calcul des charges nodales est un autre problème, mais la détermination des débits par la procédure précédente simplifie la tâche.

Pour pouvoir calculer les charges et les pressions nodales on a besoin de savoir les pertes de charges des conduites en basant sur les débits calculés précédemment et avoir une charge de référence d'un nœud de référence (un réservoir généralement) et aussi les cotes de terrains de ces nœuds.

II.5.1-Une méthode matricielle de calcul des charges :

Pour effectuer le calcul on démarre par la charge de nœud de référence et on parcourt n'importe quel chemin dans le réseau en retranchant ou ajoutant (selon le sens de débit) les pertes de charges jusqu'à ce qu'on arrive au nœud désiré.

Exemple :

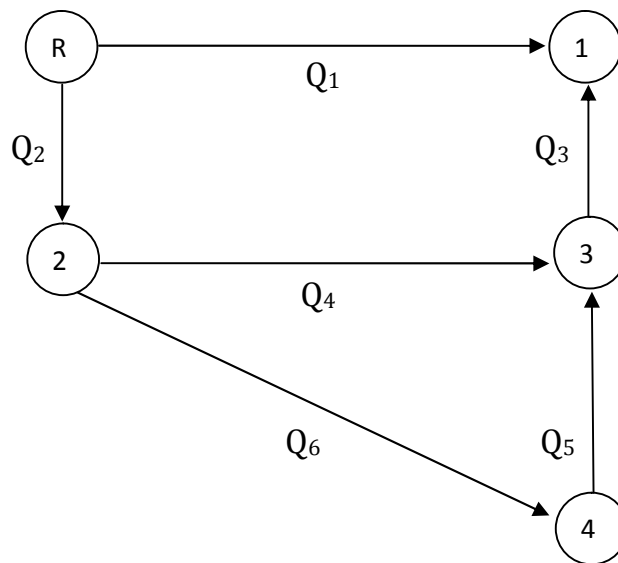


Figure N° 9 : Schéma d'un réseau à deux mailles.

Pour calculer la charge H_1 en connaissant (H_R) qui supposée de référence on peut par
Exemple :

Soit : $H_1 + h_1 = H_R$ donc $H_1 = H_R - h_1$

Ou: $H_1 - h_3 + h_4 + h_2 = H_R$ donc $H_1 = H_R - h_2 - h_4 + h_3$

Ou bien : $H_1 - h_3 + h_5 + h_6 + h_2 = H_R$ donc $H_1 = H_R + h_3 - h_5 - h_6 - h_2$

Telle que :

- H_i : La charge nodale inconnue de nœud d'indice i.

- h_j : La perte de charge de la conduite d'indice j.

Donc pratiquement on peut parcourir n'importe quel chemin pour avoir la charge H_1 .

Pour fixer un mode de calcul on choisi un réseau ramifié qui couvre le réseau maillé c.-à-d. englobe tout les nœuds de réseau ce réseau (sans qu'il y des circuits fermés) est appelé l'arbre couvrant.

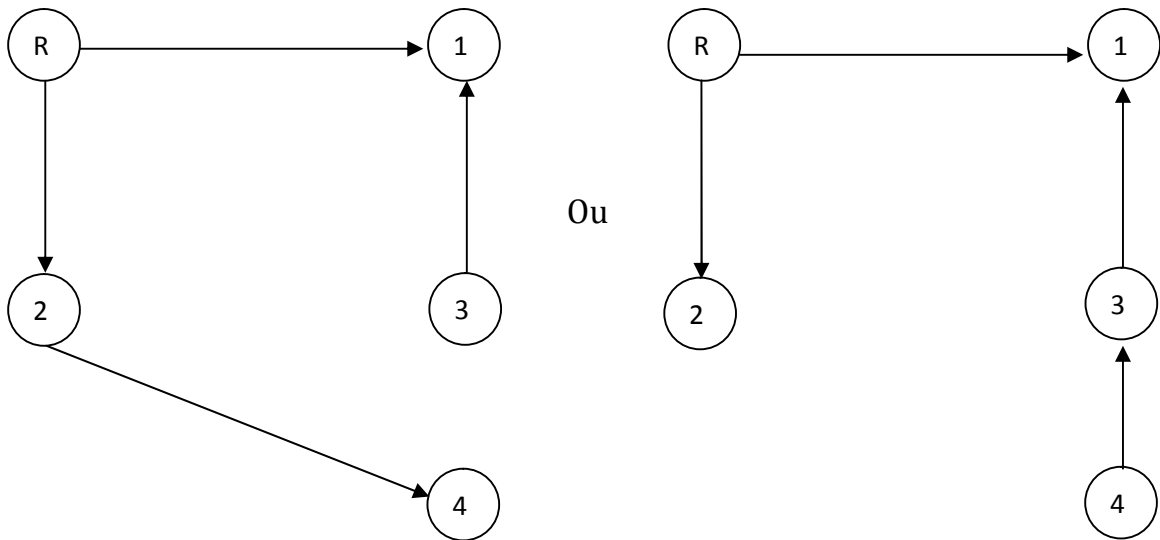


Figure N° 10: Arbres couvrants de réseau de figure N°9.

Pour un réseau maillé ou un réseau hybride (mixte) on peut avoir plusieurs arbres couvrant utilisables pour le calcul des charges.

Pour déterminer l'arbre couvrant permettant le calcul des charges nodales on fait appelle aux notions de la théorie des graphes qui sont très maniable sur l'ordinateur à cause de leurs représentations matricielles.

Pour notre travail on utilise l'arbre de recouvrement de poids minimal, et comme on a mentionné précédemment on a utilisé l'algorithme de Prim pour effectuer la recherche de l'arbre couvrant (réseau ramifié) pour un réseau quelconque.

On prend comme exemple le réseau représenté dans la figure suivante afin d'expliquer le contexte de la méthode et le déroulement de calcul.

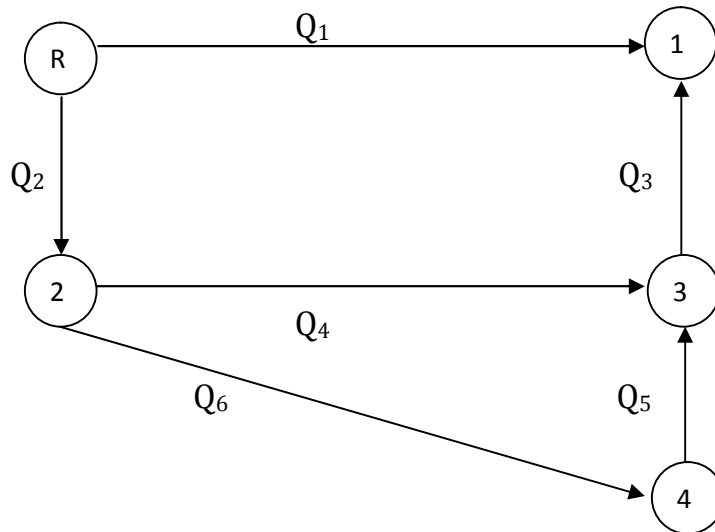


Figure N° 11: Schéma explicatif d'un réseau.

On suppose que les débits $\{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6\}$ sont connus.

On utilise le schéma suivant de réseau ramifié (arbre couvrant). Cet arbre est généré par l'application de l'algorithme de Prime sur cet exemple.

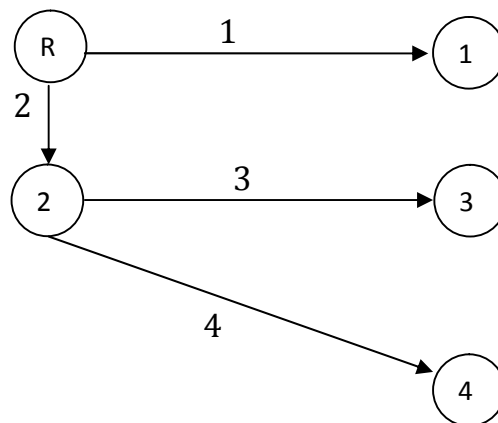


Figure N° 12: Arbre couvrant de graphe.

[A] : C'est la matrice d'incidence de graphe (Réseau) précédent.

[A] sera:

		Conduites			
		C1	C2	C4	C5
Nœuds	R	-1	-1	0	0
	1	1	0	0	0
	2	0	1	-1	-1
	3	0	0	1	0
	4	0	0	0	1

Figure N° 13: la matrice d'incidence de graphe (réseau).

La matrice transposée [A]^T est la suivante :

		Nœuds				
		R	1	2	3	4
Conduites	C1	-1	1	0	0	0
	C2	-1	0	1	0	0
	C4	0	0	-1	1	0
	C5	0	0	-1	0	1

Figure N° 14: la matrice d'incidence transposée de graphe (réseau).

Pour le nœud de référence seulement (Réservoir), le **vecteur d'incidence** est le suivant : $\{A_R\}$

		Nœuds
		R
Conduites	C1	-1
	C2	-1
	C4	0
	C5	0

Figure N° 15: le vecteur d'incidence $\{A_R\}$ pour le nœud de référence R.

On a mentionné précédemment que dans la théorie des graphes :

- $$\left\{ \begin{array}{l} \bullet a_{ij} = -1 \text{ si le nœud } j \text{ est l'origine de conduite } i \text{ (point de départ).} \\ \bullet a_{ij} = 1 \text{ si le nœud } j \text{ est l'arrivé de conduite } i. \\ \bullet a_{ij} = 0 \text{ si aucune relation entre le nœud } i \text{ et la conduite } j. \end{array} \right.$$

Pour la représentation précédente, les équations de calcul des charges s'écrivent comme suit :

$$h + H_1 = H_R \quad \dots\dots\dots (1).$$

$$h_2 + H_2 = H_R \quad \dots\dots\dots (2).$$

$$h_3 + h_2 + H_3 = H_R \dots\dots\dots (3).$$

$$h_4 + h_2 + H_4 = H_R \quad \dots\dots\dots (4).$$

Telle que :

- **H_R** : La charge totale de point de référence.
- **h_i** : la perte de charge de la conduite d'indice (i) avec (i=1, 2, 3...).
- **H_j** : La charge nodale inconnue de nœud d'indice (j) avec (j=1, 2, 3...).

On à pour l'équation (2) : $h_2 = H_R - H_2$

On remplace dans (3) et (4) on trouve :

$$h_3 + H_R - H_2 + H_3 = H_R \Rightarrow h_3 - H_2 + H_3 = 0 \quad \dots (3').$$

$$h_4 + H_R - H_2 + H_4 = H_R \Rightarrow h_4 - H_2 + H_4 = 0 \quad \dots (4').$$

Pour les 4 équations on peut écrire :

$$h_1 + H_1 + 0.H_2 + 0.H_3 + 0.H_4 = H_R$$

$$h_2 + 0.H_1 + H_2 + 0.H_3 + 0.H_4 = H_R$$

$$h_3 + 0.H_1 - H_2 + H_3 + 0.H_4 = 0$$

$$h_4 + 0.H_1 - H_2 + 0.H_3 + H_4 = 0$$

On Remarque que chaque équation englobe une perte de charge d'une conduite plus une somme des charges nodales inconnues.

Cette formulation des équations nous permet d'écrire un système matriciel composé des produits et une somme.

La représentation matricielle de ce système d'équations est la suivante :

$$\begin{Bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \end{Bmatrix} = -H_R \begin{Bmatrix} -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Donc on peut écrire ce système matriciel sous la forme:

$$\{h_i\} + [A]^T * H_i = -H_R * \{A_R\}. \dots (II-10).$$

On remarque que la matrice $[A]^T$ se ressemble à la matrice d'incidence transposée de l'arbre couvrant, et la matrice $[A_R]$ correspond au vecteur d'incidence de point de référence.

Pour l'équation (II-10) on peut la simplifier pour tirer les inconnus (H_i) (les charges nodales):

$$(II-10) \Rightarrow [A]^T * H_i = -H_R * \{A_R\} - h_i$$

Multipliant les deux cotés par l'inverse de la matrice $[A]$, c-a d la matrice $[A^T]^{-1}$.

$$[A^T]^{-1} * [A^T] * H_i = [A^T]^{-1} * (-H_R * \{A_R\} - h_i).$$

Ce qui donne :

$$H_i = - [A^T]^{-1} * (H_R * \{A_R\} + h_i). \dots (II-11).$$

Il apparut dans l'équation (II-11) pour trouver le vecteur des charges nodales il faut multiplier le vecteur d'incidence de nœud de référence par la charge totale de ce nœud qui doit être connue, cette opération matricielle est une multiplication de vecteur par une constante, puis sommer le vecteur résultant avec le vecteur des pertes de charge des conduite de l'arbre de recouvrement, par la suite multiplier le vecteur résultant de la somme par la matrice inverse de la matrice d'incidence transposée.

On note qu'il est démontré dans la théorie des graphes que la matrice d'incidence de l'arbre de recouvrement est inversible (MAHDJOUR, 1982)

Dans notre programme on a utilisé la méthode de Jordan pour effectuer la recherche de la matrice inverse, la démonstration de l'algorithme de Jordan n'est pas le sujet de notre travail.

Donc après la recherche de la matrice $[A^T]^{-1}$ on peut par des multiplications matricielles trouver le vecteur des charges nodales.

II.5.2-Calcul des pressions :

La détermination des charges nodales rendre le calcul des pressions au sol très simple.

La loi de Bernoulli indiquant la relation entre la charge totale, la pression et la vitesse est la suivante :

$$H = \frac{P}{\rho g} + Z + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (II - 12)$$

Telle que :

- H : La charge totale en (m.c.e)
- Z : La cote de point en (m).
- $\frac{P}{\rho g}$: La hauteur due à la pression en (m.c.e).
- $\frac{V^2}{2g}$: La hauteur due à la vitesse (m.c.e).

Donc la valeur de la hauteur due à la pression sera :

$$\frac{P}{\rho g} = H - Z - \frac{V^2}{2g}$$

Dans un nœud donné on ne sait pas quelle est la vitesse d'écoulement et par mesure de simplification on néglige la hauteur due à la vitesse d'écoulement qu'est généralement une valeur minimale (quelques centimètres).

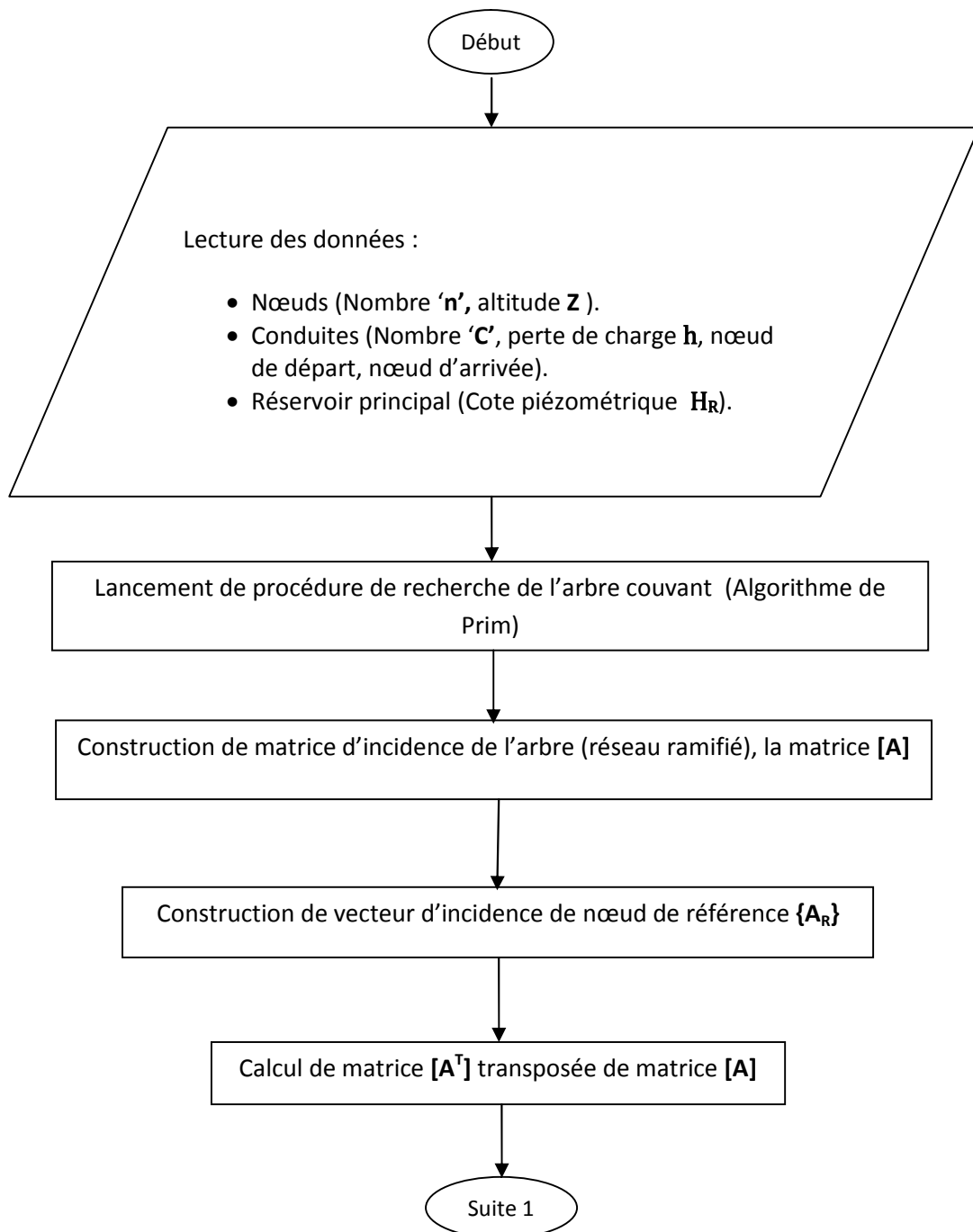
Pour notre programme la hauteur due à la pression est calculée comme suit :

$$\frac{P}{\rho g} = H - Z \dots\dots\dots (-)$$

Par simple soustraction, on peut tirer la valeur de pression pour un nœud donné en mètre colonne d'eau (m.c.e) et convertir la valeur en différentes unités de pression.

II.5.3-L'organigramme de la méthode de calcul des charges et des pressions nodales :

On présente dans la partie ci-dessous l'organigramme de calcul des charges et pressions nodales par la méthode matricielle décrite précédemment de manière générale.



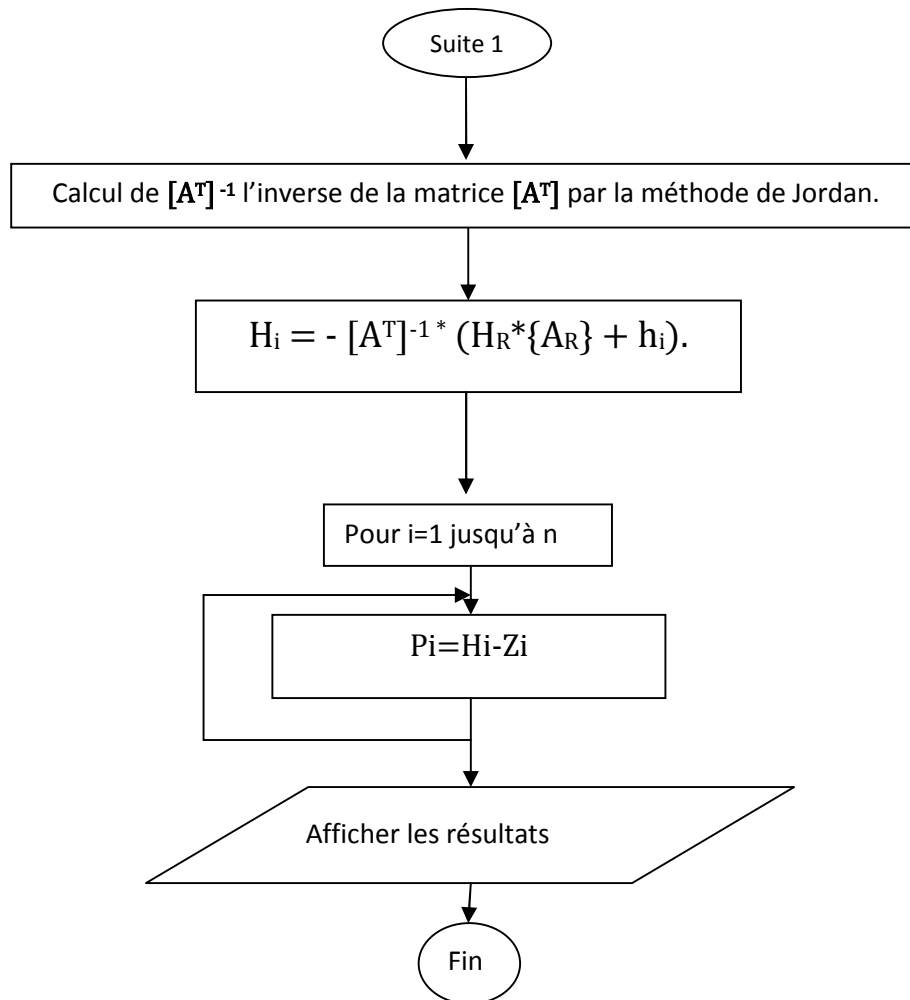


Figure N°16-L'organigramme de la méthode de calcul des charges et pressions aux nœuds.

On passe à un exemple fictif de comparaison afin de valider les résultats obtenus par notre code de calcul.

II.6-Exemple de comparaison :

Dans le but de valider les résultats obtenus par notre programme on présente dans cette partie un exemple de comparaison entre notre programme et une version de logiciel de calcul hydraulique qui est le logiciel Epanet, ainsi une validation par vérification des lois des nœuds et des milles. On prend le réseau mixte apparu dans la figure suivante avec des données fictives:

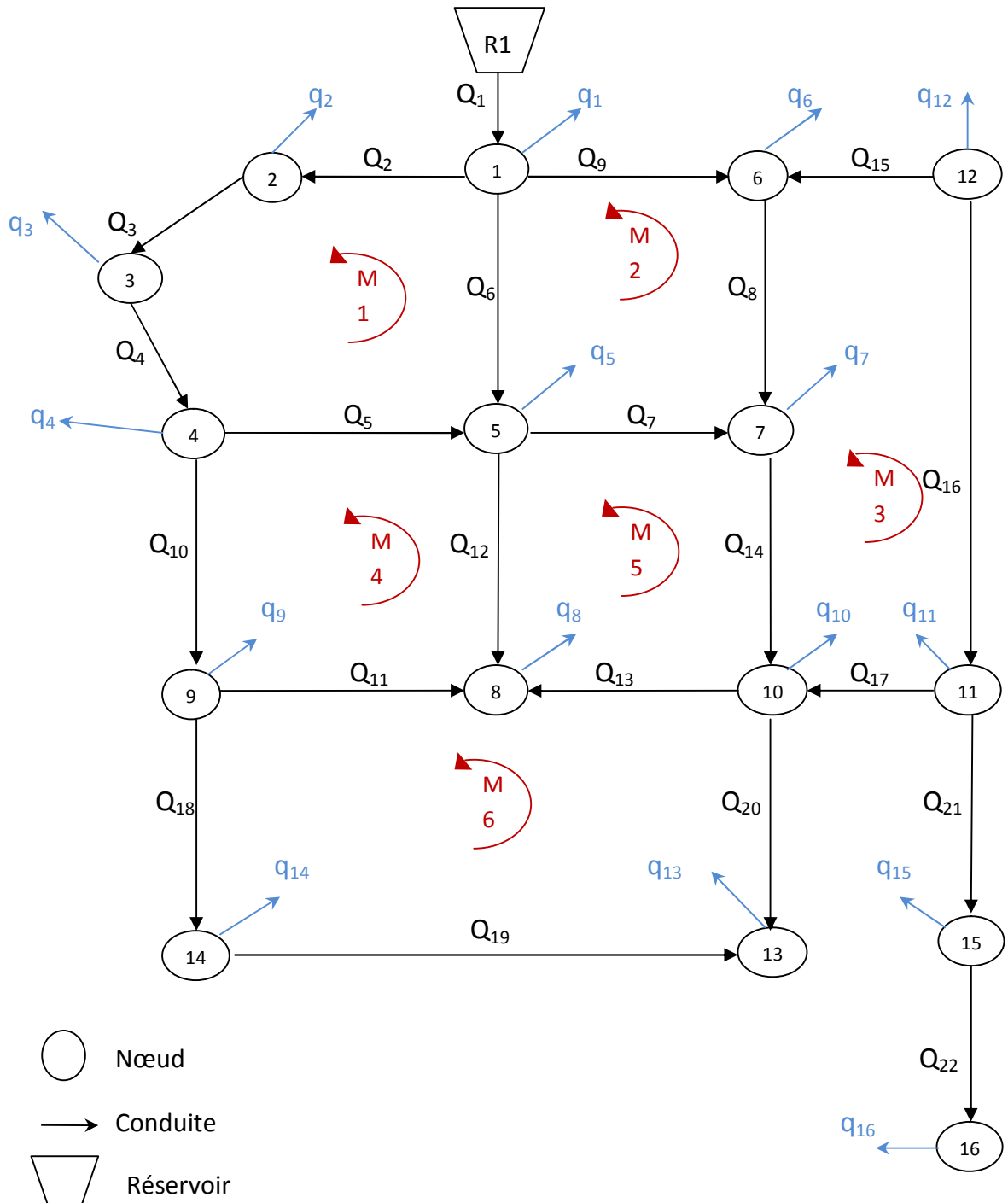


Figure N°17-Schéma d'un réseau mixte.

II.6.1-Les données de l'exemple:

On ne prend que les propriétés nécessaires pour le calcul de distribution des débits et des charges.

Concernant les nœuds, on prend les débits (les demandes aux nœuds) et les élévations.

Pour le réservoir on ne considère que la cote de radier supposant que c'est la charge de référence de réseau.

Pour les conduites, on prend: les diamètres, les longueurs et les rugosités.

A. Les nœuds :

Tableau N° 1 : Les débits et les élévations des nœuds.

Nœud	Demande q (l/s)	Élévation (m)
1	10	12
2	8	15
3	3	20
4	6	13
5	12	25
6	8	14
7	9	11
8	10	10
9	6	17
10	11	18
11	12	6
12	10	15
13	8	22
14	8	16
15	4	8
16	6	10

B. Les Réservoirs:

Tableau N° 2: Caractéristiques de réservoir.

Réservoir	Cote de radier
R1	40

C. Les conduites :

Tableau N° 3: Caractéristiques des conduites.

Conduite	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Rugosité (mm)
1	350	400	0.3
2	200	120	0.1
3	150	150	0.2
4	150	200	0.15
5	150	250	0.25
6	200	180	0.1
7	150	150	0.08
8	150	220	0.1
9	200	140	0.12
10	150	220	0.14
11	125	250	0.25
12	150	140	0.3
13	125	150	0.1
14	150	210	0.2
15	150	135	0.2
16	125	300	0.15
17	100	145	0.1
18	100	100	0.1
19	100	410	0.3
20	100	100	0.3
21	125	100	0.15
22	100	140	0.1

Considérations de résolution :

- On prend la viscosité cinématique de l'eau $\nu=1.004 \cdot 10^{-6}$ m²/s (eau à 20°C).
- Le critère d'arrêt de calcul de distribution des débits pour notre programme est :

$$|Q_i^{(k)} - Q_i^{(k-1)}| < \epsilon$$

- Le calcul des pertes de charge des conduites se fait par la formule de « Darcy-Weisbach ».
- Le calcul de coefficient de frottement (λ) se fait par la formule de « Colebrook ».
- Le critère d'arrêt des itérations lors le calcul de coefficient de frottement (λ) est :

$$|\lambda^{(k)} - \lambda^{(k-1)}| \leq \epsilon$$

- La méthode de résolution de matrice est la méthode de « Gausse ».
- La recherche de la matrice inverse se fait la méthode de « Jordan ».

II.6.2- Résultats et interprétation:

Les résultats de simulation concernant la répartition des débits, vitesses d'écoulement dans les conduites, charges et pressions nodales, ainsi les résultats de calcul des coefficients de frottement (λ) et les pertes de charges des conduites trouvés par les deux programmes et en plus les résultats de vérification de loi des nœuds et loi des mailles.

II.6.2.1-La distribution des débits et des vitesses:

Tableau N° 4: Comparaison des résultats de distribution des débits et des vitesses pour les deux logiciels.

Conduite	Notre programme	Epanet	ΔQ	Notre programme	Epanet	ΔV
	Débit Q (l/s)	Débit Q (l/s)		Vitesse V (m/s)	Vitesse V (m/s)	
1	131	131	0.000	1.362	1.362	0
2	25.077	25.074	0.003	0.798	0.798	0
3	17.077	17.074	0.003	0.966	0.966	0
4	14.077	14.074	0.003	0.797	0.796	0.001
5	-6.62	-6.622	0.002	0.375	0.375	0
6	49.798	49.804	0.006	1.585	1.585	0
7	11.758	11.76	0.002	0.665	0.665	0
8	15.054	15.053	0.001	0.852	0.852	0
9	46.125	46.122	0.003	1.468	1.468	0
10	14.696	14.696	0.000	0.832	0.832	0
11	-0.564	-0.564	0.000	0.046	0.046	0
12	19.421	19.422	0.001	1.099	1.099	0
13	-8.858	-8.858	0.000	0.722	0.722	0
14	17.812	17.813	0.001	1.008	1.008	0
15	-23.071	-23.069	0.002	1.306	1.305	0.001
16	13.071	13.069	0.002	1.065	1.065	0
17	-8.929	-8.931	0.002	1.137	1.137	0
18	9.26	9.26	0.000	1.179	1.179	0
19	1.26	1.26	0.000	0.160	0.16	0
20	6.74	6.74	0.000	0.858	0.858	0
21	10	10	0.000	0.815	0.815	0
22	6	6	0.000	0.764	0.764	0

Tableau N° 5: Coefficients de frottement (λ) et les pertes de charge calculées par notre programme et le logiciel Epanet.

Conduite	Notre programme	Epanet	$\Delta\lambda$	Notre programme	Epanet	Δh
	Coefficient (λ)	Coefficient (λ)		Perte de charge h (m)	Perte de charge h (m)	
1	0.0196	0.0197	0.00013	2.119	2.131	0.012
2	0.0192	0.0194	0.00015	0.375	0.377	0.002
3	0.0226	0.0228	0.00022	1.087	1.086	0.001
4	0.0218	0.0220	0.00019	0.941	0.948	0.007
5	0.0254	0.0257	0.00025	0.303	0.306	0.003
6	0.0181	0.0183	0.00015	2.091	2.104	0.013
7	0.0205	0.0206	0.00006	0.462	0.464	0.002
8	0.0204	0.0206	0.00016	1.109	1.115	0.006
9	0.0188	0.0189	0.00011	1.444	1.454	0.01
10	0.0215	0.0217	0.00016	1.112	1.12	0.008
11	0.0383	0.0372	0.00114	0.008	0.008	0
12	0.0245	0.0247	0.00018	1.407	1.418	0.011
13	0.0217	0.0219	0.00017	0.692	0.697	0.005
14	0.0226	0.0228	0.00016	1.637	1.65	0.013
15	0.0223	0.0224	0.00014	1.742	1.754	0.012
16	0.0223	0.0225	0.00020	3.099	3.122	0.023
17	0.0219	0.0221	0.00018	2.094	2.11	0.016
18	0.0219	0.0220	0.00012	1.548	1.56	0.012
19	0.0325	0.0329	0.00041	0.175	0.177	0.002
20	0.0277	0.0279	0.00022	1.039	1.048	0.009
21	0.0228	0.0230	0.00017	0.617	0.622	0.005
22	0.0228	0.0230	0.00016	0.950	0.956	0.006

La vérification de la loi des mailles pour notre programme.

Tableau N° 6: La somme algébrique des pertes de charge dans les mailles.

Maille	La somme des pertes de charge
1	1.14E-17
2	2.22E-16
3	2.20E-16
4	1.45E-16
5	2.30E-17
6	1.12E-16

- ❖ Le nombre des itérations **N=22**.
- ❖ Selon la machine utilisée, le temps de calcul pour cet exemple :
 - T=225 milliseconde = 0.225 seconde ; exécution sous une machine à processeur Pentium® 4 de vitesse = 2.26 Gigahertz (GHz) et 392 Mégabits (MB) de mémoire ; système d'exploitation Windows XP®.
 - T=158 milliseconde =0.158 seconde ; exécution sous machine à processeur Pentium® Dual-Core de vitesse 2.0 Gigahertz (GHz) et 1 Gigabits (GB) de mémoire ; système d'exploitation Windows XP®.

La vérification de loi des nœuds pour les résultats trouvés par notre programme.

Tableau N° 7: Vérification de loi des nœuds pour notre programme.

Nœud	Demande q (l/s)	La loi des nœuds	La somme des débits (l/s)
1	10	$Q_1 - Q_2 - Q_6 - Q_9 - q_1 = 0$	0
2	8	$Q_2 - Q_3 - q_2 = 0$	0
3	3	$Q_3 - Q_4 - q_3 = 0$	0
4	6	$Q_4 - Q_5 - Q_{10} - q_4 = 0$	0,001
5	12	$Q_5 + Q_6 - Q_7 - Q_{12} - q_5 = 0$	-0,001
6	8	$Q_9 + Q_{15} - Q_8 - q_6 = 0$	0
7	9	$Q_8 + Q_7 - Q_{14} - q_7 = 0$	0
8	10	$Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} - q_8 = 0$	-0,001
9	6	$Q_{10} - Q_{11} - Q_{18} - q_9 = 0$	0
10	11	$Q_{14} + Q_{17} - Q_{13} - Q_{20} - q_{10} = 0$	0,001
11	12	$Q_{16} - Q_{17} - Q_{21} - q_{11} = 0$	0
12	10	$Q_{15} - Q_{16} - q_{12} = 0$	0
13	8	$Q_{20} + Q_{19} - q_{13} = 0$	0
14	8	$Q_{18} - Q_{19} - q_{14} = 0$	0
15	4	$Q_{21} - Q_{22} - q_{15} = 0$	0
16	6	$Q_{22} - q_{16} = 0$	0

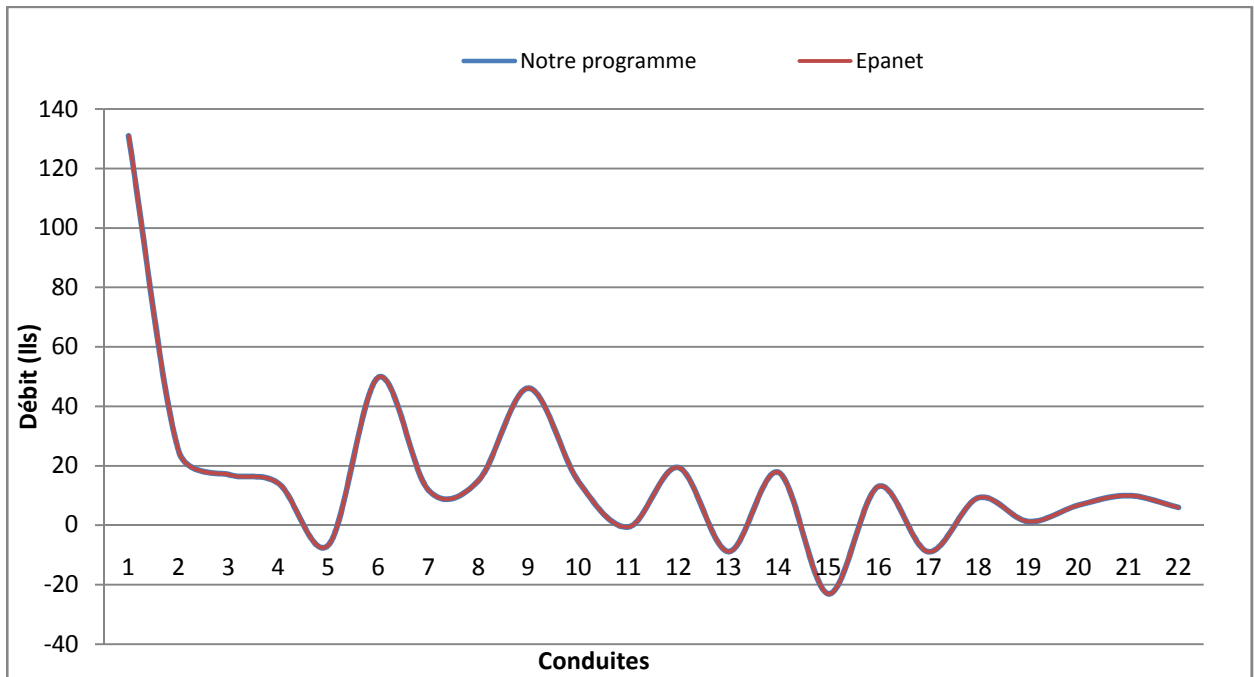


Figure N° 18: Comparaison des résultats des débits trouvés par notre programme et le logiciel Epanet.

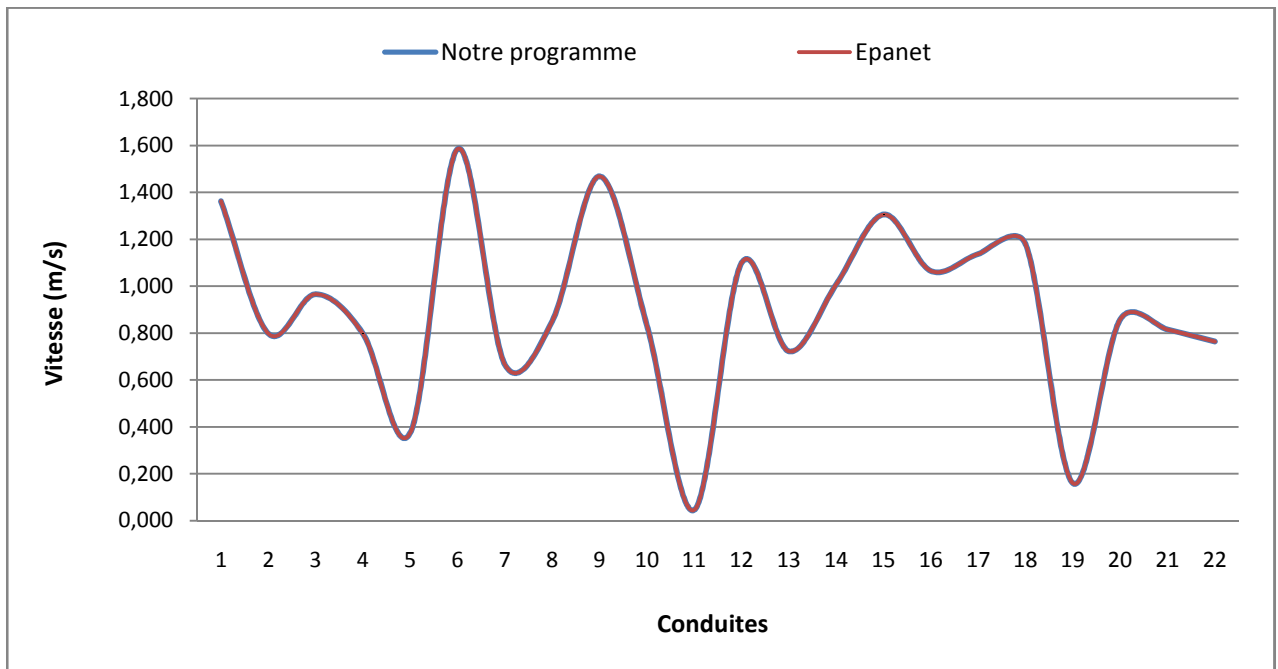


Figure N° 19: Comparaison des résultats de calcul des vitesses par les deux programmes.

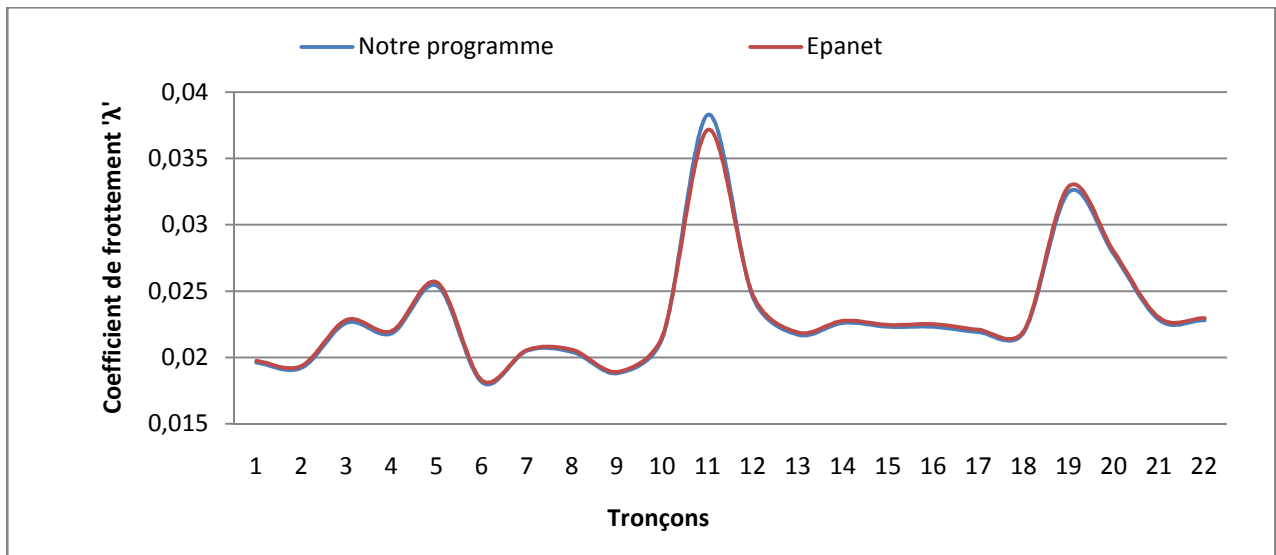


Figure N°20: Comparaison des résultats de calcul de coefficient de frottement (λ) par notre programme et Epanet.

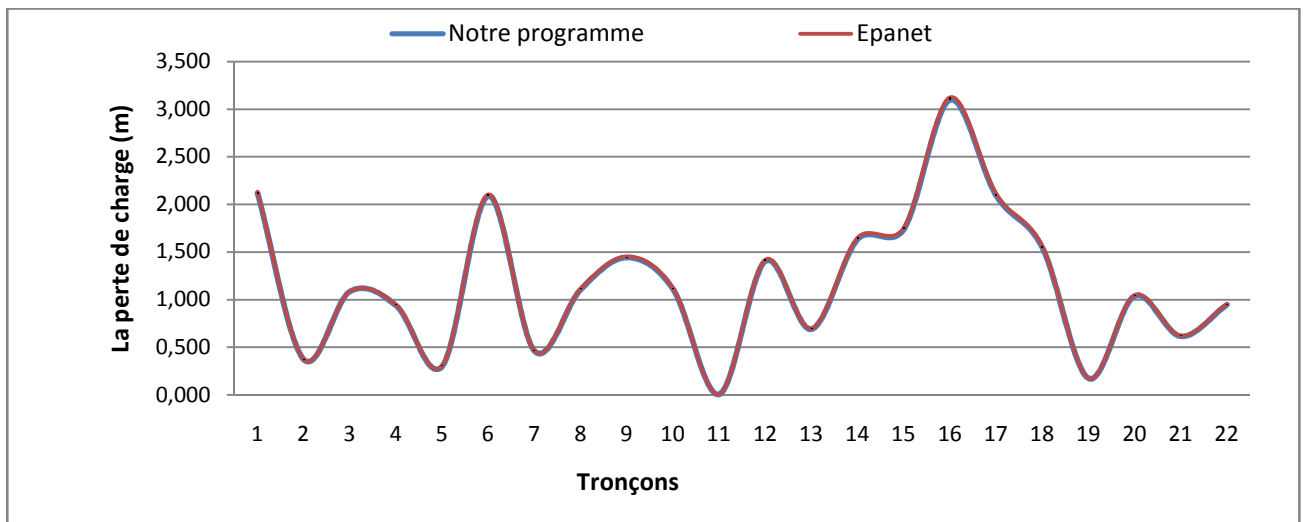


Figure N°21: Comparaison des résultats de calcul de perte de charge par les deux programmes.

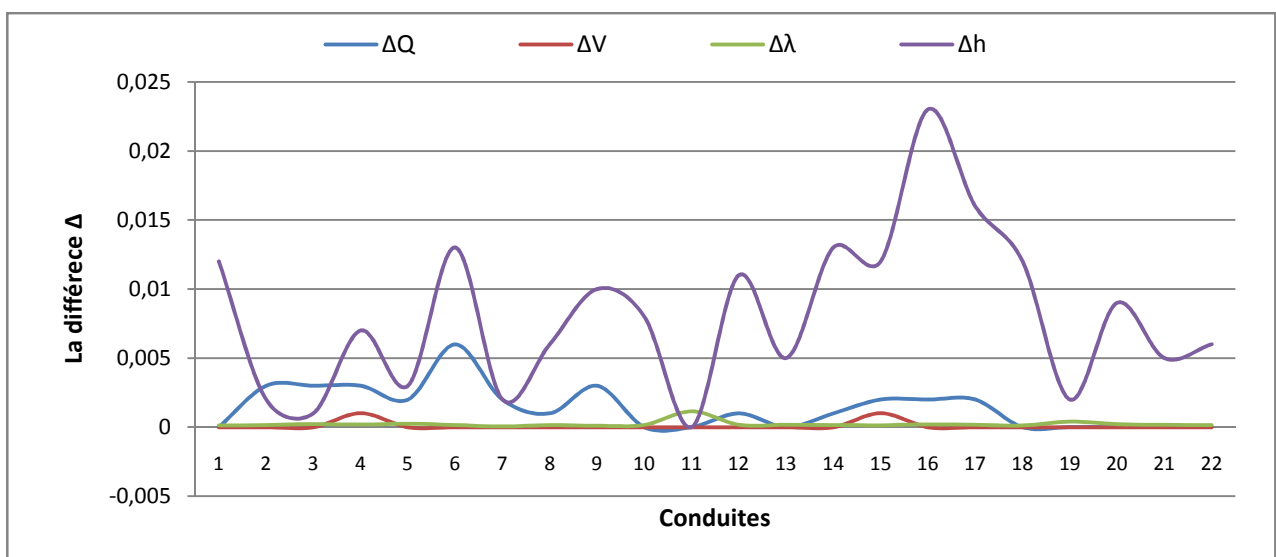


Figure N°22: Les différences entre les résultats de calcul des débits, vitesses, coefficients de frottement et pertes de charge entre notre programme et Epanet.

II.6.2.2-Interprétation des résultats :

Par la comparaison des résultats de distribution des débits trouvés par notre programme et le logiciel Epanet, on remarque que les résultats obtenues par notre programme sont très proches aux celles trouvés par logiciel Epanet.

Pour les branches appartenant aux mailles, on remarque une différence maximale entre les débits de l'ordre de (0.006 l/s) et minimale de (0 l/s) où les résultats se confondent.

Concernant les branches de ramification, notre programme et le logiciel Epanet trouvent les mêmes résultats.

On note que le logiciel Epanet utilise un algorithme de résolution connue sous le nom de l'algorithme de gradient développé par deux hydrauliciens Italiens qui sont « Ezio Todini » et « Salgado Pilati » en 1987, c'est un algorithme itératif. Par contre notre programme utilise la méthode matricielle directe décrite dans ce chapitre. Donc l'usage des méthodes de résolution différentes peut provoquer des résultats différents mais dans une marge acceptable.

Pour les vitesses d'écoulement dans les conduites, les résultats trouvés par notre programme et celle qui sont trouvés par le Epanet se confondent pour la plus parts des tronçons, le décalage maximal observé est de l'ordre de (0.001 m/s) et pour deux branches seulement.

On a remarqué un décalage entre les valeurs des vitesses trouvées par les deux logiciels, ce décalage s'explique par la distribution des débits résultante qu'est légèrement différente.

Concernant les résultats de calcul des coefficients de frottement (λ) utilisés pour le calcul des pertes de charges linéaires des conduites, on remarque une différence minimale de l'ordre de ($0.00006 = 6 \cdot 10^{-5}$), et une différence maximale de l'ordre de ($0.00114 = 1.14 \cdot 10^{-3}$) entre les valeurs calculés par notre programme et les valeurs calculés par le Epanet.

Les différences entre les résultats trouvés par les deux logiciels s'expliquent par la condition d'arrêt des itérations utilisée par le logiciel Epanet et le nombre maximal d'itération imposé lors le calcul de coefficient de frottement (λ), ces deux paramètres on ne peut pas les contrôler.

Les différences entre les résultats des pertes de charge calculées par les deux logiciels commencent de valeur (0m.c.e) où ils trouvent les mêmes valeurs jusqu'à une différence de (0.023 m.c.e). Et comme les pertes de charge sont nettement liées aux coefficients de frottement et aux débits transportés par les conduites, un changement de coefficient de frottement ou de valeur de débit provoque un résultat différent de valeur de perte de charge.

Les résultats apparus dans le tableau N°6 montre que notre programme arrive à satisfaire la loi des mailles avec excellence, pour toutes les mailles la somme algébrique des pertes de charge est inférieure à 10^{-15} m.c.e donc elle est proche à la valeur théorique qui est la valeur nulle (0 m.c.e). Ainsi le tableau N°7, montrent que la loi des nœuds est vérifiée, la somme des débits à un nœud est nulle pour la plus part des nœuds, pour les sommes qui ne sont pas nulle c'est à cause de l'arrondissement des chiffres, sans oublier aussi l'erreur d'arrondissement provoquée par la machine (l'ordinateur) lors l'affectation de des différentes opérations de calcul.

Enfin, on peut dire que notre code de calcul est valide.

II.6.2.3-Résultats de calcul des charges et des pressions :

Tableau N° 8: Comparaison des charges et les pressions nodales calculées par notre programme avec celles calculées par le logiciel Epanet.

Nœud	Notre programme	Epanet	ΔH	Notre Programme	Epanet	ΔP
	Charge H (m.c.e)	Charge H (m.c.e)		Pression P (m.c.e)	Pression P (m.c.e)	
1	37.881	37.87	0.011	25.88	25.82	0.061
2	37.506	37.49	0.016	22.51	22.45	0.056
3	36.428	36.41	0.018	16.43	16.37	0.058
4	35.487	35.46	0.027	22.49	22.41	0.077
5	35.790	35.76	0.03	10.79	10.74	0.05
6	37.419	36.42	0.999	23.42	22.37	1.049
7	34.346	35.3	0.954	23.35	24.25	0.904
8	34.678	34.35	0.328	24.68	24.3	0.378
9	34.080	34.34	0.26	17.08	17.3	0.22
10	33.985	33.65	0.335	15.99	15.62	0.365
11	32.244	31.54	0.704	26.24	25.49	0.754
12	35.325	34.66	0.665	20.33	19.62	0.705
13	32.437	32.6	0.163	10.44	10.58	0.143
14	33.041	32.78	0.261	17.04	16.75	0.291
15	31.627	30.92	0.707	23.63	22.87	0.757
16	30.68	29.96	0.717	20.68	19.92	0.757

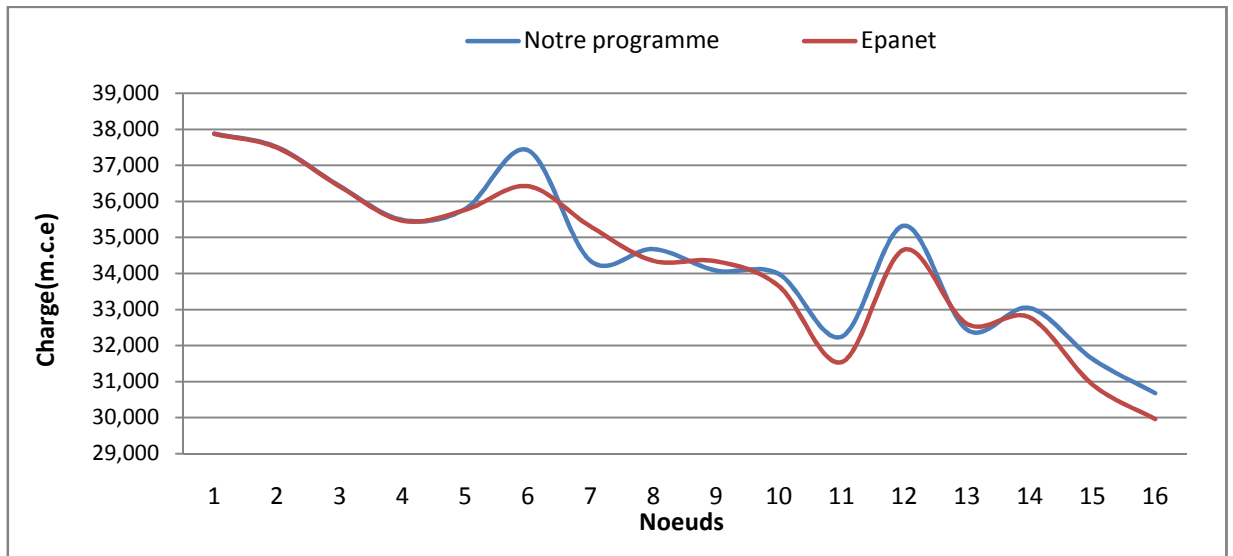


Figure N°23: Comparaison des résultats de calcul des charges de notre programme et Epanet.

Comme on a mentionné précédemment dans la partie (Calcul des charges) de ce chapitre, le calcul des charges et les pressions nodales par notre programme nécessite la connaissance de réseau ramifié (l'arbre couvrant) qui englobe le réseau considéré. Le réseau ramifié (l'arbre couvrant) utilisé par notre programme afin de calculer les charges nodales est le suivant :

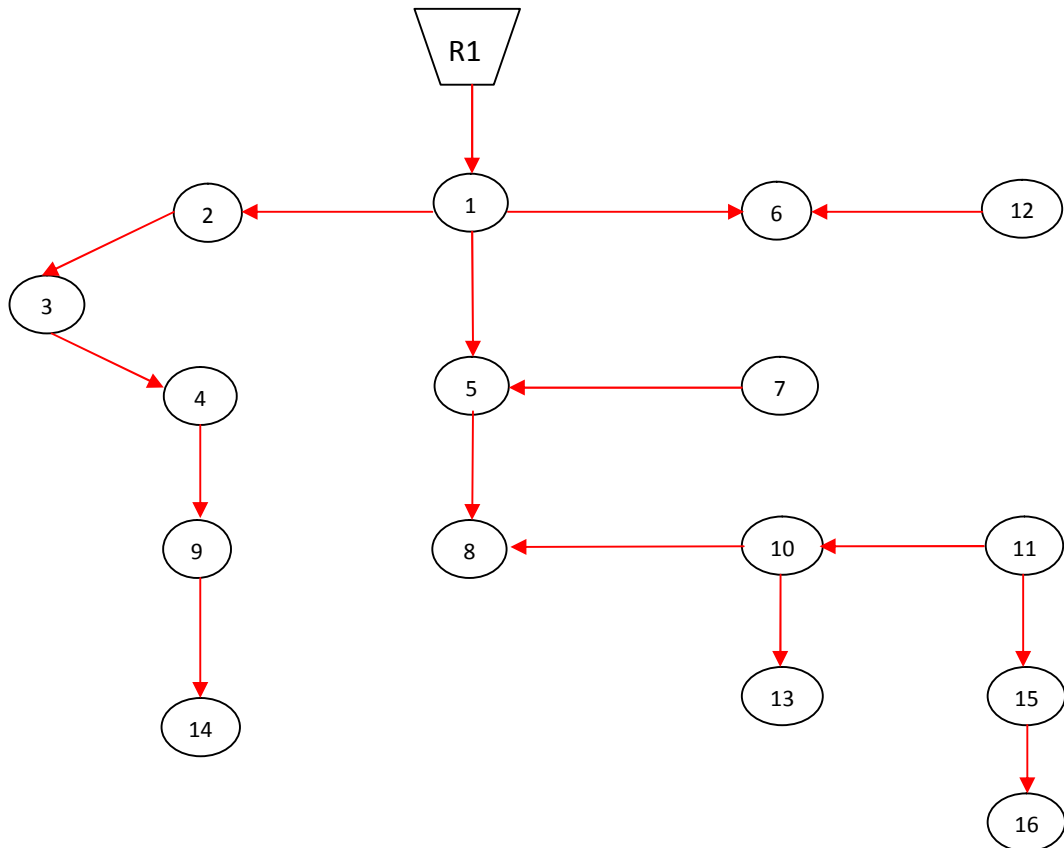


Figure N° 24: L'arbre couvrant (réseau ramifié) utilisé par notre programme pour le calcul des charges nodales.

II.6.2.4-Interprétation des résultats :

Concernant le calcul des charges nodales, on remarque des différences importantes entre les valeurs trouvées par notre programme et celles trouvées par le logiciel Epanet. Les différences commencent par une valeur minimale d'environ ($\Delta H=0.01$ m.c.e), et touchent une valeur maximale de ($\Delta H =1$ m.c.e).

En ce qui concerne les pressions aux nœuds, tout d'abord on remarque une différence de pression qui dépasse la valeur de ($\Delta P =1$ m.c.e), et une différence minimale de l'ordre de ($\Delta P =0.011$) entre les résultats de notre programme et celles de Epanet.

Pour les valeurs de pression calculées par l'Epanet, on remarque que les pressions ne sont pas calculées par la méthode utilisée par notre programme qui est :

$$= -$$

Telle que :

- H : la charge totale au niveau de nœud ou bien la cote piézométrique en (m.c.e).
- Z : la cote de terrain de nœud ou bien niveau au sol en (m).
- P : la pression au sol en (m.c.e).

Donc il y a une introduction de certain coefficient de perte de charge singulière due au changement de direction à l'élargissement et au rétrécissement brusque dans les conduite et au niveau de branchement.

Il est évident que les charges et les pressions nodales sont liées aux pertes des charges au niveau des conduites et comme les pertes de charge se diffèrent il résulte des pressions et des charges totales différentes.

On note aussi que d'après les documentations de l'aide de logiciel Epanet, durant le calcul, il considère au plus les pertes de charge linéaires les pertes de charge singulières, par contre dans notre programme on ne considère que les pertes de charge linéaires, ce qu'explique la différence entre les résultats trouvés par les deux logiciels.

II.6.3- Constatations :

D'après les résultats de comparaison entre notre programme et le logiciel Epanet, on remarque que les résultats de distribution des débits se diffèrent mais ils sont très proches et aussi les vitesses d'écoulement.

Le décalage entre les résultats de calcul des coefficients de frottement due à la précision désirée et au critère d'arrêt des itérations de calcul des ces coefficients.

Le décalage remarquable entre les résultats de calcul des pertes de charge ainsi les pressions et charges nodales due à l'impact de distribution des débits, les coefficients de frottement qui sont différents et aussi la considération des pertes de charge singulières par le Epanet.

La différence entre les résultats due aussi à l'usage des algorithmes et des méthodes de résolution différentes.

Il est connu que les méthodes itératives de résolution donnent des résultats approchés (ne sont pas exacts) selon l'erreur maximale permise (acceptable) fixée au départ qui indique la précision de calcul désirée et due aussi à la convergence de la méthode de résolution utilisée.

Par validation des résultats de simulation de notre code de calcul avec les deux lois gouvernantes le phénomène de circulation de l'eau dans les réseaux de distribution en charge qui sont la loi des nœuds et la loi des mailles, il résulte hors toute doute que notre code donne des bons résultats.

II.7-Stabilité et convergence de la méthode matricielle directe :

Les essais poursuivis jusqu'à maintenant sur la méthode matricielle directe des débits ont prouvé, hors de tout doute, la supériorité de la stabilité de ce schéma numérique par rapport aux méthodes précédentes (Robert, J.-L. 2004) décrite dans la partie (Brève historique de ce chapitre).

D'après les essais qu'on a déjà effectués sur la méthode matricielle directe utilisée comme moteur de calcul pour notre programme en utilisant des réseaux quelconques maillés et hybrides (maillés et ramifiés), on a remarqué que la méthode est stable.

Concernant la convergence de la méthode, on a remarqué que la loi des nœuds est toujours vérifiée en considérant une marge d'erreur(ξ) acceptable ($\xi < 10^{-5}$) dans la majorité des réseaux traités.

En ce qui concerne la loi des mailles, comme on a mentionné dans l'exemple précédent (Tableau II-6:La somme algébrique des pertes de charge dans les mailles), la loi des mailles est vérifié en excellence (la somme algébrique des pertes de charge est inférieur à 10^{-16} m.c.e donc très proche au zéro absolue '0').

Dans la plus part des réseaux qu'on a simulés, on a trouvé que la somme algébrique des pertes de charge au niveau des mailles est inférieure à $\xi=10^{-10}$ m.c.e, ce qui reflète la précision de la méthode. La vitesse de convergence de la méthode dépend des conditions de précision imposées et le volume de réseau, pour une précision de $\xi=10^{-6}$ par exemple, $| \text{ } - \text{ } | < =$

La convergence est atteinte à partir de nombre d'itération N=10 itérations et par fois le nombre d'itérations atteint N=15 itérations selon le réseau analysé.

Pour une précision de $\xi=10^{-4}$; $| \text{ } - \text{ } | < =$.

La convergence commence à partir de la dixième itération N=8. Donc selon la précision fixée au départ et le volume de réseau a simulé on peut avoir un nombre d'itération différent.

II.8-Conclusion :

La méthode matricielle directe des débits consiste la résolution simultanée des équations d'énergie et de conservation de la masse, ce qui solidifie cette méthode.

L'incorporation de notion de matrice d'incidence des nœuds ainsi la matrice d'incidence des mailles simplifie considérablement la formulation de système matriciel basé sur la méthode matricielle directe des débits, donc sans passer par l'écriture des équations de conservation de la masse pour les nœuds de réseau ou l'écriture des équations d'énergie pour les mailles il suffit de tirer les deux matrices d'incidence des nœuds et des mailles pour aboutir au système matriciel décrit par cette méthode.

L'ajout des branches fictives permet l'extension de la méthode matricielle des débits pour la résolution des réseaux de distribution à plusieurs réservoirs sans provoquer la déformation de comportement réel de réseau.

L'usage des notions et d'algorithmes de la théorie des graphes nous permet la mise en marche d'une méthode matricielle de calcul des charges et pressions nodales.

La comparaison de résultats de (débits, vitesses, pertes de charge, coefficients de frottement des conduites, charges et pressions aux nœuds) trouvés par notre programme avec un logiciel agréé qui est l'Epanet et la validation de ces résultats avec les deux lois (des mailles et des nœuds) montre la fiabilité de notre code de calcul.

Chapitre III :

Influence de diamètre de conduite
d'apport sur le remplissage de
réservoir d'équilibre.

III.1-Introduction :

Les réservoirs constituent les organes régulateurs de pression et de débit entre le régime de production et le régime de consommation, Ils permettent d'emmagasiner l'eau lorsque la consommation est inférieure à la production, et la restituent lorsque la consommation devient supérieure à la production.

Les réservoirs permettent, outre une régularité de fonctionnement des groupes de pompage, de profiter au maximum du tarif de nuit en énergie électrique.

Dans le cas où une agglomération s'étend dans une direction donnée, un réservoir unique et de hauteur convenable peut devenir insuffisant pour assurer une pression correcte en tout point du réseau et à tout moment, c'est alors que l'on a recours à un ou plusieurs réservoirs d'équilibre dit tampons puisqu'ils sont alimentés par une partie du réseau, implantés à des cotes légèrement en dessous de celle du réservoir principal.

Le remplissage du réservoir d'équilibre se fait gravitairement au moment des faibles consommations, c'est-à-dire principalement la nuit (GODART, 2001).

La journée, la charge à partir du réservoir principal diminue dans le réseau par suite de la consommation, ce réservoir d'équilibre alimente leur zone d'action avec des pressions supérieures à ce que pourrait fournir le réservoir principal seul (Bonvin, 2005).

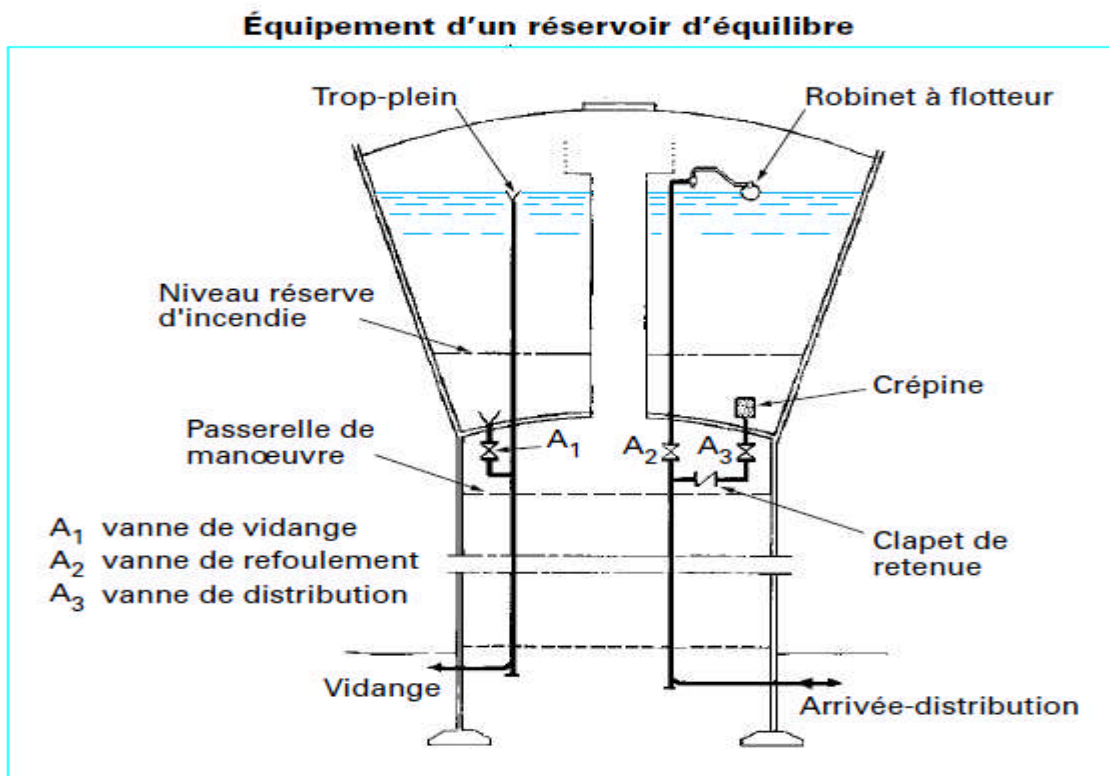


Figure N° 1: Equipements d'un réservoir d'équilibre (GODART, 2001).

Plusieurs paramètres influent sur la condition de remplissage du réservoir d'équilibre tels que l'altitude, le taux de surplus dans le réseau principal qui nettement lié à la variation instantanée de consommation de l'eau, les caractéristiques des organes du réseau (longueurs, diamètres et matériaux des conduites...etc.) aussi des singularités existantes (vannes, tés, réducteurs de pression...etc.), qui conditionnent et participent aux pertes de charges dans le réseau.

Pour un réseau existant, lors de l'implantation du réservoir d'équilibre, l'un des paramètres qui conditionne le remplissage de cet ouvrage et facilement manipulable c'est le diamètre de la conduite de l'adduction ou d'apport de ce réservoir.

III.2-Influence de diamètre de la conduite d'adduction sur les débits de remplissage du réservoir d'équilibre:

Pour les adductions gravitaires, le choix de diamètre de la conduite se répercute énormément sur le débit transporté, pour la même charge disponible, il résulte un débit différent pour chaque diamètre installé.

Par exemple, on prend le cas suivant :

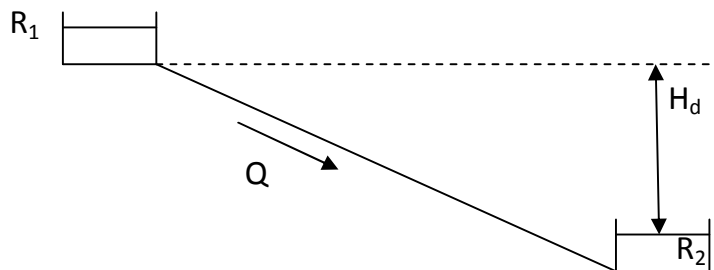


Figure N° 2: Schéma d'une adduction gravitaire en charge.

Pour la même charge disponible Hd on peut transporter une multitude des débits (Qi) toute en changeant le diamètre de la conduite d'adduction.

Exemple :

On prend la formule de calcul de perte de charge suivante :

$$\Delta = \frac{L \cdot Q^5}{C^5} \dots \dots (III - 1).$$

Avec :

- Δ : la perte de charge en (m.c.e).
- L : la longueur de la conduite en (m).
- Q : le débit en (m³/s).

- D : le diamètre de conduite en (m).
- K', m : des coefficients.

Pour une $H_d = 10$ m ; $L = 100$ m.

Pour une conduite en acier, $K' = 0.00179$; $B = 2$; $m = 5.3$.

On tire le terme (Q) de l'équation.

$$= \frac{\Delta}{\dots} = \frac{\Delta}{\dots}$$

On variant le diamètre de la conduite pour les mêmes données précédentes.

$$\begin{aligned} - \quad &= 100 \quad \Rightarrow \quad = \frac{\Delta}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} = 0.01673 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \quad = \dots \\ - \quad &= 150 \quad \Rightarrow \quad = \frac{\Delta}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} = 0.049 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \quad = \dots \\ - \quad &= 200 \quad \Rightarrow \quad = \frac{\Delta}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} = 0.10503 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \quad = \dots \\ &= 300 \quad \Rightarrow \quad = \frac{\Delta}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} = 0.30757 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \quad = \dots \end{aligned}$$

On remarque que pour une même charge disponible (H_d) en faisant varier le diamètre de la conduite d'adduction on peut obtenir plusieurs débits arrivant de réservoir R_1 vers le réservoir R_2 .

L'adduction d'un réservoir d'équilibre alimenté par un réseau existant, est sans doute gravitaire (sauf le cas de renforcement par pompage), L'idée est de profiter du critère précédent pour déterminer le diamètre optimal afin de cumuler le volume nécessaire dans le réservoir.

Dans cette partie on présente un exemple qui montre l'impact du choix de diamètre de la conduite d'apport de réservoir d'équilibre sur les débits de remplissage.

Dans cette étude on se limite à la partie amont du réservoir d'équilibre c.à.d. le puisage du réseau considéré par le réservoir d'équilibre n'est pas pris en considération. On mentionne aussi que la conduite d'adduction ou d'apport est un lien entre un nœud de réseau principal et le réservoir d'équilibre, cette conduite assure le transfert des débits supplémentaires pendant les heures creuses de consommation dans le réseau principal vers le réservoir d'équilibre.

On reprend le schéma de réseau de l'exemple précédent :

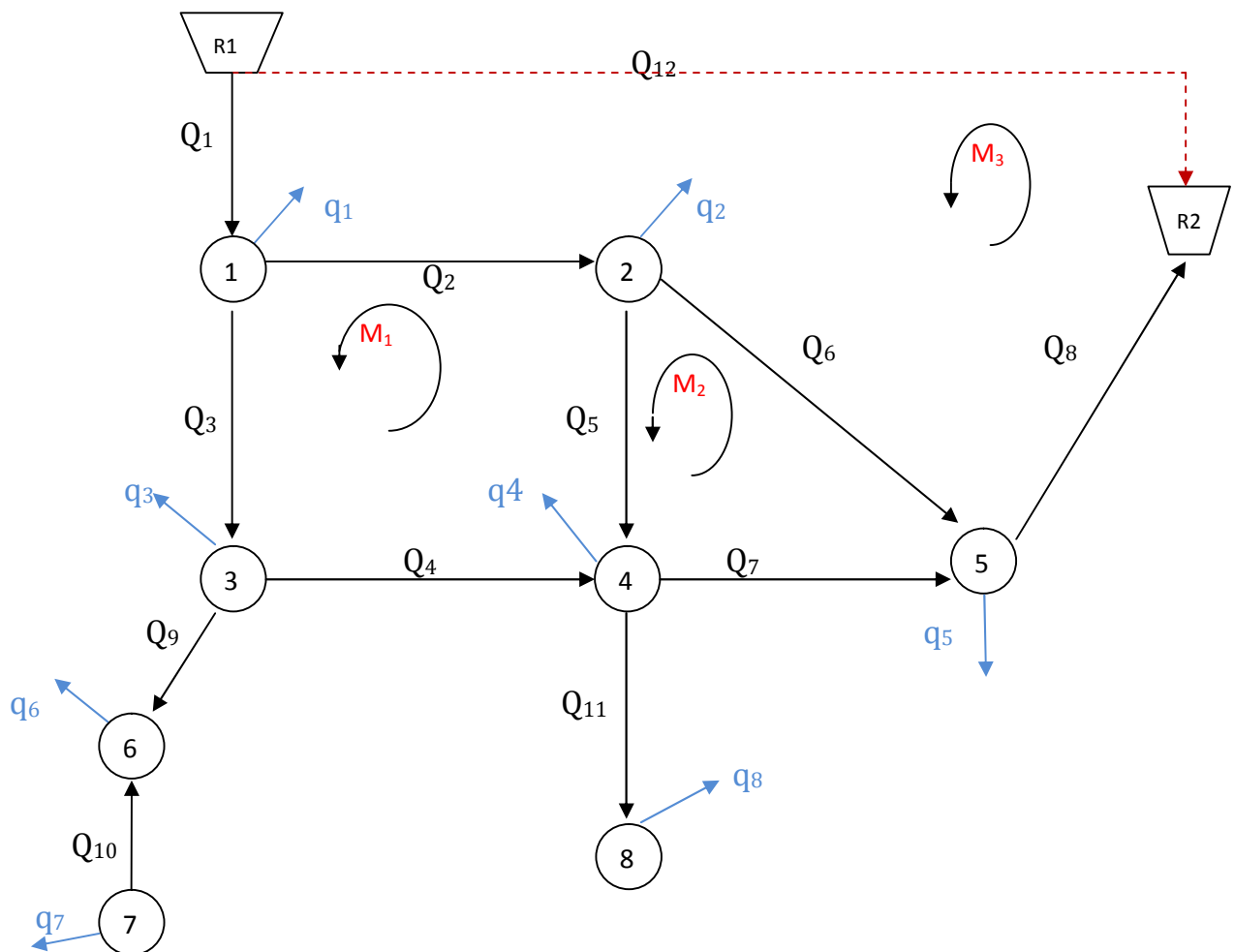


Figure N° 3: Schéma de réseau.

Pour l'illustration seulement, on prend un réseau fictif (diamètres et longueurs arbitraires), avec des débits nodaux aussi fictifs.

Les caractéristiques des conduites et des réservoirs sont consignées dans les tableaux suivants:

Tableau N° 1: Caractéristiques des conduites de réseau de la figure N° 3.

Conduite	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Rugosité absolue (mm)
1	300	500	0.1
2	200	400	0.1
3	200	400	0.1
4	150	400	0.1
5	150	400	0.1
6	150	400	0.1
7	150	400	0.1
8	Variable	800	0.1
9	200	500	0.1
10	200	500	0.1
11	200	700	0.1

Pour la conduite (8), on prend la gamme des diamètres suivante :

Φ100, Φ150, Φ200, Φ250, Φ300, Φ400, Φ500.

Tableau N° 2: caractéristiques des réservoirs

Réservoir	Considération	Cote de radier (m)	Dénivelé (m)
R1	Principal	50	10
R2	équilibre	40	

❖ Les débits nodaux :

Comme cité précédemment, on prend des débits fictifs avec des coefficients multiplicateurs de consommation horaires de l'eau.

Tableau N° 3: Les débits nodaux en (l/s) et coefficients de variation horaire de la consommation.

Nœuds		1	2	3	4	5	6	7	8
Demande de base		3	4	4	2.5	3	4	4	4.5
Heur	Coefficient	Débits aux nœuds (l/s)							
0--1	1.5	4.5	6	6	3.75	4.5	6	6	6.75
1--2	1.5	4.5	6	6	3.75	4.5	6	6	6.75
2--3	1.5	4.5	6	6	3.75	4.5	6	6	6.75
3--4	1.5	4.5	6	6	3.75	4.5	6	6	6.75
4--5	2.5	7.5	10	10	6.25	7.5	10	10	11.25
5--6	3.5	10.5	14	14	8.75	10.5	14	14	15.75
6--7	4.5	13.5	18	18	11.25	13.5	18	18	20.25
7--8	5.5	16.5	22	22	13.75	16.5	22	22	24.75
9--10	6.25	18.75	25	25	15.63	18.75	25	25	28.13

Tableau N° 3: Les débits nodaux en (l/s) et coefficients de variation horaire de la consommation (suite).

Nœuds		1	2	3	4	5	6	7	8
Demande de base		3	4	4	2.5	3	4	4	4.5
Heur	Coefficient	Débits aux nœuds (l/s)							
10--11	6.25	18.75	25	25	15.63	18.75	25	25	28.13
11--12	6.25	18.75	25	25	15.63	18.75	25	25	28.13
12--13	5	15	20	20	12.5	15	20	20	22.5
13--14	5	15	20	20	12.5	15	20	20	22.5
14--15	5.5	16.5	22	22	13.75	16.5	22	22	24.75
15--16	6	18	24	24	15	18	24	24	27
16--17	6	18	24	24	15	18	24	24	27
17--18	5.5	16.5	22	22	13.75	16.5	22	22	24.75
18--19	5	15	20	20	12.5	15	20	20	22.5
19--20	4.5	13.5	18	18	11.25	13.5	18	18	20.25
20--21	4	12	16	16	10	12	16	16	18
21--22	3	9	12	12	7.5	9	12	12	13.5
22-23	2	6	8	8	5	6	8	8	9
23--24	1.5	4.5	6	6	3.75	4.5	6	6	6.75

Remarque :

Pour notre programme le calcul de distribution des débits est effectué en prenant :

- La formule de calcul des pertes de charge de la conduite est celle de « Darcy-Weisbach ».
- Le coefficient de frottement (λ) est calculé par la formule de « Colebrook ».
- On prend la viscosité cinématique $\nu = 1.13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.
- La précision de calcul de coefficient de frottement (λ) est 10^{-3} .
Donc durant les itérations on arrête lorsque : $|\lambda^{(i+1)} - \lambda^{(i)}| = 0.001$
- La condition d'arrêt des itérations est lorsque pour toutes les conduites la condition suivante est vérifiée: $|\lambda - \lambda_{crit}| \leq \epsilon$. $\lambda = \dots$ =
- Seule la distribution des débits qui considérée.

Dans le but de tester deux scénarios de fonctionnement, le premier est la possibilité d'utiliser le réservoir R_2 comme un contre réservoir, c.-à-d. la contribution à l'alimentation de réseau principal pendant les heures de pointe et en même temps l'alimentation de la zone d'extension considéré par le réservoir d'équilibre (zone indépendante de réseau principal), ce scénario peut apparaître lorsque on supprime le clapet anti-retour placé dans la conduite d'adduction.

Le deuxième scénario se produit lorsqu'un clapet anti-retour est placé au niveau de la conduite d'adduction (la conduite N°8 dans notre schéma), le cas où le réservoir d'équilibre alimente une zone indépendante de réseau principal seulement.

Donc globalement on distingue deux cas, le premier cas en l'absence de clapet anti-retour, et le deuxième cas c'est en présence de ce dernier placé dans la conduite d'adduction (la conduite N°8).

III.2.1-Cas d'absence d'un clapet anti-retour dans la conduite d'apport :

Dans le premier cas (absence d'un clapet anti-retour au niveau de la conduite (8)), il y a la probabilité de vidange de réservoir par le réseau principal, c.-à-d. on peut avoir un écoulement de réservoir R_2 vers le nœud N°5, ce phénomène est nettement lié aux débits de consommation au niveau de réseau principal, si la demande en eau augmente au niveau de réseau le réservoir d'équilibre va participer à l'alimentation. Le fonctionnement de réservoir dans ce cas est semblable au contre réservoir.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau N° 4: Les débits (Q8) en (l/s) écoulant de et vers le réservoir R2 durant la journée pour différents diamètre de la conduite d'adduction de R₂.

Heure	Φ100	Φ150	Φ200	Φ250	Φ300	Φ400	Φ500
0--1	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
1--2	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
2--3	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
3--4	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
4--5	5.61	13.26	19.5	22.56	23.79	24.52	24.69
5--6	2.85	5.85	7.61	8.28	8.52	8.65	8.68
6--7	-3.41	-6.83	-8.83	-9.61	-9.89	-10.06	-10.09
7--8	-6.66	-14.76	-21.25	-24.74	-26.3	-27.29	-27.52
8--9	-8.64	-19.67	-29.43	-35.54	-38.67	-40.94	-41.52
9--10	-8.64	-19.67	-29.43	-35.54	-38.67	-40.94	-41.52
10--11	-8.64	-19.67	-29.43	-35.54	-38.67	-40.94	-41.52
11--12	-8.64	-19.67	-29.43	-35.54	-38.67	-40.94	-41.52
12--13	-5.18	-11.09	-15.34	-17.34	-18.16	-18.64	-18.75
13--14	-5.18	-11.09	-15.34	-17.34	-18.16	-18.64	-18.75
14--15	-6.66	-14.76	-21.25	-24.74	-26.3	-27.29	-27.52
15--16	-8.01	-18.08	-26.77	-31.97	-34.51	-36.23	-36.65
16--17	-8.01	-18.08	-26.77	-31.97	-34.51	-36.23	-36.65
17--18	-6.66	-14.76	-21.25	-24.74	-26.3	-27.29	-27.52
18--19	-5.18	-11.09	-15.34	-17.34	-18.16	-18.64	-18.75
19--20	-3.41	-6.83	-8.83	-9.61	-9.89	-10.06	-10.09
20--21	-0.71	-1.02	-1.1	-1.12	-1.13	-1.13	-1.14
21--22	4.48	10.11	14.19	16.01	16.71	17.12	17.21
22--23	6.46	15.76	24.01	28.33	30.14	31.22	31.47
23--24	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68

Remarque :

- La signe négative(-) indique que le débit est un débit sortant de réservoir R₂, c.à.d. de réservoir R₂ vers le nœud N° 5.

La représentation graphique des résultats précédents est apparue dans la figure suivante :

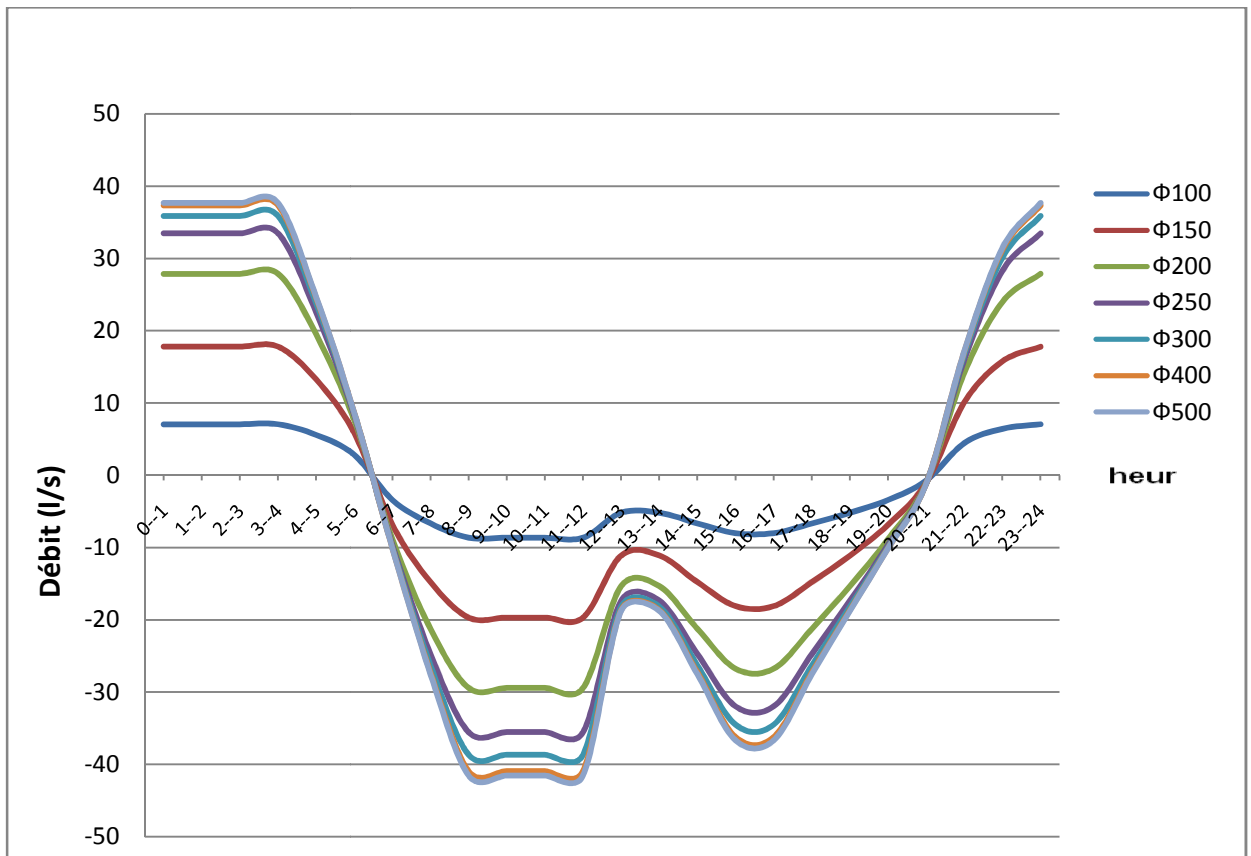


Figure N° 4: Courbes de variation de débits flués vers le réservoir R2 durant la journée pour différents diamètres de la conduite d'adduction.

Remarque :

On remarque que pendant les heures creuses de consommation (entre 0^h jusqu'à 6^h 30), les valeurs des débits sont positives, le sens d'écoulement est de nœud N°5 vers R₂, donc il y a remplissage de réservoir.

Le débit de remplissage augmente proportionnellement avec le diamètre de la conduite d'adduction, pour les diamètres (Φ100, Φ150, Φ200, Φ250) les valeurs de débits varient significativement mais pour les diamètres (Φ300, Φ400, Φ500), les écarts entre les débits ne sont pas importants que les écarts entre les diamètres, et pour les diamètres (Φ400, Φ500) notamment, on remarque un faible changement.

Au début de (6^h 30) l'écoulement change de sens et se transforme en un débit de vidange, ce scénario est remarqué pour tous les diamètres.

Les valeurs de débit de vidange augmentent au cours de temps avec l'augmentation de la consommation au niveau de réseau et jusqu'à (8^h) ils se stabilisent, cette stabilisation dure jusqu'à (12^h), puis à partir de (12^h) jusqu'à (14^h) les valeurs de débit de vidange diminuent et tout dépend de la variation de consommation au niveau de réseau principal.

On remarque aussi que les écarts entre les débits de vidange diminuent à chaque fois que les diamètres augmentent.

De (14^h) à (17^h) on remarque une autre augmentation des débits de vidage, cette augmentation est remarquable pour toutes les conduites et qui est due à l'augmentation de consommation au niveau de réseau.

A partir de (17^h) et jusqu'à (21^h), les débits de vidange diminuent progressivement, car la consommation de l'eau au niveau de réseau diminue.

On remarque aussi que les écarts entre les débits de vidange diminuent avec l'augmentation des diamètres.

A partir de (21^h) le remplissage est repris, les débits augmentent progressivement avec le temps à cause de diminution de consommation au niveau de réseau principal.

On remarque autre fois que pour la gamme de diamètres ($\Phi 100$, $\Phi 150$, $\Phi 200$, $\Phi 250$), l'écart entre les débits est important, et cet écart diminue de manière significatif pour les diamètres ($\Phi 300$, $\Phi 400$, $\Phi 500$).

En fin on peut dire que la variation de diamètre de la conduite d'adduction influe sur le débit transporté, pour certaine marge, l'augmentation de diamètre installé entraîne une augmentation de débit, mais cette influence ne sera pas significative si on dépasse certaine gamme de diamètres, car les débits transportés se stabilisent.

En parlant maintenant de la possibilité de faire fonctionner le réservoir R_2 comme réservoir d'équilibre et contre réservoir :

En sommant les volumes de remplissage qui s'écoulent vers le réservoir et en retranchant les volumes de vidange écoulant vers le réseau principal, le tableau suivant montre les résultats.

Tableau N°5 : Volumes cumulés en (m³) dans le réservoir durant la journée pour différents diamètres de la conduite d'adduction :

Heur	Φ100	Φ150	Φ200	Φ250	Φ300	Φ400	Φ500
0--1	25.524	64.044	100.404	120.564	129.204	134.424	135.648
1--2	51.048	128.088	200.808	241.128	258.408	268.848	271.296
2--3	76.572	192.132	301.212	361.692	387.612	403.272	406.944
3--4	102.096	256.176	401.616	482.256	516.816	537.696	542.592
4--5	122.292	303.912	471.816	563.472	602.46	625.968	631.476
5--6	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
6--7	120.276	300.384	467.424	558.684	597.528	620.892	626.4
7--8	96.3	247.248	390.924	469.62	502.848	522.648	527.328
8--9	65.196	176.436	284.976	341.676	363.636	375.264	377.856
9--10	34.092	105.624	179.028	213.732	224.424	227.88	228.384
10--11	2.988	34.812	73.08	85.788	85.212	80.496	78.912
11--12	-28.116	-36	-32.868	-42.156	-54	-66.888	-70.56
12--13	-46.764	-75.924	-88.092	-104.58	-119.376	-133.992	-138.06
13--14	-65.412	-115.848	-143.316	-167.004	-184.752	-201.096	-205.56
14--15	-89.388	-168.984	-219.816	-256.068	-279.432	-299.34	-304.632
15--16	-118.224	-234.072	-316.188	-371.16	-403.668	-429.768	-436.572
16--17	-147.06	-299.16	-412.56	-486.252	-527.904	-560.196	-568.512
17--18	-171.036	-352.296	-489.06	-575.316	-622.584	-658.44	-667.584
18--19	-189.684	-392.22	-544.284	-637.74	-687.96	-725.544	-735.084
19--20	-201.96	-416.808	-576.072	-672.336	-723.564	-761.76	-771.408
20--21	-204.516	-420.48	-580.032	-676.368	-727.632	-765.828	-775.512
21--22	-188.388	-384.084	-528.948	-618.732	-667.476	-704.196	-713.556
22--23	-165.132	-327.348	-442.512	-516.744	-558.972	-591.804	-600.264
23--24	-139.608	-263.304	-342.108	-396.18	-429.768	-457.38	-464.616

Les courbes de variation de volume cumulé dans le réservoir pour la gamme des diamètres choisi sont représentées dans la figure suivante :

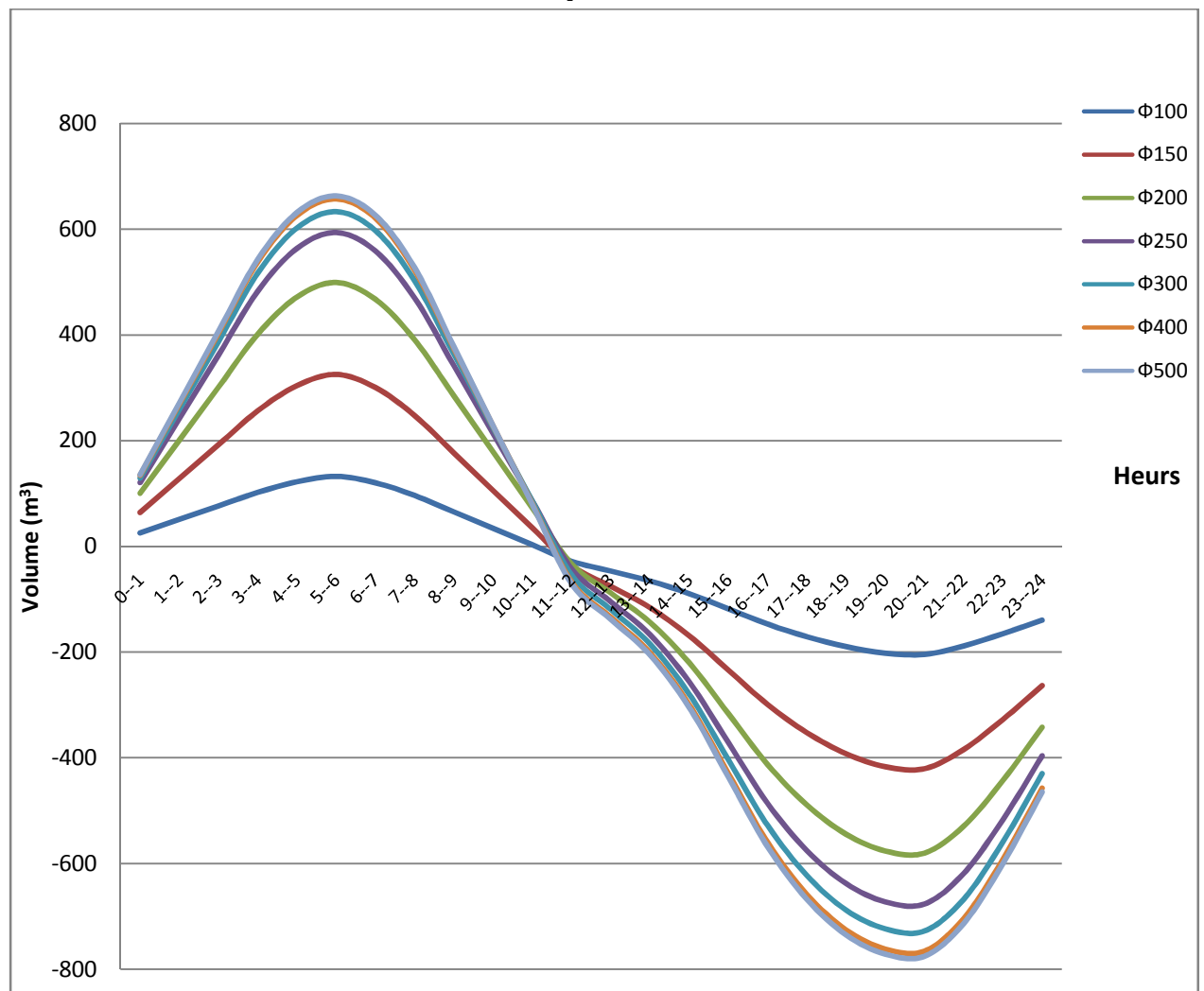


Figure N°5: Courbes de variation de volume cumulé dans le réservoir R₂ durant la journée pour différent diamètres de la conduite d'adduction.

Remarque :

On remarque dans ce cas que pour tous les diamètres choisis, le volume cumulé augmente avec l'augmentation du diamètre de la conduite d'adduction, et aussi le déficit.

Le début de vidange totale du réservoir commence à partir de (11^h) où le déficit d'eau dans le réservoir (R₂) a été constaté.

III.2.2-Cas d'existence d'un clapet anti-retour placé dans la conduite d'adduction de réservoir d'équilibre :

Dans le cas d'existence d'un clapet anti-retour au niveau de la conduite (N°8), il y'aura pas des débits qui s'écoulent de réservoir R₂ vers le réseau principal, les résultats seront les suivants :

Tableau N° 6: Les débits (Q₈) en (l/s) écoulant vers le réservoir R₂ durant la journée pour différents diamètre de la conduite d'adduction de R₂.

Heur	Φ100	Φ150	Φ200	Φ250	Φ300	Φ400	Φ500
0--1	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
1--2	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
2--3	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
3--4	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68
4--5	5.61	13.26	19.5	22.56	23.79	24.52	24.69
5--6	2.85	5.85	7.61	8.28	8.52	8.65	8.68
6--7	0	0	0	0	0	0	0
7--8	0	0	0	0	0	0	0
8--9	0	0	0	0	0	0	0
9--10	0	0	0	0	0	0	0
10--11	0	0	0	0	0	0	0
11--12	0	0	0	0	0	0	0
12--13	0	0	0	0	0	0	0
13--14	0	0	0	0	0	0	0
14--15	0	0	0	0	0	0	0
15--16	0	0	0	0	0	0	0
16--17	0	0	0	0	0	0	0
17--18	0	0	0	0	0	0	0
18--19	0	0	0	0	0	0	0
19--20	0	0	0	0	0	0	0
20--21	0	0	0	0	0	0	0
21--22	4.48	10.11	14.19	16.01	16.71	17.12	17.21
22--23	6.46	15.76	24.01	28.33	30.14	31.22	31.47
23--24	7.09	17.79	27.89	33.49	35.89	37.34	37.68

d'équilibre

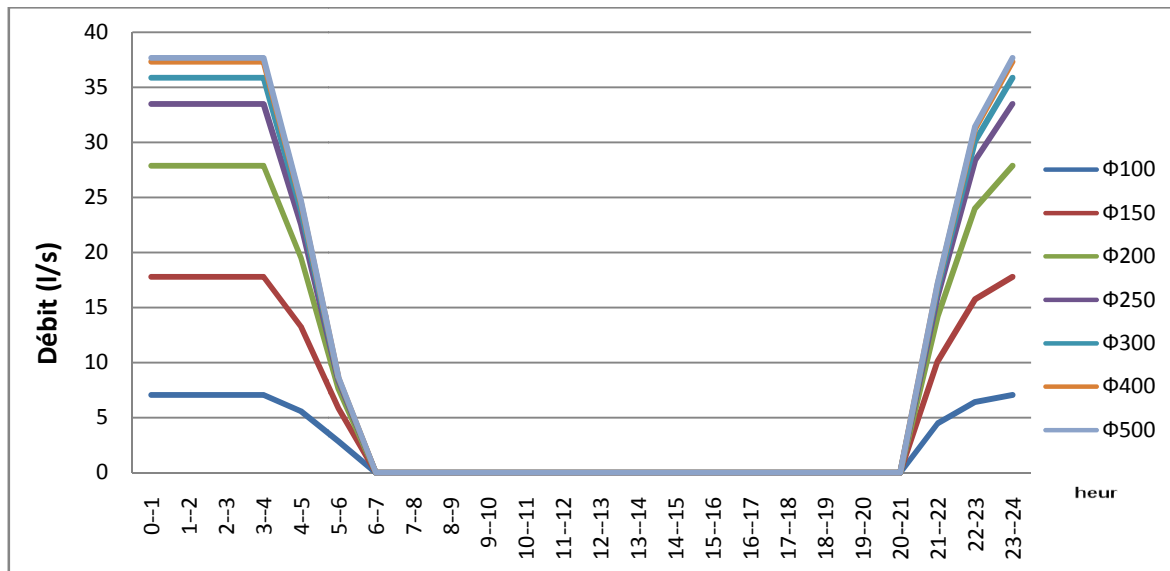


Figure N° 6: Variation de débit flue vers le réservoir R2 durant la journée pour différents diamètres d'adduction (Cas d'existence d'un clapet anti-retour)

III.2.3-Résultats et interprétation:

Il est clair que sur l'intervalle horaire de 0^h à 6^h, quelque soient les diamètres choisis, il y a un écoulement vers le réservoir R₂. Les débits de remplissage sont importants pendant une durée de 4^h période creuse (0^h à 4^h) caractérisée par une faible consommation dans la partie tampon du réseau.

A partir de 4^h, les débits de remplissage diminuent progressivement jusqu'à 7^h où pour tous les diamètres les débits atteignent la valeur 0, c'est l'arrêt de remplissage. Durant cette période, la consommation augmente au niveau de réseau principal, ce qui empêche l'écoulement vers le réservoir.

L'influence du diamètre est mise en évidence: pendant la période de remplissage, l'augmentation de diamètre engendre une augmentation significative de débit d'apport notamment pour les diamètres: Φ100, Φ150, Φ200 Φ250 et Φ300. Pour les deux derniers diamètres (Φ400 et Φ500), une augmentation des diamètres avec un écart de 100mm ne provoque qu'une légère augmentation de débit de remplissage.

De 7^h jusqu'à 21^h le débit d'apport est nul à cause de la forte consommation au niveau de réseau cela est remarquable pour tous les diamètres aussi.

Pour la dernière période de la journée de 21^h à 24^h, l'écoulement vers le réservoir reprend, pour toute la gamme de diamètre choisi, le débit de remplissage augment progressivement et atteint le maximum à 24^h.

Concernant la variation de débit d'apport en fonction de diamètre de la conduite d'adduction dans cette période, le même phénomène est remarqué précédemment, l'augmentation de diamètre avec un écart important engendre une augmentation de débit, mais cet augmentation sera minimale, si on continue l'usage des diamètres plus importants.

III.3-Volume cumulé dans le réservoir :

En ce qui concerne les volumes cumulés dans le réservoir pour ce scénario où un clapet anti-retour est placé au niveau de la conduite d'apport de réservoir R₂, tout en supposant qu'il ya pas de restitution, le tableau suivant montre les résultats.

Tableau N° 7: Volumes cumulés en (m³) pendant la journée pour différents diamètres de la conduite d'adduction.

Heur	Φ100	Φ150	Φ200	Φ250	Φ300	Φ400	Φ500
0--1	25.524	64.044	100.404	120.564	129.204	134.424	135.648
1--2	51.048	128.088	200.808	241.128	258.408	268.848	271.296
2--3	76.572	192.132	301.212	361.692	387.612	403.272	406.944
3--4	102.096	256.176	401.616	482.256	516.816	537.696	542.592
4--5	122.292	303.912	471.816	563.472	602.46	625.968	631.476
5--6	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
6--7	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
7--8	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
8--9	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
9--10	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
10--11	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
11--12	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
12--13	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
13--14	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
14--15	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
15--16	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
16--17	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
17--18	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
18--19	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
19--20	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
20--21	132.552	324.972	499.212	593.28	633.132	657.108	662.724
21--22	148.68	361.368	550.296	650.916	693.288	718.74	724.68
22--23	171.936	418.104	636.732	752.904	801.792	831.132	837.972
23--24	197.46	482.15	737.14	873.47	931	965.56	973.62

La représentation graphique des résultats de ce tableau est mentionnée dans la figure suivante.

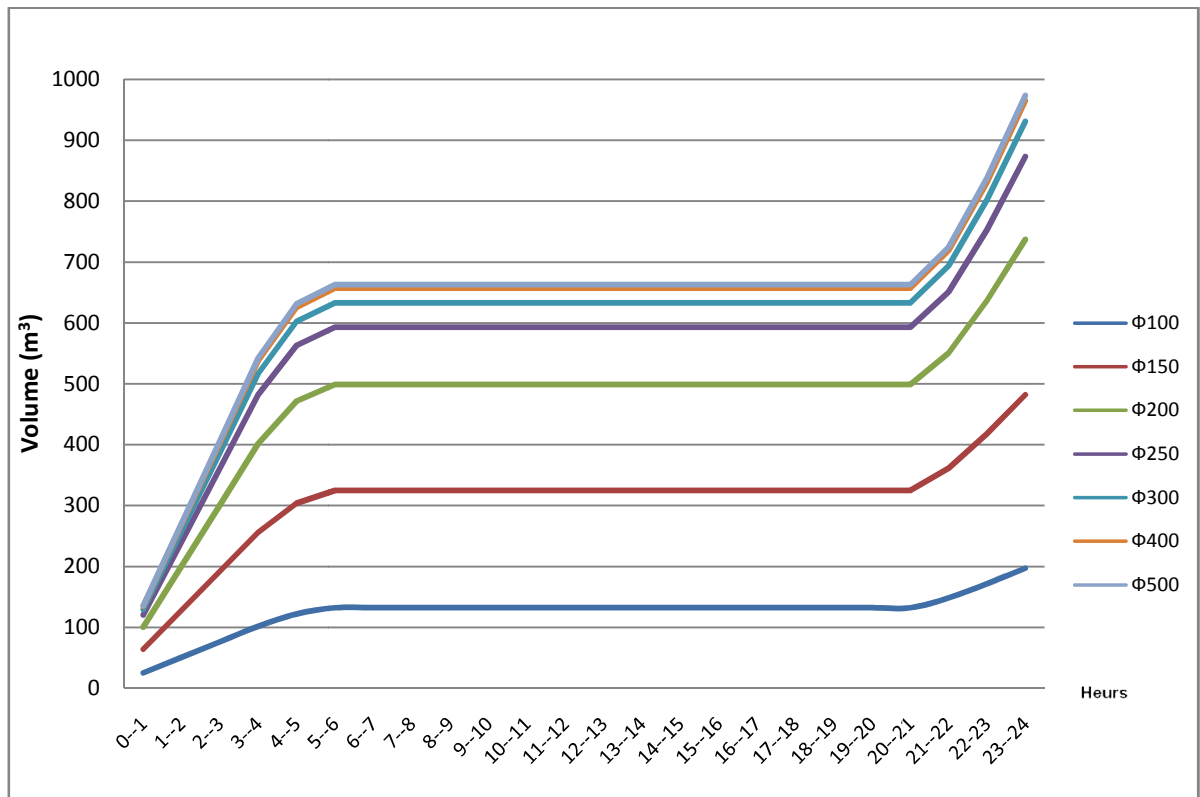


Figure N° 7: Variation des volumes cumulés dans le réservoir R₂ durant la journée pour différents diamètres de la conduite d'apport.

III.3.1-Résultats et interprétation :

On remarque une augmentation de volume de réservoir pendant une durée de 6^h (de 0^h à 6^h) due à l'accumulation des débits de remplissage pendant cette période.

A partir de 6^h de matin et jusqu'au 21^h le volume d'apport reste inchangé (en supposant que pas de consommation à l'aval de réservoir), à cause de forte consommation qui empêche l'écoulement vers le réservoir R₂ (débit d'apport est nul).

De 21^h jusqu'à 24^h, on remarque une augmentation de volumes cumulés car dans cette période l'écoulement vers le réservoir est repris autre fois.

Pour la gamme des diamètres ($\Phi 100$, $\Phi 150$, $\Phi 200$, $\Phi 250$, $\Phi 300$) l'augmentation relative du diamètre entraîne une augmentation sensible de volume. Pour la gamme ($\Phi 400$, $\Phi 500$), l'augmentation de volume n'est pas aussi importante et ne reflète pas l'écart entre les diamètres placés en fonction des débits transportés.

Les volumes totaux :

Tableau N° 8: Volume totale flue vers le réservoir R₂ pour chaque diamètre se la conduite d'apport.

Diamètre de la conduite d'apport	$\Phi 100$	$\Phi 150$	$\Phi 200$	$\Phi 250$	$\Phi 300$	$\Phi 400$	$\Phi 500$
Volume cumulé dans le réservoir R2 en (m3)	197.46	482.15	737.14	873.47	931.00	965.56	973.62

La représentation graphique de tableau

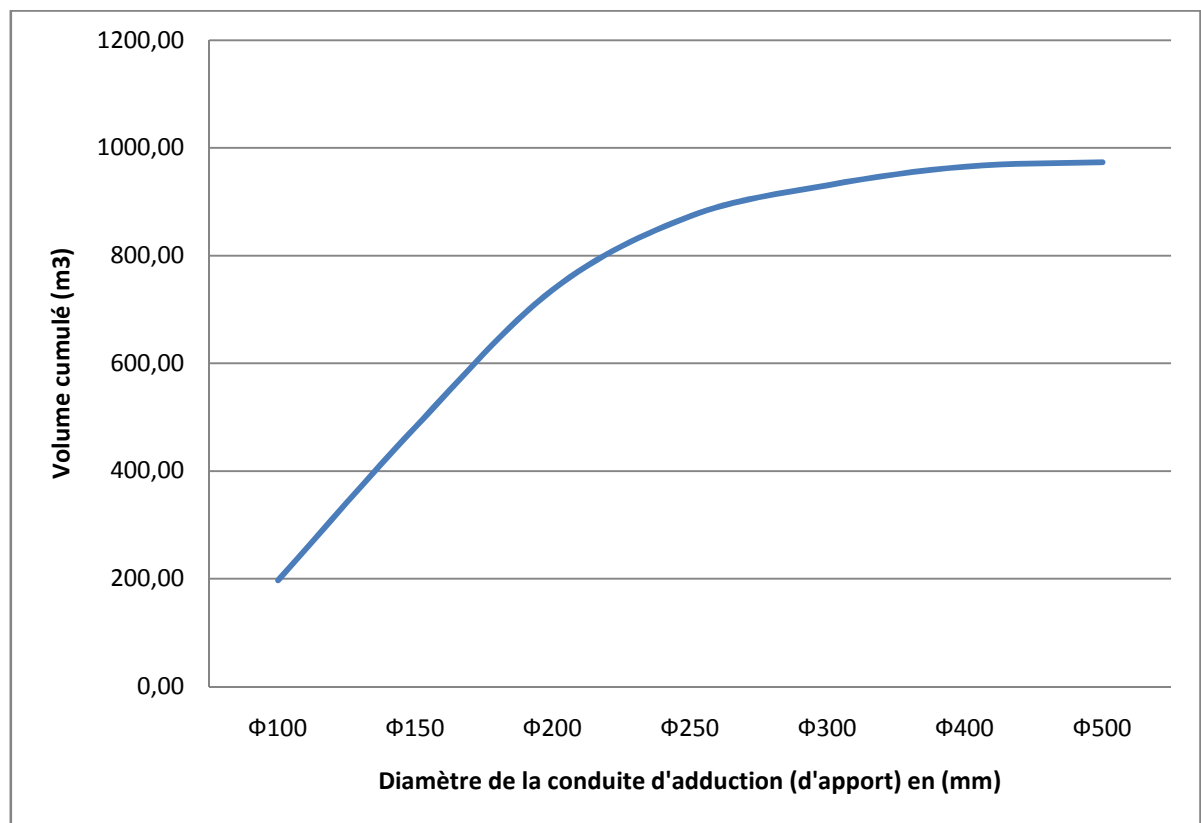


Figure N° 8: Variation de volume cumulé dans le réservoir R₂ en fonction de diamètre choisi de la conduite d'adduction.

L'augmentation de diamètre de la conduite d'apport engendre une augmentation sensible de volume cumulé, tendance plus remarquable pour la gamme des diamètres suivants ($\Phi 100$, $\Phi 150$, $\Phi 200$, $\Phi 250$, $\Phi 300$, $\Phi 400$), mais pour le diamètre ($\Phi 500$), l'augmentation n'est pas aussi significative et le volume commence à se stabiliser.

La variation de volume est sans doute liée à la variation des débits arrivant au réservoir, un changement de diamètre influe significativement sur le débit et cette influence se répercute sur le volume d'apport au réservoir.

III.4-Conclusion

L'augmentation de diamètre de la conduite d'adduction n'a aucune influence sur temps de remplissage qui est fonction de la variation de la consommation et aussi au taux de consommation au niveau de la partie tampon du réseau.

L'augmentation de diamètre de la conduite d'apport entraîne une augmentation de débit de remplissage jusqu'à atteindre les valeurs maximales. Au delà une augmentation de diamètre n'a aucun impact significatif sur le débit. Donc on parle de gamme de diamètres efficaces. Pour l'exemple précédent on peut considérer les diamètres : $\Phi 100$, $\Phi 150$, $\Phi 200$, $\Phi 250$, $\Phi 300$ et $\Phi 400$ comme diamètres efficace.

L'influence sur le volume de réservoir est identique par la liaison directe existant entre le débit et le volume.

Chapitre IV :

Etude de diagnostic du réseau de distribution de la ville d'Ain Bénian.

IV.1- Introduction :

Pour valider l'applicabilité de notre code de calcul, nous avons procédé, à l'aide de cet outil, à une étude de diagnostic du réseau de distribution de la ville de Ain Bénian.

Notre choix s'est porté sur ce site expérimental en raison du caractère exceptionnel de la configuration de son réseau de distribution. L'ensemble de cette structure est constitué de mailles et de ramification, interconnectés entre eux sous forme étagée et reliés, sur certaines parties, à des réservoirs dits d'équilibre. En outre sur ce réseau nous relevons la présence de nombreuses zones d'extension étendues sur des linéaires assez importants et implantées très loin du réservoir principal, ce qui pose la problématique du manque de pression pour les consommateurs de ces zones.

IV.2- Présentation de site de la ville d'Ain-Bénian :

Ain-Bénian est une ville située sur la bande côtière Algéroise, à 25m d'altitude. Elle est située à 15 Km à l'ouest de la capitale Alger. A travers la route nationale N°11, elle constitue un point de relais entre la zone Ouest et la zone Est de la cote Algéroise.

Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par les hauteurs de Bouzereah et au Sud par oued Béni Messous.

Sur le plan administratif, Ain Bénian partage des frontières avec Hammamet et Béni Messous à l'Est, et Cheraga au sud et à l'ouest.

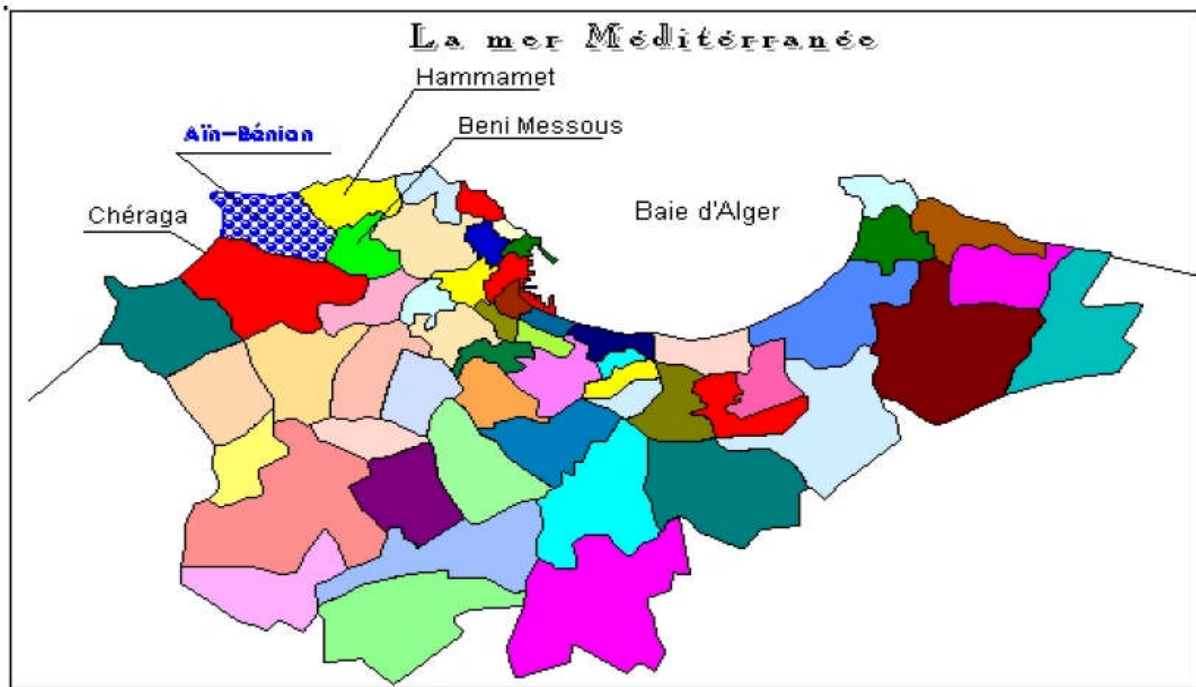


Figure N° 1: Situation administrative de la ville d'Ain-Bénian.

IV.2 .1- La Géologie :

Le site se compose de trois couches géologiques principales correspondent a trois âges de formation :

Age primaire : pendant lequel s'est formé le sous-sol profond de Gneiss et de micaschiste.

Age tertiaire : forme le sous-sol moyen, cette couche est constituée d'argile imperméable, affleurant le lit de l'oued Béni Messous, son rôle est fondamental pour la retenue des eaux d'infiltration qui forment une nappe profonde, abondante, tant au plateau qu'en bordure de mer.

Age quaternaire : auquel correspondent les terrains sableux de dunes très anciennes qui recouvraient deux tiers d'Ain-Bénian. Selon leur âge, ces dunes sont plus ou moins consolidées en profondeur, cimentées par le calcaire entraîné par les eaux pluviales en amas de Tuf. En surface le sol demeure sablonneux, d'une couleur ocre rouge.

IV.2 .2-La Sismicité :

Rappelons qu'une faille de 80km traversant le Sahel fait d'Ain Bénian une région sismique de la zone 2.

IV.2 .3- La Climatologie:

De climat méditerranéen, Ain Bénian est privilégiée pour son exposition à l'ouest, au pied de Bouzereah, face au vent attiédissant de l'occident qui souffle en hiver, abritée de ceux du Sud.

Les différences thermiques sont sensibles a la capitale toute proche: un degré de plus qu'a Alger durant l'hiver et un degré de moins durant l'été. De son cote, le vent représente un élément important du climat, il peut jouer un rôle positif s'il est faible, ou il rafraichit le climat avec douceur surtout en été.

Tableau N° 1:Variation de température moyenne mensuelle de la ville d'Ain Bénian.

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avar	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Temp. c°	11.35	11.74	12.22	13.73	17	20.76	23.7	25.0	22.6	18.58	14.3	11.9

Source : O N M de Dair El Baida.

Tableau N° 2: La précipitation moyenne mensuelle en 2008.

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
pluies (mm)	85.78	104.1	86.7	81.44	46.92	15.26	5.24	9.63	42	85.86	111.4	108.7

Source : ONM de Dair El Baida.

Tableau N° 3:Vitesse moyenne mensuelle de vent en 2008.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoilt	Sep	Oct	Nov	Dec
Vitesse (m/s)	2	2.1	2.3	1.6	1.7	1.4	1.5	1.2	1.3	1.7	2.1	2.2

Source : ONM de Dair El Baida

IV.2.4-L' Hydrogéologie :

En surface : mis à part l'oued Béni Messous qui constitue la frontière Sud de la commune.

Quant aux nappes phréatiques : grâce à la géologie du site, il en existe de nombreuses nappes, les plus importantes sont :

1. La nappe phréatique de la bande littorale.
2. La nappe phréatique du plateau.
3. La nappe phréatique de l'oued Béni Messous.

IV.3- L'Alimentation en eau potable de la ville :

IV.3.1- Les ressources en eau et capacité de stockage :

La commune d'Ain Bénian est alimentée à partir du champ de captage Mazafran et par une petite station de dessalement.

Les réservoirs de stockage sont au nombre de 9, d'une capacité fonctionnels totale de 20 750 m3.

Tableau N° 4: Les réservoirs d'alimentation de la ville.

Lieu	Capacité (m3)	Capacité. Totale (m3)	Forme	Type	Cote de Radier	Cote de Trop Plein	Etage d'alimentation
Belle Vue	2 x 5000	10000	Circulaire	Semi-Enterré	77.9	81.9	Centre ville
Belle Vue	2 x 750	1500	Circulaire	Semi-Enterré	77.9	81.9	Partie haute de la ville
Belle Vue	1000	1000	Circulaire	Semi-Enterré	78.9	82.8	Partie haute de la ville
Grand - Rocher	750	750	Circulaire	Semi-Enterré	67	71	Communal 14 et grand rocher
Forêt de Baïnem	1500	1500	Circulaire	Semi-Enterré	165	170	L'Est de la ville
Plateau Ain Benian	2 x 3000	6000	Circulaire	Semi-Enterré	135	140	L'Est de la ville

Source : La société SEAAL.

IV.3.2- Consommation moyenne journalière :

L'estimation de la quantité d'eau nécessaire à l'agglomération dépend étroitement du développement démographique, de mode de vie de la population et des infrastructures existantes.

IV .3.2.1-Estimation de la population future :

D'après les services de l'APC de la commune d'Ain-Bénian, le nombre d'habitant en 2008 est :

N= 65272 habitants.

Le taux de croissance de population est d'environ $\tau = 2.17\%$.

Donc le nombre d'habitant à un horizon quelconque est calculé par la formule des accroissements suivante :

$$= P_n * (1 + \tau)^n \dots \dots \dots (IV - 1)$$

Telle que :

- P_n : Population future prise à l'horizon.
- P_0 : Population de l'année de référence.
- τ : Le taux d'accroissement annuel de la population en(%).
- n : Nombre d'année séparant l'horizon de calcul de l'année de référence.

Donc à l'horizon de 2010 le nombre d'habitant de la ville d'Ain-Bénian estimé à:

- $P_0 = P_{2008} = 65272$ habitants.
- $n = 2010 - 2008 = 2$.
- $\tau = 2.17\%$.

$$= 65272 * (1 + 0.0217)^2 = 68000$$

Pour à l'horizon de 2025 le nombre d'habitant estimé à:

- $P_0 = P_{2008} = 65272$ habitants.
- $n = 2025 - 2008 = 17$.
- $\tau = 2.17\%$.

$$= 65272 * (1 + 0.0217)^{17} = 100000$$

IV .3.2.2-Besoins domestiques:

L'évaluation des besoins domestiques en eau potable dépend de la situation démographique et du niveau de vie de population de la ville.

Les besoins domestiques journaliers sont donnés par la relation suivante:

$$Q_{moyj} = \dot{Q} * N \dots \dots \dots (IV - 2)$$

Telle que :

- Q_{moyj} : Débit moyen journalier en (m^3/j).
- dot: dotation moyenne en ($l/j/hab.$)
- N: nombre d'habitants

Le tableau suivant nous montre les besoins domestiques

Tableau N° 5:Besoins domestique estimés.

Horizon	Population (habitant)	Dotation (l/j/h)	Q _{moy,j} (m ³ /j)
2010	68136	150	10220.4
2025	94021	180	16923.78

IV.3.2.3 -Besoins scolaires:

Tableau N° 6:Les besoins scolaires estimés.

Equipement	Nombre	Unité	Nombre	Dotation (l/j/Unité)	Q _{moyj} (m ³ /j)
Ecole primaire	19	Elève	11736	10	117.36
C.E.M	6	Elève	6772	10	67.72
LYCEE	3	Elève	5324	10	53.24
C.F.P.A	1	Stagiaire	400	30	12
				Total	250.32

IV.3.2.4 -Besoins administratifs :

Tableau N° 7: Les besoins administratifs estimés.

Equipement	Nombre	Unité	Nombre	Dotation (l/j/Unité)	Q _{moyj} (m ³ /j)
APC	1	Employé	40	15	0.6
P.T.T	3	employé	33	15	0.495
Sonelgaz	1	Employé	15	15	0.225
Ecole de Police	1	Stagiaire	250	150	37.5
Ecole des cadres	1	Stagiaire	150	150	22.5
Police	1	Agent	50	50	2.5
Gendarmerie	1	Personne	40	150	6
				Total	69.82

IV.3.2.5 -Besoins sanitaires :

Tableau N° 8:Les besoins sanitaires estimés.

Equipement	Nombre	Unité	Nombre	Dotation (l/j/Unité)	Q _{moyj} (m ³ /j)
Centre de santé	3	Patient	120	20	2.4
Polyclinique	1	Patient	40	50	2
				Total	4.4

IV.3.2.6 - Besoins socioculturels :

Le tableau ci-dessous résume les besoins socioculturels

Tableau N° 9: Les besoins socioculturels.

Equipement	Nombre	Unité	Nombre	Dotation (l/j/Unité)	Q _{moyj} (m3/j)
Centre culturel	1	Personne	300	15	4.5
Maison de jeune.	2	Personne	400	15	6
Mosquée.	6	Fidele	6000	20	120
Cinéma	1	personne	200	10	2
stade communale	1	Vestiaire	1	5000	5
Salles culture physique privées	2	Personne	120	60	7.2
Mini Complexe sportive privé	1	Personne	200	100	20
				Total	164.7

IV.3.2.7 – Besoins touristiques :

Le tableau ci-après résume les estimations des besoins touristiques.

Tableau N° 10: L'estimation des besoins touristiques.

Equipement	Nombre	Unité	Nombre	Dotation (l/j/Unité)	Q _{moyj} (m3/j)
Villas touristique	1036	personnes	6216	200	1243.2
Hôtel	2	Lits	300	230	69
				Total	1312.2

IV.3.2.8 – Besoins commerciaux :

L'estimation des besoins commerciaux sont résumés dans le tableau suivant

Tableau N° 11: les besoins commerciaux estimés.

Equipement	Nombre	Unité	Nombre	Dotation (l/j/Unité)	Q _{moyj} (m3/j)
Salle de fête	3	Repas	900	50	45
Marchés	2	m2	1000	5	5
Centre commercial	1	m2	1600	5	8
Abattoir	1	unité	1	4500	4.5
				Total	62.5

IV.3.2.9- Besoins d'arrosage :

Le tableau ci-dessous résume les résultats

Tableau N° 12: Les besoins d'arrosage estimés.

Equipement	Unité	Nombre	Dotation (l/j/Unité)	Q _{moyj} (m3/j)
Rues	m2	8000	5	40
Jardins publiques	m2	6600	5	33
			Total	73

IV.3.2.10- Besoins industriels :

Les besoins industriels sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau N° 13: Les besoins industriels.

Usine	Volume mensuel	Volume journalier	Q _i (m ³ /j)
Usine T.L.A	5060	168.67	168.67
Usine S.P.S	7335	244.50	244.50
Usine S.A.B.M	8081	269.37	269.37
Total			682.53

Source : Service clientèle de la société SEEAL (Unité de Cheraga, W. d'Alger)

IV.3.2.11-Récapitulation des besoins en eau de la ville :

Le tableau suivant récapitule les besoins en eau de la ville d'Ain-Bénian.

Tableau N° 14: Récapitulation des besoins en eau de la ville.

Catégorie des besoins	Q _{moy,j} (m ³ /j)
Domestiques	16923.78
Scolaires	250.32
Administratifs	69.82
Sanitaires	4.4
Socioculturels	164.7
Touristiques	1312.2
Commerciaux	62.5
Arrosage	73
Industriels	682.53
Total	19543.25

Donc : , = .

IV.3.3- Consommation maximale journalière:

Ce débit relatif au jour de plus grande consommation pendant l'année est utilisé comme élément de base dans les calculs de dimensionnement du réseau de distribution et d'adduction, il nous permet de dimensionner toute la chaîne de distribution.

IV.3.3.1-Coefficient d'irrégularité maximale (K_{max,j}) :

Du fait de l'existence d'une irrégularité de la consommation horaire au cours de la journée. On doit tenir compte de cette variation en déterminant le rapport :

$$K_{max,j} = \frac{Q_{max,j}}{Q_{moy,j}} \dots \dots \dots (IV - 3)$$

Q_{max,j} : Exprime de combien le débit maximum journalier dépasse le débit moyen journalier.

La valeur de K_{max,j} varie entre **1,1** et **1,3**. Pour notre cas on prend **K_{max,j} = 1,2** pour les besoins domestiques, par contre pour les besoins d'arrosage on prend **K_{max,j} = 1**. Ce coefficient consiste à prévenir les fuites et les gaspillages au niveau du réseau.

IV.3.3.2- Débit de consommation maximale journalière :

Ce débit est calculé ainsi :

$$Q_{max,j} = Q_{moy,j} * K_{max,j} \dots \dots \dots (IV - 4)$$

Avec :

- Q_{max,j} : débit maximum journalier en m³/j ;
- Q_{moy,j} : débit moyen journalier en m³/j ;
- K_{max,j} : coefficient d'irrégularité maximale journalière ;

Le calcul est résumé dans le tableau suivant :

Tableau N° 15: Les débits maximaux journaliers.

Catégorie des besoins	Q _{moy,j} (m3/j)	K _{max,j}	Q _{max,j} (m3/j)
Domestiques	16923.78	1.2	20308.54
Scolaires	250.32	1.2	300.38
Administratifs	69.82	1.2	83.78
Sanitaires	4.4	1.2	5.28
Socioculturels	164.7	1.2	197.64
Touristiques	1312.2	1.2	1574.64
Commerciaux	62.5	1.2	75.00
Arrosage	73	1	73.00
Industriels	682.53	1	682.53
		Total	23300.80

Donc : $Q_{\text{moy,h}} = \frac{Q_{\text{max,j}}}{24}$

IV.3.3.2- Détermination des débits horaires :

Généralement on détermine les débits horaires en fonction des habitudes de la population et du régime de consommation probable.

➤ Débit moyen horaire :

Le débit moyen horaire est donné par la relation suivante :

$$Q_{\text{moy,h}} = \frac{Q_{\text{max,j}}}{24} \left(\frac{1}{h} \right)$$

Avec :

$Q_{\text{moy,h}}$: débit moyen horaire en m^3/h ;

$Q_{\text{max,j}}$: débit maximum journalier en m^3/j ;

Donc pour notre cas : $Q_{\text{moy,h}} = \frac{23302.08}{24} = 970.87 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_{\text{moy,h}} = 970.87 \text{ m}^3/\text{h}$$

➤ Débit maximal horaire :

A). Débit maximal horaire par coefficient d'irrégularité maximale horaire :

Tout d'abord on calcul le coefficient d'irrégularité maximale

▪ Coefficient d'irrégularité maximale horaire ($K_{\text{max,h}}$) :

Ce coefficient représente l'augmentation de la consommation horaire pour la journée.

D'une manière générale, ce coefficient peut être décomposé en deux autres coefficients : α_{max} et β_{max} ; tel que :

$$K_{\text{max,h}} = \frac{Q_{\text{max,h}}}{Q_{\text{moy,h}}} = \alpha_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{max}}$$

Telle que :

- $Q_{\text{max,h}}$: le débit maximal horaire en (m^3/h).
- $Q_{\text{moy,h}}$: le débit moyen horaire en (m^3/h).

- α_{\max} : coefficient qui tient compte le développement industriel du retard de consommation il varie entre 1.2 à 1.4.
- Pour notre cas on prend $\alpha_{\max} = 1,3$.
- β_{\max} : coefficient étroitement lié à l'accroissement de la population.

Tableau N° 16: β_{\max} en fonction du nombre d'habitants.

Habitant	1000	1500	2500	4000	6000	10000	20000	30000	100000
β_{\max}	2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.15	1.1

Source : Polycopie de Mr S. BOUALEM

Pour notre cas où le nombre d'habitants est de habitants la valeur de β_{\max} :

$\beta_{\max} = 1.104$; D'où la valeur de $K_{\max,h}$ sera :

$$K_{\max,h} = 1,3 * 1,104 = 1.436$$

$$, = ,$$

Donc le débit maximal horaire sera :

$$, = , *$$

$$, = . * . = . /$$

$$, = . / .$$

Les débits horaires en fonction de nombre d'habitants :

Tableau N° 17: Variation horaire de consommation en fonction de nombre d'habitants.

Heures	Nombre d'habitants				
	Moins de 10000	de 10001 à 50000	de 50001 à 100000	Plus de 100000	Agglomération type rurale
0--1	1	1.5	3	3.35	0.75
1--2	1	1.5	3.2	3.25	0.75
2--3	1	1.5	2.5	3.3	1
3--4	1	1.5	2.6	3.2	1
4--5	2	2.5	3.5	3.25	3
5--6	3	3.5	4.1	3.4	5.5
6--7	5	4.5	4.5	3.85	5.5

Tableau N°17: Variation horaire de consommation en fonction de nombre d'habitants (suite).

Heures	Nombre d'habitants				
	Moins de 10000	de 10001 à 50000	de 50001 à 100000	Plus de 100000	Agglomération type rurale
7--8	6.5	5.5	4.9	4.45	5.5
8--9	6.5	6.25	4.9	5.2	3.5
9--10	5.5	6.25	5.6	5.05	3.5
10--11	4.5	6.25	4.8	4.85	6
11--12	5.5	6.25	4.7	4.6	8.5
12--13	7	5	4.4	4.6	8.5
13--14	7	5	4.1	4.55	6
14--15	5.5	5.5	4.2	4.75	5
15--16	4.5	6	4.4	4.7	5
16--17	5	6	4.3	4.65	3.5
17--18	6.5	5.5	4.1	4.35	3.5
18--19	6.5	5	4.5	4.4	6
19--20	5	4.5	4.5	4.3	6
20--21	4.5	4	4.5	4.3	6
21--22	3	3	4.8	4.2	3
22--23	2	2	4.6	3.75	2
23--24	1	1.5	3.3	3.7	1
Total	100	100	100	100	100

Source : Polycopie de Mr S. BOUALEM

Remarque :

- Cette variation des débits horaires est exprimée en pourcentage (%) par rapport au débit maximal journalier de l'agglomération.
- A cause de manque de données réelles concernant la variation horaire de consommation de l'agglomération considérée on prend la répartition pour une agglomération dont le nombre d'habitants varie entre 50001 et 100000 habitants. La durée d'arrosage pendant la journée est prévue quatre (4) heures, la durée de travail des usines est huit (8) heures.

Tableau N°18: Répartition des débits horaires.

heures	Agglomérations		Arrosage		Industrie		Débit horaire		Courbe intégrale	
	%	Q (m ³ /h)	%	Q (m ³ /h)	%	Q (m ³ /h)	%	Q _h (m ³ /h)	%Cumulé	Débit cumulé (m ³ /j)
0--1	3	676.36					2.90	676.36	2.90	676.36
1--2	3.2	721.45					3.10	721.45	6.00	1397.81
2--3	2.5	563.63					2.42	563.63	8.42	1961.44
3--4	2.6	586.18					2.52	586.18	10.93	2547.61

Tableau N° 18: Répartition des débits horaires (suite).

heures	Agglomérations		Arrosage		Industrie		Débit horaire		Courbe intégrale	
	%	Q (m ³ /h)	%	Q (m ³ /h)	%	Q (m ³ /h)	%	Q _h (m ³ /h)	%Cumulé	Débit cumulé (m ³ /j)
4--5	3.5	789.08					3.39	789.08	14.32	3336.7
5--6	4.1	924.36					3.97	924.36	18.29	4261.05
6--7	4.5	1014.54					4.35	1014.54	22.64	5275.59
7--8	4.9	1104.72					4.74	1104.72	27.38	6380.31
8--9	4.9	1104.72	25	18.25	12.5	85.32	5.19	1208.28	32.57	7588.59
9--10	5.6	1262.53	25	18.25	12.5	85.32	5.86	1366.1	38.43	8954.7
10--11	4.8	1082.17			12.5	85.32	5.01	1167.49	43.44	10122.19
11--12	4.7	1059.63			12.5	85.32	4.91	1144.94	48.36	11267.13
12--13	4.4	991.99					4.26	991.99	52.61	12259.12
13--14	4.1	924.36			12.5	85.32	4.33	1009.67	56.95	13268.79
14--15	4.2	946.9			12.5	85.32	4.43	1032.22	61.38	14301.01
15--16	4.4	991.99			12.5	85.32	4.62	1077.31	66	15378.32
16--17	4.3	969.45	25	18.25	12.5	85.32	4.61	1073.01	70.6	16451.33
17--18	4.1	924.36	25	18.25			4.05	942.61	74.65	17393.94
18--19	4.5	1014.54					4.35	1014.54	79	18408.48
19--20	4.5	1014.54					4.35	1014.54	83.36	19423.01
20--21	4.5	1014.54					4.35	1014.54	87.71	20437.55
21--22	4.8	1082.17					4.64	1082.17	92.36	21519.72
22--23	4.6	1037.08					4.45	1037.08	96.81	22556.8
23--24	3.3	743.99					3.19	743.99	100	23300.8
Total	100	22545.26	100	73	100	682.53	100	23300.8		

Remarque :

A partir de tableau on remarque que :

$$Q_{max} = Q_{moy} \cdot K_{irr} ; Q_{max} = Q_{moy} \cdot K_{irr}$$

Le débit maximal horaire calculé par le coefficient d'irrégularité journalière ($Q_{max} = Q_{moy} \cdot K_{irr}$) est proche au celle calculé en fonction de nombre d'habitants ($Q_{max} = Q_{moy} \cdot K_{irr}$).

La représentation graphique de variation de débit horaire de consommation est apparue dans l'histogramme suivant :

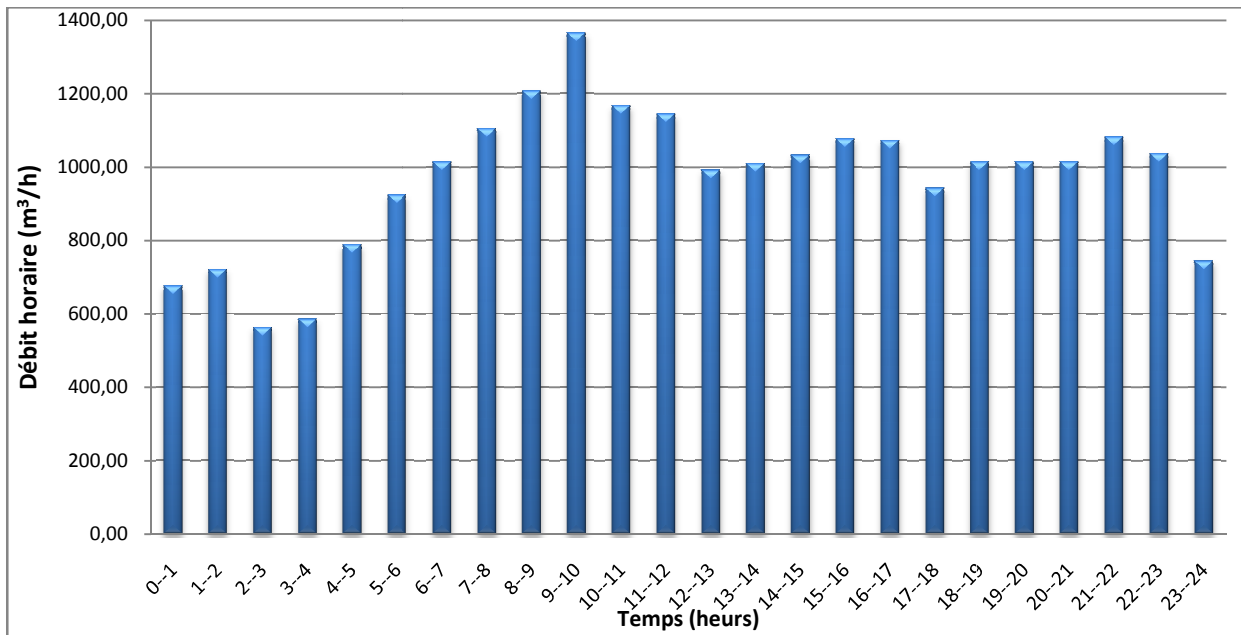


Figure N° 2: Le graphique de consommation.

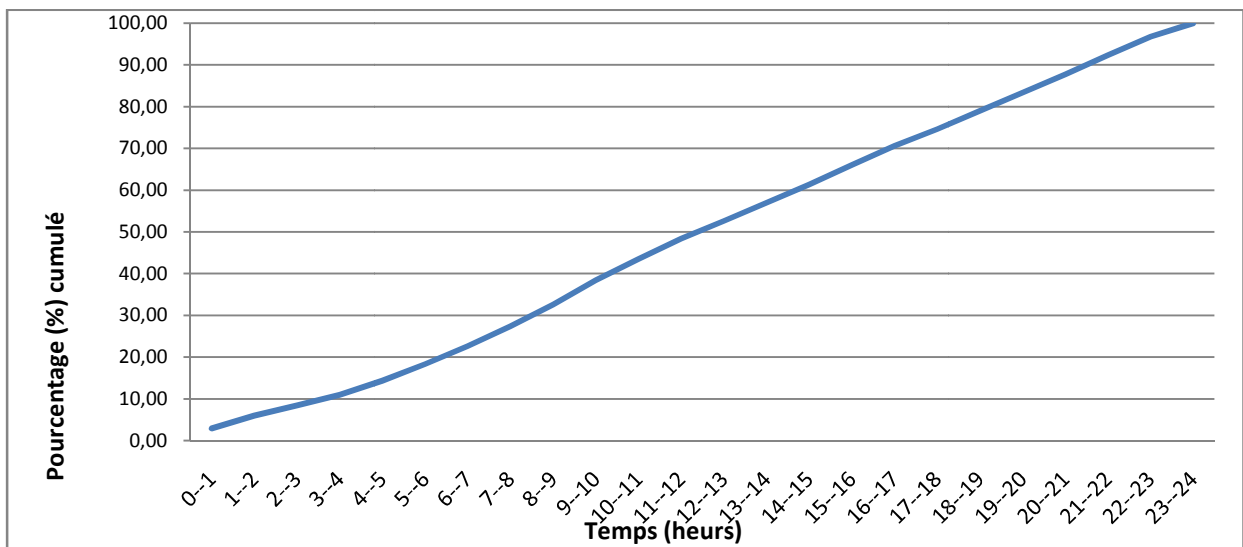


Figure N° 3: La courbe intégrale de consommation.

D'après la répartition des débits horaires prise on a trouvé un débit horaire minimal de l'ordre de (, = . /) observé pendant la durée (2^h-3^h) et un débit maximal (de pointe) de (, = . /) observé pendant (9^h-10^h).

IV.3.4- Calcul des débits nodaux :

La ville d'Ain Bénian est caractérisée par un réseau d'alimentation en eau potable constitué par deux parties distinctes (La figure N°4), chacune de ces parties est considérée comme un réseau. Le premier réseau est destiné à l'alimentation du centre ville, la partie haute, la partie ouest et les cités Grand Rocher et Communal 14. L'alimentation est assurée par six (6) réservoirs offrant une capacité de stockage de (13250 m³).

Le deuxième réseau est destiné à l'alimentation de l'Est de la ville (la zone de plateau), l'alimentation est assurée par trois (3) réservoirs de capacité totale de stockage égale à (7500 m³).

Pour notre travail on ne considère que le premier réseau, ce dernier englobe un réservoir de capacité de stockage de (750 m³) choisi comme réservoir d'équilibre.

L'analyse du fonctionnement de ce réservoir est réalisée pour la journée de pointe de l'année où la consommation est maximale. A fin de pouvoir simuler le fonctionnement du réseau de distribution et du réservoir d'équilibre durant la journée, on doit calculer les débits nodaux pour chaque heure de cette journée.

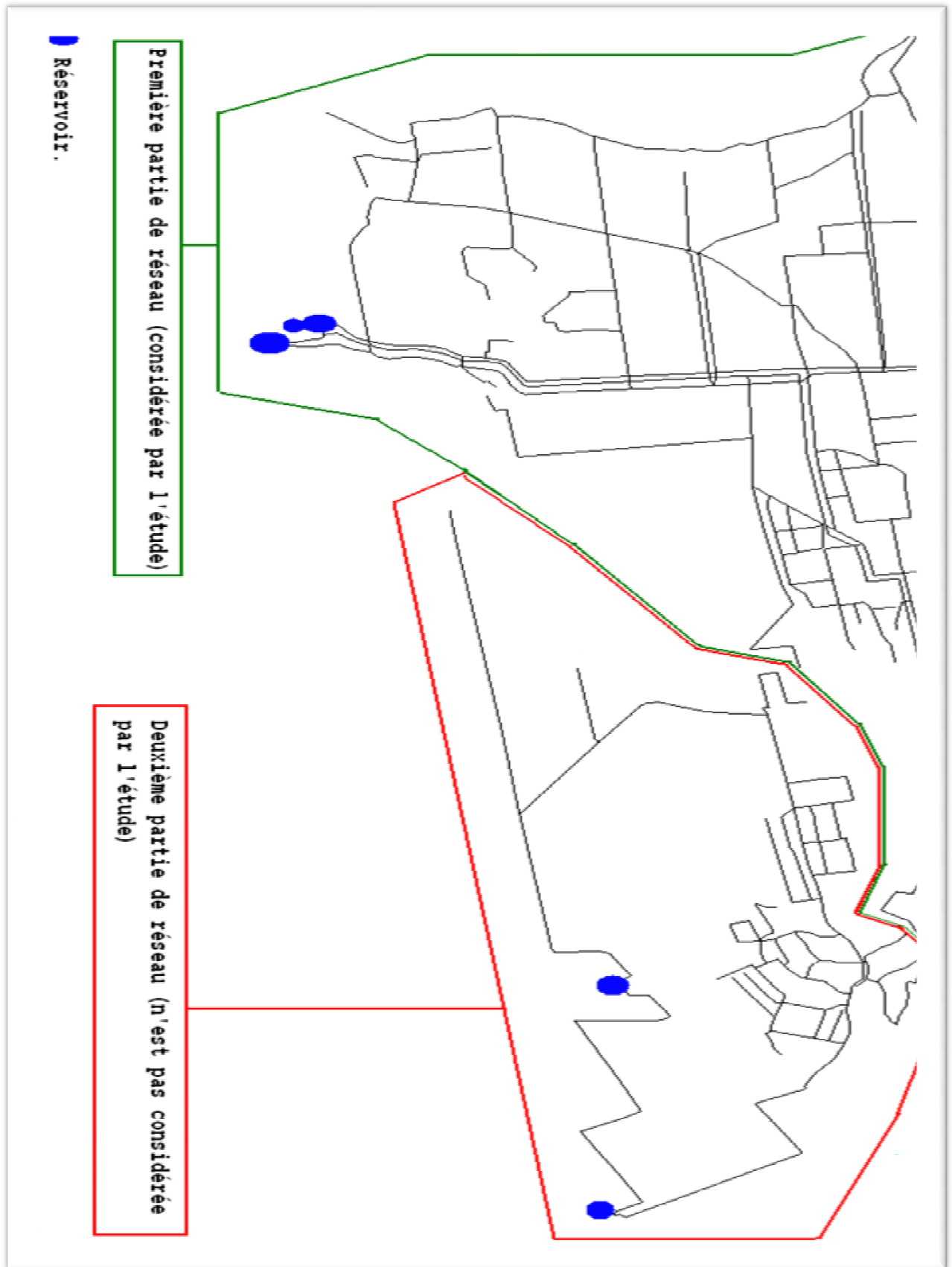


Figure N° 4: Les parties de réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian.

IV.3.4.1- Caractéristiques des conduites de réseau

Le réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian est ancien, ce qui nous oblige de prendre l'état de rugosité en considération. En absence des mesures de rugosités réelles des conduites de réseau on prend des valeurs moyennes.

La rugosité de conduite dépend de :

- L'âge de la conduite.
- La qualité de l'eau transportée.
- Matériau de la conduite

Les valeurs de la rugosité absolue pour différents types de matériaux sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau N°19: Valeurs de rugosité des conduites pour différents matériaux.

Matériau	Signe	Rugosité absolue ϵ (mm)
Acier galvanisé	AG	0.1 - 4
Amiante ciment	AMC	0.4 - 1.2
Fonte	F	0.2 - 4
Font e ductile	FD	0.2 - 4

La source : (GODART, 2001)

Dans le cadre de notre travail on choisi des valeurs de rugosité moyenne en rapport avec la vétusté des conduites de ce réseau.

Tableau N°20: Rugosité pris pour différents matériaux des conduites.

Matériau	Rugosité absolue (mm)
Acier galvanisé	2.5
Amiante ciment	1
Font	2.5
Font ductile	2.5

Les caractéristiques des conduites de réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian sont présentées en annexe (**annexe -I-**) (Caractéristiques des conduites de réseau de la ville d'Ain Bénian).

Dans le but de simuler le fonctionnement du réservoir d'équilibre pendant la journée on passe au calcul des débits soutirés par les nœuds de réseau.

Par supposition le débit horaire est constant durant l'heure de consommation considéré. Par prolongement de cette supposition sur le débit spécifique on admet que ce dernier reste constant pendant la même durée.

Les débits spécifiques sont déterminés pour chaque heure de la journée, le tableau suivant résume les résultats de calcul.

IV.3.4.2-Détermination de débit spécifique :

Le débit spécifique est défini comme étant le rapport entre le débit de consommation et la somme des longueurs des tronçons du réseau assurant la distribution en route, c.-à-d. les tronçons de type de fonctionnement route ou bien route et transite en plus, (on exclue les conduites assurant un service d'extrémité seulement), on suppose que les besoins domestiques sont uniformément répartis sur tout le réseau:

$$= \frac{Q}{\sum L_i} \dots \dots \dots (-)$$

Avec :

- Q : débit (l/s).
- Q_{sp} : débit spécifique (l/s/m).
- Σ L_i : Somme des longueurs des tronçons assurant la distribution en route (m).

Les débits routes sont calculés pour tout le réseau, et par la suite on ne considère que les conduites appartenant au premier réseau.

Tableau N° 21:Les débits spécifiques horaires.

Heures	Débit horaire domestique (m3/h)	Débit d'arrosage (m3/h)	Débit route (m3/h)	Débit route (l/s)	Σ L _i (m)	Débit spécifique (l/s/m)
0--1	676.36		676.36	187.88	36568	0.005137749
1--2	721.45		721.45	200.40		0.005480265
2--3	563.63		563.63	156.56		0.004281457
3--4	586.18		586.18	162.83		0.004452716
4--5	789.08		789.08	219.19		0.00599404
5--6	924.36		924.36	256.77		0.00702159
6--7	1014.54		1014.54	281.82		0.007706623
7--8	1104.72		1104.72	306.87		0.008391656
8--9	1104.72	18.25	1122.97	311.94		0.008530287
9--10	1262.53	18.25	1280.78	355.77		0.009729095
10--11	1082.17		1082.17	300.60		0.008220398
11--12	1059.63		1059.63	294.34		0.00804914
12--13	991.99		991.99	275.55		0.007535365
13--14	924.36		924.36	256.77		0.00702159
14--15	946.90		946.90	263.03		0.007192848
15--16	991.99		991.99	275.55		0.007535365
16--17	969.45	18.25	987.70	274.36		0.007502737
17--18	924.36	18.25	942.61	261.83		0.007160221
18--19	1014.54		1014.54	281.82		0.007706623
19--20	1014.54		1014.54	281.82		0.007706623
20--21	1014.54		1014.54	281.82		0.007706623

Tableau N° 21: Les débits spécifiques horaires (suite).

Heures	Débit horaire domestique (m3/h)	Débit d'arrosage (m3/h)	Débit route (m3/h)	Débit route (l/s)	ΣL_i (m)	Débit spécifique (l/s/m)
21--22	1082.17		1082.17	300.6	36568	0.0082204
22--23	1037.08		1037.08	288.08		0.00787788
23--24	743.99		743.99	206.66		0.00565152

V.3.4.2-Détermination des débits nodaux:

Dans le calcul hydraulique on suppose, par simplification, qu'un nœud est responsable à la distribution de la moitié de débit route donné par le tronçon juxtaposé en ajoutant aussi les débits concentrés assurés par ce nœud. Donc le débit nodal est un débit concentré en chaque point de jonction des conduites du réseau, il est déterminé comme suit :

$$= \dots * \Sigma + \Sigma \dots \dots \dots (-)$$

Avec :

- q_{ni} : débit au nœud i (l/s).
- ΣQ_{rk} : la somme des débits en route des tronçons reliés au nœud i (l/s).
- Σq_{ci} : la somme des débits concentrés au nœud i (l/s).

Les débits concentrés pour notre cas sont les débits de consommation des trois usines existants au niveau de réseau de distribution, on ajoute ces débits concentrés pour les heures de travail seulement.

Tableau N° 22: Répartition des débits concentrés.

Nœud	Débits Concentré q_c (l/s)
J-38	5.86
J-42	8.49
J-44	9.35

- Les résultats de calcul des débits nodaux pour chaque heure de la journée sont résumés dans l'**annexe -II-** (Débits nodaux pour chaque heure de la journée).
- La figure N°17 montre la partie étudiée de réseau de distribution de la ville d'Ain Bénian.

Tableau N°23: Cotes radiers des réservoirs.

Réservoir	Cote de radier
R-1	77.9
R-2	77.9
R-3	67

IV.3.5- Répartition des débits, vitesses, pertes de charge pendant l'heure de pointe de la journée:

Avant de passer aux résultats de simulation de réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian durant la journée on propose une comparaison des résultats de distribution des débits, vitesses, pertes de charge, charges et pressions nodales obtenus par notre programme et celle obtenus par le logiciel WaterCAD en prenant les heures de pointe (de 9^h à 10^h) comme période de comparaison et un diamètre de (φ300) le cas existant actuellement, cela nous indique l'approche entre les deux programmes et donne une vision sur la validité des résultats de notre programme pour les autres heures et pour d'autres réseaux.

Tableau N° 24 : Résultats de distribution des débits et des vitesses.

Conduite	Notre programme	WaterCAD	ΔQ (l/s)	Notre programme	WaterCAD	ΔV (m/s)
	Débit (L/s)	Débit (L/s)		Vitesse (m/s)	Vitesse (m/s)	
P-1	1.83	1.83	0	0.233	0.233	0
P-2	-4.3221	-4.3218	0.0003	0.8599	0.8598	0.0001
P-3	11.75	11.75	0	0.374	0.374	0
P-4	6.02	6.02	0	0.1916	0.1916	0
P-5	0.58	0.58	0	0.1154	0.1154	0
P-6	4.25	4.25	0	0.5411	0.5411	0
P-7	0.68	0.68	0	0.1353	0.1353	0
P-8	2.26	2.26	0	0.0719	0.0719	0
P-9	0.95	0.95	0	0.189	0.189	0
P-10	35.8074	35.7113	0.0961	0.5066	0.5052	0.0014
P-11	35.0034	34.9961	0.0073	1.9808	1.9804	0.0004
P-12	23.8734	23.8661	0.0073	1.351	1.3505	0.0005
P-13	4.44	4.44	0	0.2513	0.2513	0
P-14	-72.0708	-71.9674	0.1034	0.7491	0.748	0.0011
P-15	-91.0008	-90.8974	0.1034	0.3218	0.3215	0.0003
P-16	13.6134	13.6061	0.0073	0.4333	0.4331	0.0002
P-17	11.6893	11.6966	0.0073	0.6615	0.6619	0.0004
P-18	-13.4545	-13.4684	0.0139	0.1071	0.1072	0.0001
P-19	3.8614	3.8621	0.0007	0.7682	0.7683	0.0001
P-20	-6.8886	-6.8879	0.0007	0.8771	0.877	0.0001
P-21	3.5483	3.5484	0.0001	0.7059	0.7059	0
P-22	-2.4317	-2.4316	0.0001	0.4838	0.4838	0
P-23	0.95	0.95	0	0.189	0.189	0
P-24	-5.0279	-5.0345	0.0066	0.2845	0.2849	0.0004
P-25	-1.847	-1.8463	0.0007	0.3674	0.3673	0.0001
P-26	0.99	0.99	0	0.197	0.197	0
P-27	2.09	2.09	0	0.4158	0.4158	0
P-28	200.0966	200.1039	0.0073	0.5199	0.52	0.0001
P-29	118.2041	118.2429	0.0388	1.6722	1.6728	0.0006

Tableau N° 24 : Résultats de distribution des débits et des vitesses (suite).

Conduite	Notre programme	WaterCAD	ΔQ (l/s)	Notre programme	WaterCAD	ΔV (m/s)
	Débit (L/s)	Débit (L/s)		Vitesse (m/s)	Vitesse (m/s)	
P-30	-36.5073	-36.4943	0.013	1.1621	1.1616	0.0005
P-31	81.3294	81.3697	0.0403	1.6568	1.6576	0.0008
P-32	4.18	4.18	0	0.2365	0.2365	0
P-33	9.5571	9.5457	0.0114	0.3042	0.3038	0.0004
P-34	26.7758	26.7493	0.0265	0.8523	0.8515	0.0008
P-35	7.1473	7.159	0.0117	0.2275	0.2279	0.0004
P-36	-47.5577	-47.5345	0.0232	1.5138	1.5131	0.0007
P-37	4.7544	4.763	0.0086	0.269	0.2695	0.0005
P-38	2.1668	2.1661	0.0007	0.4311	0.4309	0.0002
P-39	4.5211	4.5135	0.0076	0.5756	0.5747	0.0009
P-40	7.0352	7.0168	0.0184	0.3981	0.3971	0.001
P-41	9.9182	9.8945	0.0237	0.3157	0.315	0.0007
P-42	31.0731	31.0957	0.0226	0.633	0.6335	0.0005
P-43	27.759	27.7844	0.0254	0.5655	0.566	0.0005
P-44	10.9097	10.9242	0.0145	0.2223	0.2225	0.0002
P-45	13.5793	13.5902	0.0109	0.2766	0.2769	0.0003
P-46	4.8055	4.8143	0.0088	0.2719	0.2724	0.0005
P-47	-0.5424	-0.5346	0.0078	0.0691	0.0681	0.001
P-48	-4.2645	-4.2557	0.0088	0.543	0.5419	0.0011
P-49	-2.9282	-2.9299	0.0017	0.3728	0.373	0.0002
P-50	-1.874	-1.8648	0.0092	0.2386	0.2374	0.0012
P-51	1.3279	1.3289	0.001	0.2642	0.2644	0.0002
P-52	-1.4221	-1.4211	0.001	0.2829	0.2827	0.0002
P-53	-3.7863	-3.7758	0.0105	0.4821	0.4808	0.0013
P-54	-50.6484	-50.6278	0.0206	1.6122	1.6115	0.0007
P-55	18.3741	18.3632	0.0109	1.0398	1.0391	0.0007
P-56	7.3541	7.3432	0.0109	0.9364	0.935	0.0014
P-57	1.34	1.34	0	0.1706	0.1706	0
P-58	1.7408	1.739	0.0018	0.3463	0.346	0.0003
P-59	31.6874	31.6929	0.0055	0.2522	0.2522	0
P-60	74.6925	74.661	0.0315	1.0567	1.0562	0.0005
P-61	-8.2822	-8.2747	0.0075	0.6749	0.6743	0.0006
P-62	18.93	18.93	0	0.2678	0.2678	0
P-63	0.73	0.73	0	0.1452	0.1452	0
P-64	17.16	17.16	0	0.3496	0.3496	0
P-65	-58.6623	-58.714	0.0517	1.1951	1.1961	0.001
P-66	15.46	15.46	0	0.2187	0.2187	0
P-67	3.45	3.45	0	0.4393	0.4393	0
P-68	0.7	0.7	0	0.0891	0.0891	0

Tableau N°24 : Résultats de distribution des débits et des vitesses (suite).

Conduite	Notre programme	WaterCAD	ΔQ (l/s)	Notre programme	WaterCAD	ΔV (m/s)
	Débit (L/s)	Débit (L/s)		Vitesse (m/s)	Vitesse (m/s)	
P-69	-14.559	-14.5508	0.0082	0.4634	0.4632	0.0002
P-70	1.47	1.47	0	0.7487	0.7487	0
P-71	1.05	1.05	0	0.1285	0.1285	0
P-72	-12.0741	-12.0632	0.0109	0.6833	0.6826	0.0007
P-73	6.2242	6.2304	0.0062	0.1981	0.1983	0.0002
P-74	0.065	0.0602	0.0048	0.0037	0.0034	0.0003
P-76	200.0966	200.1039	0.0073	0.5199	0.52	0.0001
P-77	3.8379	3.8382	0.0003	0.4887	0.4887	0
P-78	-3.3317	-3.3316	0.0001	0.6628	0.6628	0
P-79	4.28	4.28	0	0.5449	0.5449	0
P-80	-21.4121	-21.4118	0.0003	0.2226	0.2225	0.0001
P-82	-8.7379	-8.7382	0.0003	1.1125	1.1126	0.0001
P-83	3.1479	3.1467	0.0012	0.6263	0.626	0.0003
P-84	6.5807	6.5812	0.0005	0.8379	0.8379	0
P-85	-4.6727	-4.6649	0.0078	0.5949	0.594	0.0009
P-86	-0.7838	-0.78	0.0038	0.1559	0.1552	0.0007

Tableau N° 25: Résultats de calcul des pertes de charge des deux programmes.

Conduite	Notre programme	WaterCAD	différence Δh (m)	Conduite	Notre programme	WaterCAD	différence Δh (m)
	Perte de charge (m)	Perte de charge (m)			Perte de charge (m)	Perte de charge (m)	
P-1	0.569	0.575	0.006	P-20	1.891	1.903	0.012
P-2	11.784	11.837	0.053	P-21	1.382	1.393	0.011
P-3	0.337	0.339	0.002	P-22	0.428	0.433	0.005
P-4	0.026	0.027	0.001	P-23	0.196	0.199	0.003
P-5	0.062	0.064	0.002	P-24	0.274	0.278	0.004
P-6	0.457	0.46	0.003	P-25	0.407	0.412	0.005
P-7	0.099	0.1	0.001	P-26	0.221	0.225	0.004
P-8	0.004	0.004	0	P-27	2.011	2.034	0.023
P-9	0.268	0.272	0.004	P-28	0.12	0.12	0
P-10	3.82	3.818	0.002	P-29	12.759	12.791	0.032
P-11	11.51	11.543	0.033	P-30	2.786	2.797	0.011
P-12	4.27	4.286	0.016	P-31	4.621	4.635	0.014
P-13	0.911	0.919	0.008	P-32	0.762	0.77	0.008
P-14	3.076	3.078	0.002	P-33	0.397	0.4	0.003
P-15	0.004	0.004	0	P-34	1.924	1.931	0.007
P-16	0.083	0.083	0	P-35	0.051	0.052	0.001
P-17	0.893	0.898	0.005	P-36	4.516	4.529	0.013
P-18	0.008	0.008	0	P-37	0.348	0.353	0.005
P-19	3.597	3.626	0.029	P-38	1.029	1.04	0.011

Tableau N°25 : Résultats de calcul des pertes de charge des deux programmes (suite).

	Notre programme	WaterCAD			Notre programme	WaterCAD	
Conduite	Perte de charge (m)	Perte de charge (m)	Différence Δh (m)	Conduite	Perte de charge (m)	Perte de charge (m)	Différence Δh (m)
P-39	2.63	2.644	0.014	P-70	12.454	12.526	0.072
P-40	0.503	0.505	0.002	P-71	0.098	0.1	0.002
P-41	0.231	0.232	0.001	P-72	0.512	0.514	0.002
P-42	0.345	0.348	0.003	P-73	0.228	0.232	0.004
P-43	0.128	0.129	0.001	P-74	0	0	0
P-44	0.152	0.154	0.002	P-76	0.031	0.031	0
P-45	0.05	0.051	0.001	P-77	3.253	3.275	0.022
P-46	0.432	0.439	0.007	P-78	1.361	1.372	0.011
P-47	0.009	0.009	0	P-79	7.153	7.197	0.044
P-48	0.475	0.477	0.002	P-80	0.056	0.056	0
P-49	0.478	0.484	0.006	P-82	8.588	8.619	0.031
P-50	0.454	0.454	0	P-83	2.192	2.209	0.017
P-51	0.675	0.684	0.009	P-84	3.455	3.479	0.024
P-52	0.684	0.693	0.009	P-85	1.263	1.27	0.007
P-53	1.168	1.173	0.005	P-86	0.22	0.223	0.003
P-54	5.505	5.521	0.016	P-87	0.028	0.028	0
P-55	2.043	2.051	0.008	P-88	0.047	0.048	0.001
P-56	5.581	5.599	0.018	P-89	0.225	0.228	0.003
P-57	0.169	0.171	0.002	P-90	0.856	0.863	0.007
P-58	0.274	0.277	0.003	P-91	5.856	5.879	0.023
P-59	0.087	0.088	0.001	P-92	0.502	0.506	0.004
P-60	4.97	4.979	0.009	P-93	0.161	0.164	0.003
P-61	1.719	1.729	0.01	P-94	0.396	0.401	0.005
P-62	0.192	0.194	0.002	P-95	0.076	0.077	0.001
P-63	0.123	0.125	0.002	P-96	0.174	0.176	0.002
P-64	0.061	0.061	0	P-97	0.774	0.779	0.005
P-65	2.552	2.563	0.011	P-98	0.401	0.405	0.004
P-66	0.271	0.274	0.003	P-99	0.208	0.21	0.002
P-67	3.755	3.782	0.027	P-100	0.027	0.028	0.001
P-68	0.033	0.034	0.001	P-101	0.003	0.003	0
P-69	0.658	0.662	0.004	P-102	0.003	0.003	0

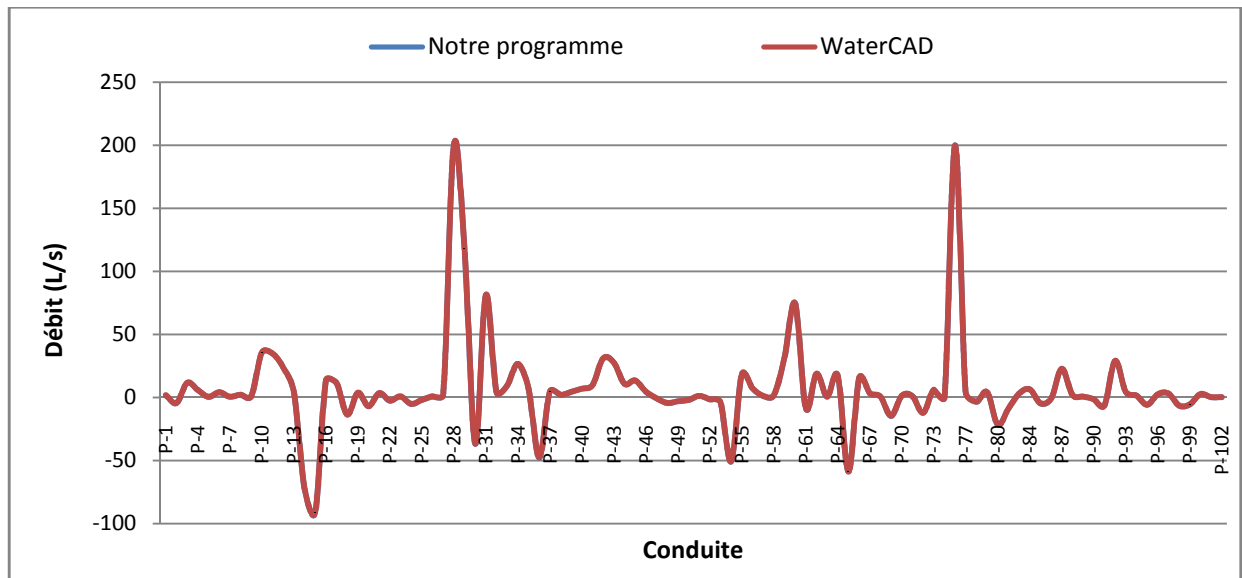


Figure N°5: comparaison des résultats des débits trouvés par notre programme et WaterCAD.

Remarque :

- Pour les deux logiciels, la formule de calcul de perte de charge est celle de Darcy-Wiesbach.
- La viscosité cinématique est $\nu=1.004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ pour une eau de 20°C de température.
- Le critère d'arrêt des itérations pour notre programme est le suivant : $|Q^{(n)} - Q^{(n-1)}| < 10^{-5}$.
- Le critère d'arrêt des itérations lors le calcul de coefficient de frottement (λ) pour notre programme est : $|\lambda^{(n)} - \lambda^{(n-1)}| \leq 10^{-5}$.
- La méthode de résolution matricielle utilisée par notre programme est « La méthode directe de Gauss ».

IV.3.6- Interprétation des résultats de calcul des débits, vitesses et pertes de charge des conduites:

Tout d'abord, la simulation de notre réseau montre que l'écoulement est caractérisé par une faible vitesse variant entre (0.1m/s à 0.8 m/s) dans la plus part des conduites. La vitesse minimale est apparue dans la conduite P-74 avec une valeur ($V=0.0034\text{m/s}$), presque pas d'écoulement. La vitesse maximale atteint la valeur de ($V=1.98 \text{ m/s}$) relevée dans la conduite P-11.

On remarque, par ailleurs, que la différence maximale entre les résultats de distribution des débits obtenues par les deux programme se limite à $\Delta Q=0.1034 \text{ l/s}$ et voir même $\Delta Q=0 \text{ l/s}$ où les résultats se confondent, cela est visible pour 29% des tronçons existants surtout pour les conduites constituant les ramifications de réseau. Pour les autres conduites la valeur moyenne est d'environ $Q=0.0095 \text{ l/s}$.

Concernant les vitesses d'écoulement, la même chose est observée, la valeur maximale des différences est de $\Delta V=0.0014$ m/s et une valeur minimale de $\Delta V=0$ m/s est observée dans certains cas, pour le reste des conduites, on remarque des différences qui tourne autour une valeur moyenne de $\Delta V=0.00033$ m/s ce qui insignifiant.

Arrivant aux pertes de charge calculées par les deux programmes. Un décalage maximal entre les résultats trouvés atteint la valeur de $\Delta h=0.072$ m.c.e, de même qu'une valeur minimale de décalage $\Delta h=0$ m.c.e est aussi relevée, la valeur moyenne des différences est de $\Delta h=0.0082$ m.c.e.

Les différences observées précédemment entre les résultats de simulation de ce réseau par les deux programmes sont dues à l'emploi de deux méthodes différentes au niveau de la résolution : le logiciel WaterCAD utilise la méthode de « Ezio TODINI » et «Salgado PILATI » ou (l'algorithme de gradient) par contre dans notre programme on utilise la méthode matricielle des débits pour le calcul des débits.

En outre, pour le logiciel WaterCAD on n'a pas pu contrôler la méthode ou le degré de précision de calcul de coefficient de frottement (λ), sachant qu'une légère différence de calcul de ce coefficient de frottement engendre une différence dans le calcul des pertes de charges ce qui provoque une redistribution des débits au niveau des mailles, sans oublier qu'une différence entre les résultats de répartition des débits conduit à une différence de répartition des vitesses aussi.

IV.3.7- Répartition de charges et de pressions pendant l'heure de pointe de la journée :

La connaissance des charges et des pressions nodales est aussi importante que les débits et les vitesses. Notre programme nous permet le calcul de ces deux paramètres.

Nous proposons dans cette partie une comparaison des résultats trouvés par notre programme et le logiciel WaterCAD durant les heures de pointe (de 9^h à 10^h) en guise d'exemple de comparaison.

Dans notre code l'étape de calcul des charges et des pressions nodales succède à l'étape de calcul de distribution des débits, car les résultats de calcul des pertes de charges des conduites sont des données nécessaires dans le calcul des charges et des pressions nodales.

Tableau N°26: Résultats de calcul des charges et des pressions nodales de l'heure de pointe par les deux programmes.

Nœud	Elévation (m)	Notre Programme	WaterCAD	Différence ΔH (m.c.e)	Notre Programme	WaterCAD	Différence ΔP (m.c.e)
		Charge Totale H (m.c.e)	Charge Totale H (m.c.e)		Pression P (m.c.e)	Pression P (m.c.e)	
J-1	46.54	69.8514	69.8419	0.0095	23.311	23.255	0.056
J-2	56	62.4123	62.3814	0.0309	6.412	6.379	0.033
J-3	7.4	59.1596	59.1065	0.0531	51.76	51.602	0.158
J-4	8.1	58.5908	58.5314	0.0594	50.491	50.33	0.161
J-5	10.76	70.9441	70.9437	0.0004	60.184	60.062	0.122
J-6	12.36	70.6072	70.6046	0.0026	58.247	58.127	0.12
J-7	25.7	70.5807	70.5778	0.0029	44.881	44.787	0.094
J-8	22.65	70.5183	70.5142	0.0041	47.868	47.768	0.1
J-9	33.1	70.1238	70.1181	0.0057	37.024	36.944	0.08
J-10	37.3	70.0252	70.0178	0.0074	32.725	32.652	0.073
J-11	42.64	70.1195	70.1138	0.0057	27.48	27.418	0.062
J-13	28.44	74.8203	74.8183	0.002	46.38	46.285	0.095
J-14	27.18	63.31	63.2748	0.0352	36.13	36.022	0.108
J-15	30.27	59.04	58.9888	0.0512	28.77	28.661	0.109
J-16	62	62.3993	62.3556	0.0437	0.399	0.355	0.044
J-17	68.8	77.8964	77.8964	0	9.096	9.078	0.018
J-18	61.34	77.6436	77.6418	0.0018	16.304	16.269	0.035
J-19	28.46	58.9572	58.9054	0.0518	30.497	30.384	0.113
J-20	22.1	57.694	57.6357	0.0583	35.594	35.464	0.13
J-21	31	55.5023	55.4269	0.0754	24.502	24.378	0.124
J-22	21	57.7019	57.6437	0.0582	36.702	36.57	0.132
J-23	21.3	57.7299	57.672	0.0579	36.43	36.299	0.131
J-24	15.85	56.801	56.7373	0.0637	40.951	40.805	0.146
J-25	26	53.2039	53.1118	0.0921	27.204	27.057	0.147
J-26	35.8	53.6111	53.5237	0.0874	17.811	17.688	0.123
J-27	27	51.8221	51.7189	0.1032	24.822	24.669	0.153
J-28	35	52.2505	52.1517	0.0988	17.251	17.117	0.134
J-29	33.85	51.6261	51.5196	0.1065	17.776	17.634	0.142
J-30	10.8	57.5214	57.4616	0.0598	46.721	46.568	0.153
J-31	8.23	57.3009	57.239	0.0619	49.071	48.91	0.161
J-32	7.9	56.5265	56.4597	0.0668	48.627	48.462	0.165
J-33	3.5	56.3056	56.2351	0.0705	52.806	52.629	0.177
J-34	7.46	54.5152	54.4261	0.0891	47.055	46.872	0.183
J-35	69.5	77.8694	77.8692	0.0002	8.369	8.352	0.017
J-36	68.8	77.7494	77.7487	0.0007	8.949	8.931	0.018
J-37	44	64.9903	64.9576	0.0327	20.99	20.915	0.075
J-38	24.5	64.4885	64.4521	0.0364	39.989	39.872	0.117
J-39	25	67.2746	67.2489	0.0257	42.275	42.164	0.111
J-40	44.1	60.3692	60.323	0.0462	16.269	16.19	0.079

Tableau N°26 : Résultats de calcul des charges et des pressions nodales de l'heure de pointe par les deux programmes (suite).

Nœud	Élévation (m)	Notre Programme	WaterCAD	Différence ΔH (m.c.e)	Notre Programme	WaterCAD	Différence ΔP (m.c.e)
		Charge Totale H (m.c.e)	Charge Totale H (m.c.e)		Pression P (m.c.e)	Pression P (m.c.e)	
J-41	16.4	59.6069	59.5533	0.0536	43.207	43.066	0.141
J-42	24.16	59.9723	59.9231	0.0492	35.812	35.691	0.121
J-43	17.6	59.3145	59.2608	0.0537	41.715	41.577	0.138
J-44	18.7	58.0484	57.9922	0.0562	39.348	39.213	0.135
J-45	14.2	57.1928	57.1297	0.0631	42.993	42.843	0.15
J-46	16.8	57.1416	57.0777	0.0639	40.342	40.197	0.145
J-47	14.5	64.141	64.0994	0.0416	49.641	49.5	0.141
J-48	12.5	58.2852	58.2209	0.0643	45.785	45.629	0.156
J-49	10.2	64.6442	64.6047	0.0395	54.444	54.295	0.149
J-50	21.58	57.8172	57.7599	0.0573	36.237	36.107	0.13
J-51	15.6	57.4723	57.4123	0.06	41.872	41.728	0.144
J-52	12.78	57.3448	57.2836	0.0612	44.565	44.414	0.151
J-53	5.52	57.2943	57.2326	0.0617	51.774	51.608	0.166
J-54	6.5	57.0659	57.0011	0.0648	50.566	50.399	0.167
J-55	10	56.6337	56.5624	0.0713	46.634	46.469	0.165
J-56	12	56.6426	56.5712	0.0714	44.643	44.481	0.162
J-57	13	57.1172	57.0482	0.069	44.117	43.959	0.158
J-58	13.1	57.5953	57.5322	0.0631	44.495	44.343	0.152
J-59	8	55.9585	55.8785	0.08	47.959	47.782	0.177
J-60	26.33	72.7797	72.7695	0.0102	46.45	46.346	0.104
J-61	17.8	70.7369	70.7184	0.0185	52.937	52.812	0.125
J-62	16.8	70.639	70.6189	0.0201	53.839	53.71	0.129
J-63	12.5	70.2252	70.204	0.0212	57.725	57.588	0.137
J-64	21.5	58.2828	58.1919	0.0909	36.783	36.618	0.165
J-66	4.1	57.247	57.1843	0.0627	53.147	52.977	0.17
J-67	11.86	57.247	57.1843	0.0627	45.387	45.233	0.154
J-68	64	77.7042	77.7028	0.0014	13.704	13.675	0.029
J-69	68.16	77.5811	77.5776	0.0035	9.421	9.399	0.022
J-70	12.74	77.3723	77.3682	0.0041	64.632	64.498	0.134
J-71	7	73.6172	73.5861	0.0311	66.617	66.452	0.165
J-72	50	77.6108	77.6083	0.0025	27.611	27.553	0.058
J-73	13	70.219	70.1712	0.0478	57.219	57.056	0.163
J-74	52.6	58.8786	58.8252	0.0534	6.279	6.213	0.066
J-75	22	51.4259	51.3178	0.1081	29.426	29.259	0.167
J-76	42.7	67.101	67.073	0.028	24.401	24.324	0.077
J-77	15.6	70.58	70.5769	0.0031	54.98	54.866	0.114
J-78	10.4	70.5766	70.5734	0.0032	60.177	60.052	0.125
J-79	12.4	70.5767	70.5735	0.0032	58.177	58.056	0.121
J-80	9	70.0566	70.0327	0.0239	61.057	60.91	0.147

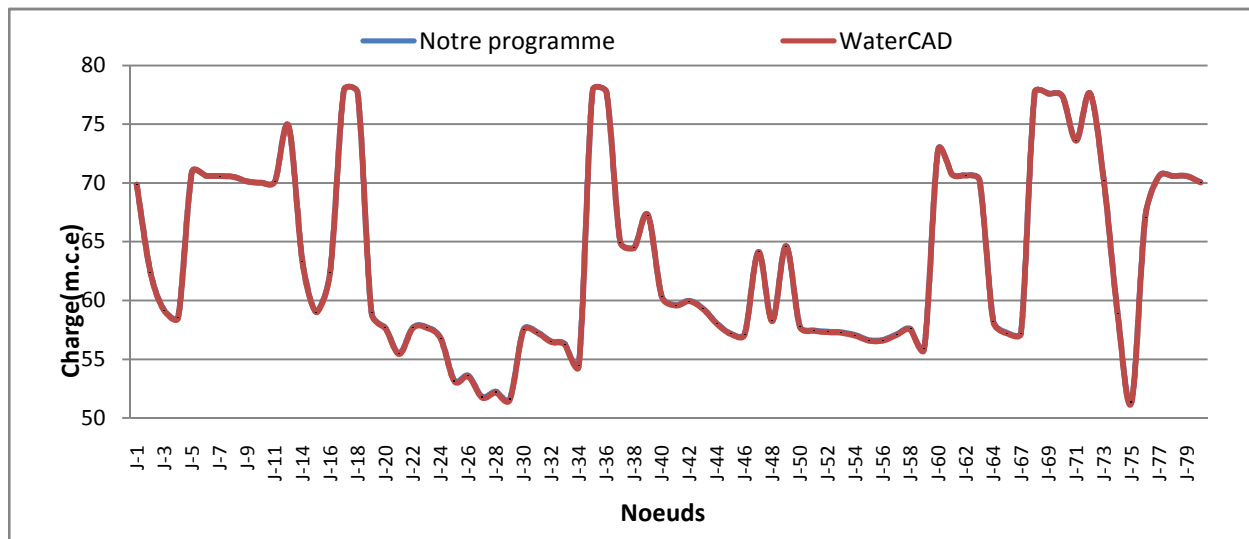


Figure N° 6: Comparaison des résultats des charges trouvés par notre programme et WaterCAD.

IV.3.7- Interprétation des résultats de calcul des charges et des pressions nodales:

On remarque que dans la plus part des nœuds la pression nodale varie entre 20 m.c.e et 50 m.c.e, c'est une pression importante.

Concernant la partie de réseau alimentée par le réservoir d'équilibre qui est la partie contenant les nœuds (J-1, J-2, J-3, J-5, J-6, J-7, J-8, J-9, J-10, J-11, J-77, J-78 et J-79). On remarque une pression minimale de ($P \approx 6.4$ m.c.e) observée au nœud (J-2) et une pression maximale atteint ($P \approx 60.1$ m.c.e) observée aux nœuds (J-5) et (J-78). La pression moyenne caractérisant cette partie est de l'ordre de ($P \approx 43.8$ m.c.e).

La comparaison des résultats de simulation entre les deux programmes au point de vue calcul des charges montre une différence minimale de ($\Delta H = 0$ m.c.e) observée au nœud (J-17), une différence maximale de ($\Delta H = 0.108$ m.c.e) observée au nœud (J-75) et une moyenne des différences égale à ($\Delta H = 0.044$ m.c.e).

La confrontation des résultats de calcul des pressions nodales, entre les deux programmes, révèle des décalages plus importants: la différence minimale entre les pressions est de ($\Delta P = 0.017$ m.c.e), la différence maximale est de ($\Delta P = 0.183$ m.c.e), la moyenne des différences atteint la valeur de ($\Delta P = 0.12$ m.c.e).

Les écarts relevés dans le calcul des charges et pressions nodales s'expliquent par :

- Les méthodes de calcul des charges nodales sont différentes, dans notre programme on utilise une méthode matricielle basé sur les résultats de la

théorie des graphes, par contre le logiciel WaterCAD utilise l'algorithme de Gradient qui donne les résultats des débits et des charges directement.

- Les résultats de distribution des débits sont différents ce qui implique par conséquent des valeurs de pertes de charge différentes ce qui influe sur les charges nodales calculées, en particulier pour notre programme, car il se base sur les pertes de charge des conduites appartenant aux schémas ramifiés des réseaux pour calculer la distribution des charges et des pressions.
- Par contre, d'après la notice de WaterCAD, ce logiciel prend en charge les pertes de charge singulières dues au changement des directions et autres singularités (vanne, Té ...etc.). Il est visible dans le tableau précédent que pour le logiciel WaterCAD la valeur de pression pour un nœud ne correspond pas à la valeur de charge moins la cote de terrain naturel c.à.d.

$$P \neq H - z$$

Enfin, cette confrontation des résultats nous donne une idée sur la fiabilité des résultats de simulation de réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian durant les autres périodes de la journée par notre programme.

IV.4- Influence de diamètre de la conduite d'adduction sur les débits écoulant vers le réservoir d'équilibre :

Nous abordons dans cette partie la simulation de fonctionnement de réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian en analysant principalement l'influence du diamètre de la conduite d'adduction sur la condition de remplissage du réservoir d'équilibre (la conduite P-10). La conduite P-10 est une conduite reliant le nœud (J-13) au réservoir d'équilibre (R₃).

Pour illustrer cette influence de diamètre sur le débit de remplissage de réservoir d'équilibre on a choisi une gamme des diamètres donnée par (φ100 mm, φ150 mm, φ200 mm, φ250 mm, φ300 mm et φ400 mm).

Le tableau suivant montre les résultats de calcul des débits et des vitesses d'écoulement de la conduite (P-10) d'adduction de réservoir d'équilibre seulement (sans considérer les autres conduites de réseau), ces résultats sont obtenus en utilisant notre programme comme moyen de simulation.

IV.4.1- Résultats de simulation :

Tableau N°27: Débits et vitesses d'écoulement pour différents diamètres de la conduite d'adduction P-10.

Heures	Diamètre $\phi 100$ mm pour P-10		Diamètre $\phi 150$ mm pour P-10		Diamètre $\phi 200$ mm pour P-10	
	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)
0--1	2,47	0,315	7,32	0,414	15,51	0,494
1--2	2,467	0,314	7,29	0,413	15,44	0,491
2--3	2,49	0,317	7,36	0,417	15,64	0,498
3--4	2,48	0,316	7,35	0,416	15,61	0,497
4--5	2,46	0,313	7,26	0,411	15,34	0,488
5--6	2,44	0,31	7,18	0,406	15,14	0,482
6--7	2,42	0,308	7,13	0,403	15	0,477
7--8	2,4	0,306	7,07	0,4	14,84	0,472
8--9	2,38	0,303	6,99	0,395	14,63	0,466
9--10	2,34	0,298	6,86	0,388	14,31	0,456
10--11	2,39	0,304	7,02	0,3947	14,7	0,468
11--12	2,39	0,305	7,03	0,398	14,74	0,469
12--13	2,42	0,309	7,14	0,404	15,03	0,478
13--14	2,42	0,308	7,12	0,403	14,98	0,477
14--15	2,41	0,307	7,1	0,402	14,93	0,475
15--16	2,4	0,306	7,08	0,4	14,86	0,473
16--17	2,4	0,306	7,08	0,4	14,87	0,473
17--18	2,43	0,31	7,17	0,406	15,11	0,481
18--19	2,42	0,308	7,13	0,403	15	0,477
19--20	2,42	0,308	7,13	0,403	15	0,477
20--21	2,42	0,308	7,13	0,403	15	0,477
21--22	2,39	0,304	7,02	0,3947	14,7	0,468
22--23	2,42	0,308	7,11	0,403	14,96	0,476
23--24	2,46	0,314	7,28	0,412	15,41	0,49

Tableau N°27: Débits et vitesses d'écoulement pour différents diamètres de la conduite d'adduction P-10 (Suite).

Heures	Diamètre $\phi 250$ mm pour P-10		Diamètre $\phi 300$ mm pour P-10		Diamètre $\phi 400$ mm pour P-10	
	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)
0--1	27,03	0,551	40,97	58	68,31	0,544
1--2	26,86	0,547	40,62	0,575	67,41	0,536
2--3	27,35	0,557	41,64	0,589	70,16	0,558
3--4	27,28	0,556	41,5	0,587	69,76	0,555
4--5	26,64	0,543	40,17	0,568	66,26	0,527
5--6	26,18	0,533	39,24	0,555	63,93	0,509
6--7	25,86	0,527	38,61	0,546	62,36	0,496

Tableau N°27 : Débits et vitesses d'écoulement pour différents diamètres de la conduite d'adduction P-10 (Suite).

	Diamètre $\phi 250$ mm pour P-10		Diamètre $\phi 300$ mm pour P-10		Diamètre $\phi 400$ mm pour P-10	
	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)
8--9	25,52	0,52	37,96	0,537	60,78	0,484
7--8	25,04	0,51	37,04	0,524	58,48	0,465
8--9	24,37	0,496	35,81	0,507	55,75	0,444
10--11	25,2	0,513	37,34	0,528	59,17	0,471
11--12	25,29	0,515	37,51	0,531	59,56	0,474
12--13	25,94	0,528	38,77	0,548	62,75	0,499
13--14	25,81	0,526	38,49	0,544	61,86	0,492
14--15	25,69	0,523	38,26	0,541	61,31	0,488
15--16	25,55	0,521	38	0,538	60,71	0,483
16--17	25,57	0,521	38,03	0,538	60,78	0,484
17--18	26,12	0,532	39,11	0,553	63,61	0,506
18--19	25,86	0,527	38,61	0,546	62,36	0,496
19--20	25,86	0,527	38,61	0,546	62,36	0,496
20--21	25,86	0,527	38,61	0,546	62,36	0,496
21--22	25,2	0,513	37,34	0,528	59,17	0,471
22--23	25,77	0,525	38,44	0,544	61,96	0,493
23--24	26,79	0,546	40,47	0,573	67,03	0,534

Les représentations graphiques de la variation des débits :

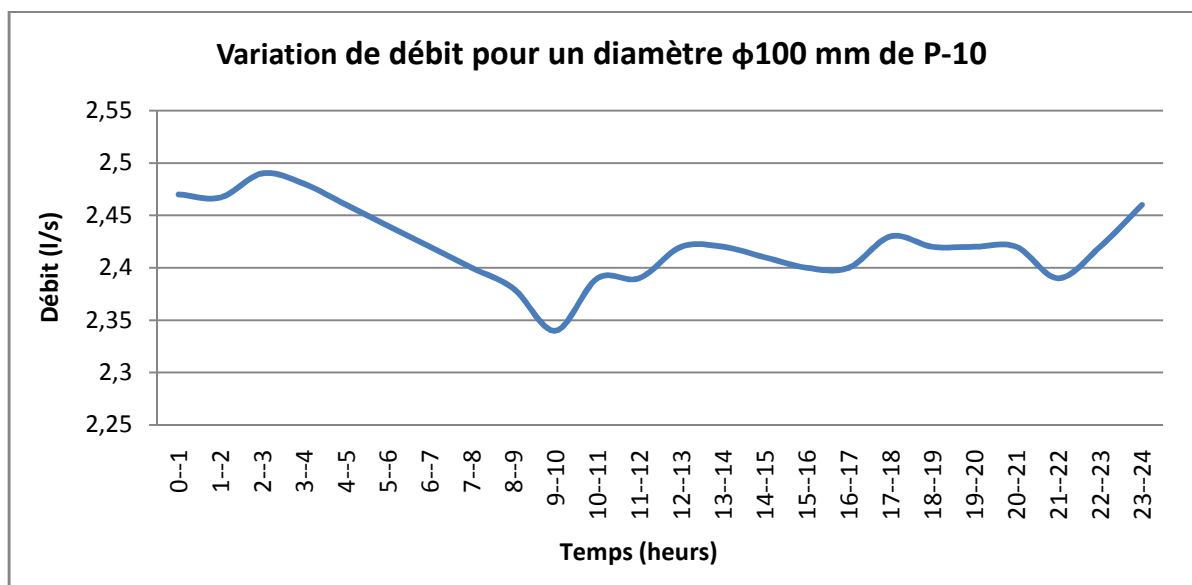


Figure N° 7: Variation de débit écoulant vers le réservoir R3 pour un diamètre $\phi 100$ mm du conduit d'adduction P-10.

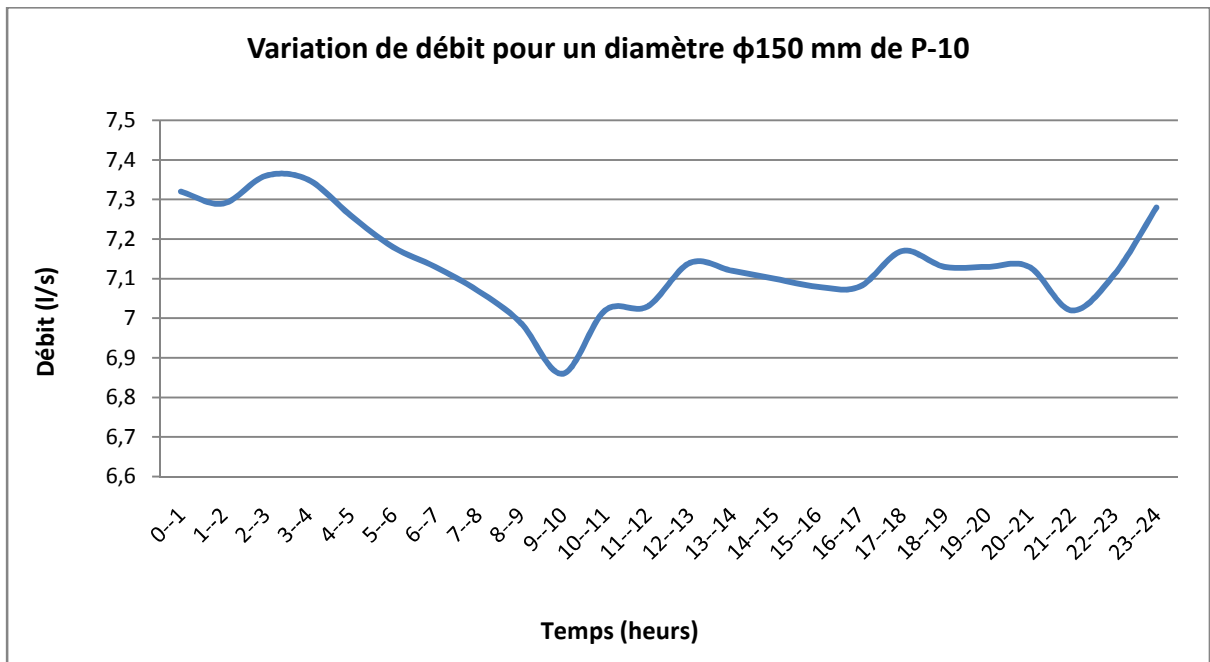


Figure N° 8 : Variation de débit écouant vers le réservoir R3 pour un diamètre $\phi 150$ mm du conduit d'adduction P-10.

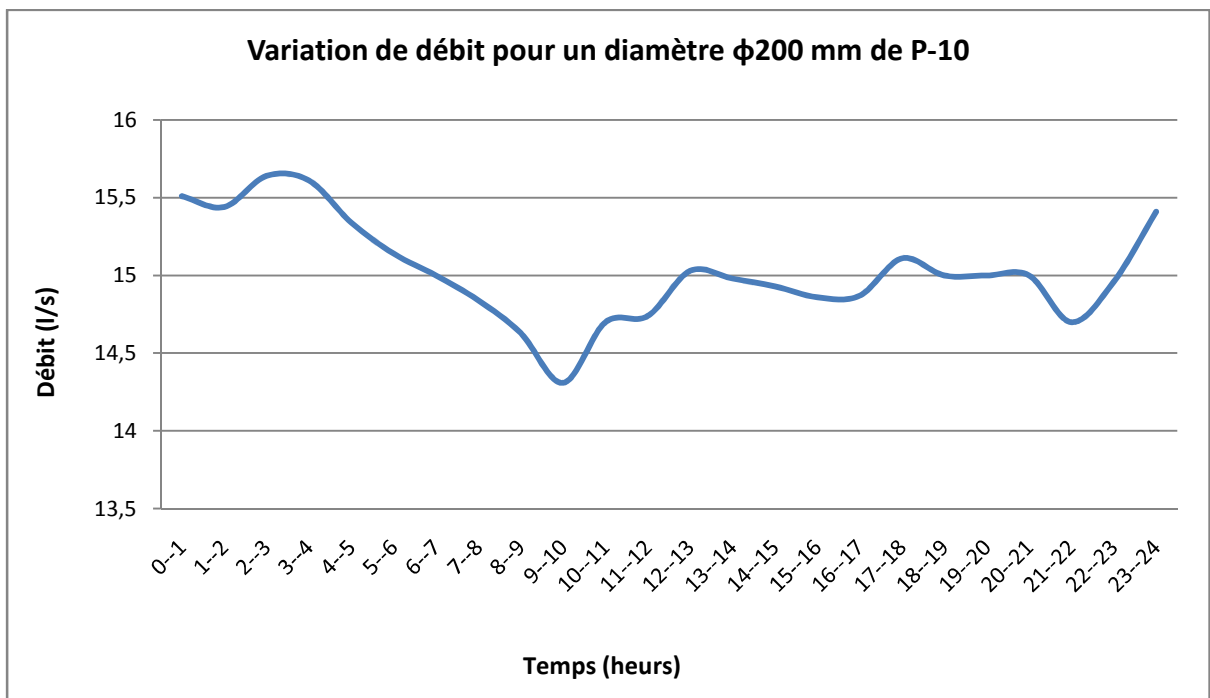


Figure N° 9 : Variation de débit écouant vers le réservoir R₃ pour un diamètre $\phi 200$ mm du conduit d'adduction P-10.

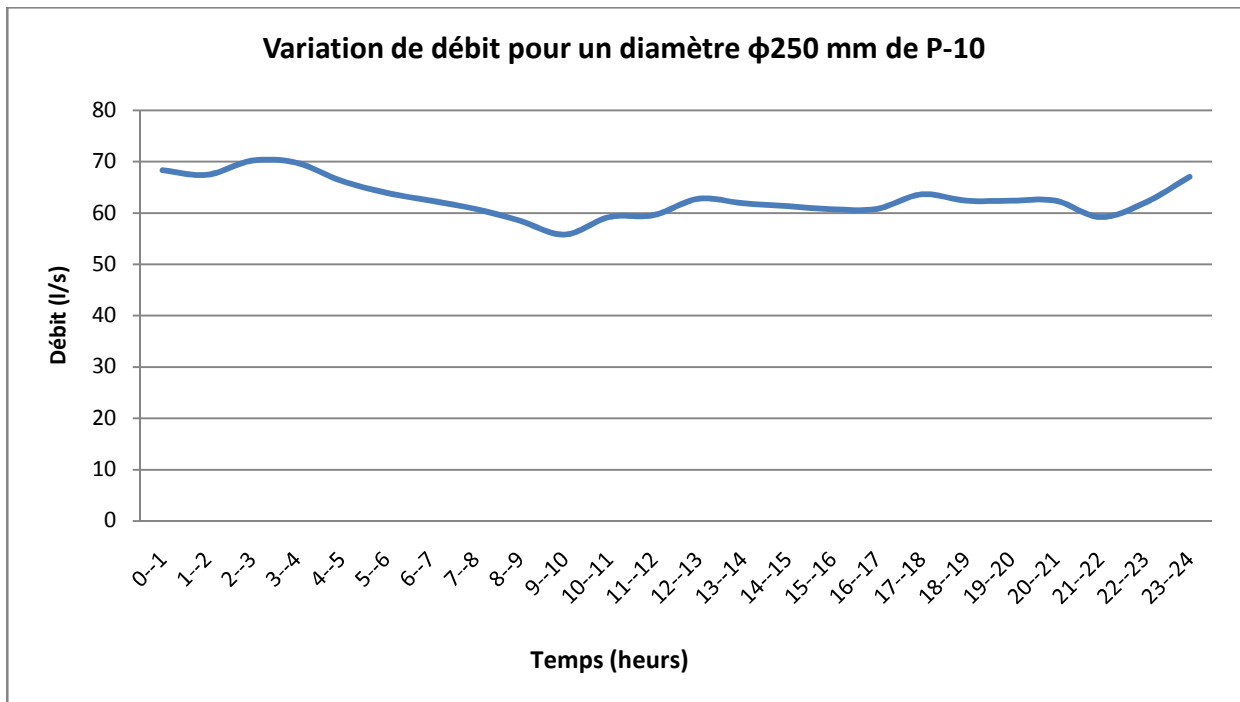


Figure N° 10 : Variation de débit écouant vers le réservoir R₃ pour un diamètre de $\phi 250$ mm de la conduite d'adduction P-10.

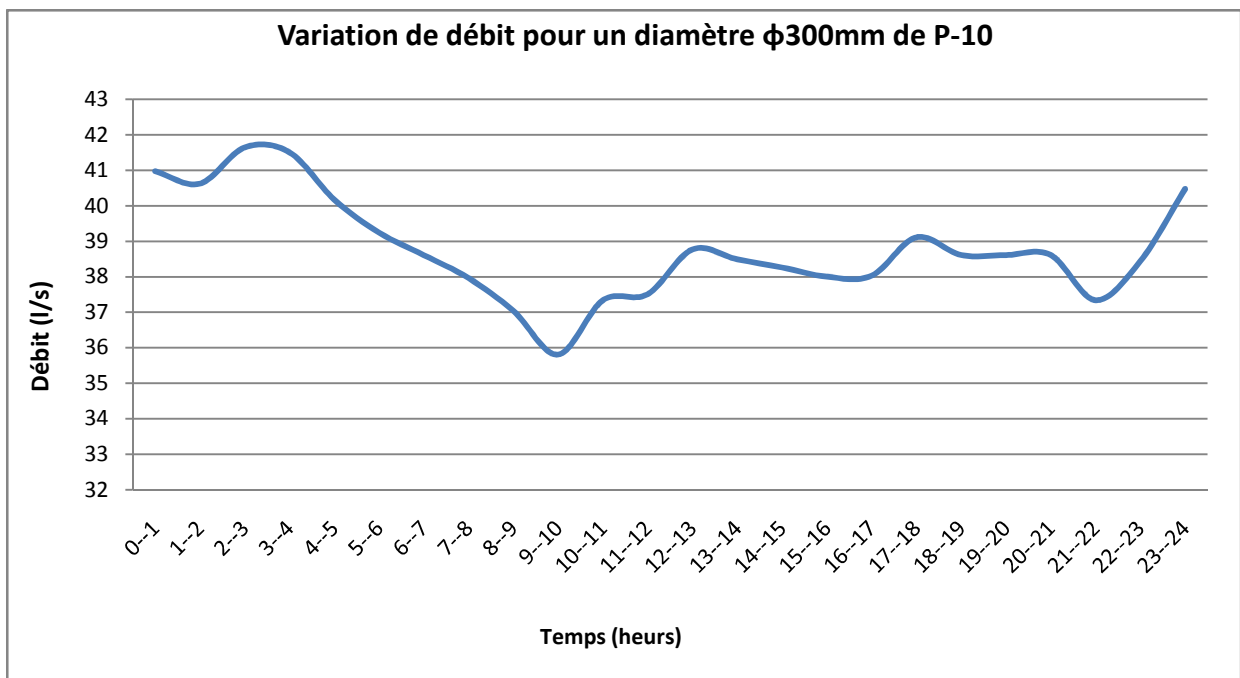


Figure N° 11- Variation de débit écouant vers le réservoir R₃ pour un diamètre de $\phi 300$ mm de la conduite d'adduction P-10.

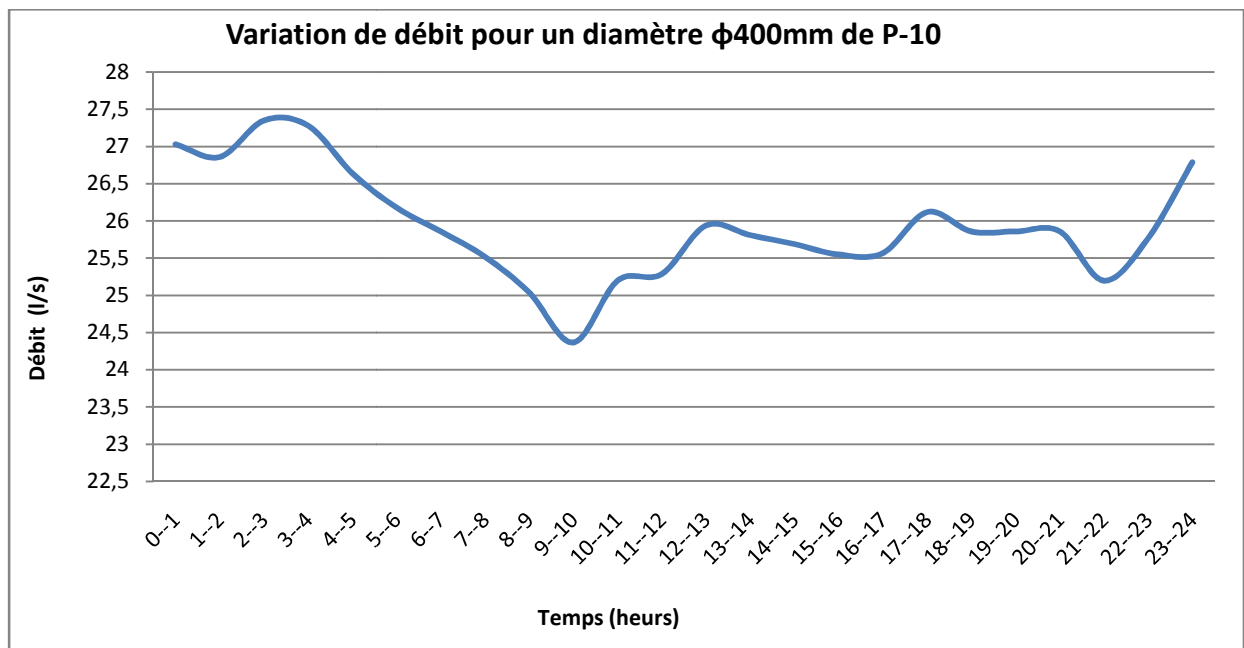


Figure N° 12- Variation de débit écoulant vers le réservoir R₃ pour un diamètre de $\phi 400$ mm de la conduite d'adduction P-10.

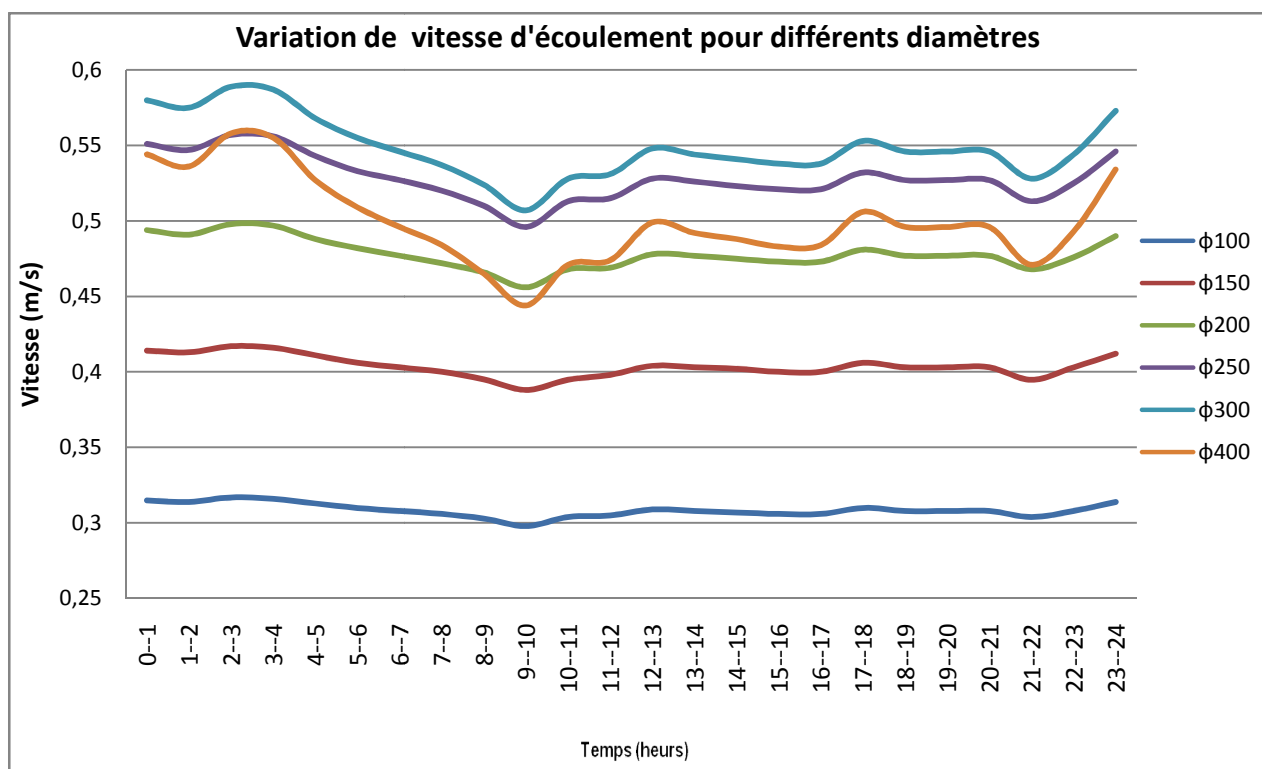


Figure N° 13 : Variation de vitesse d'écoulement durant la journée pour différents diamètres de la conduite P-10 d'adduction de réservoir d'équilibre R₃.

Remarque :

- On remarque que pour tous les diamètres choisis, la variation des débits d'apport vers le réservoir d'équilibre suit la même allure.

- D'après les résultats mentionnés, la variation de débit s'écoulant vers le réservoir R₃ n'est pas importante, et cela due au régime de consommation (Figure N° 10) qui présente une stabilité pendant une longue durée de la journée (de 10^H jusqu'à 23^H) donc le surplus dans le réseau sera stable pendant cette période.
- Les vitesses d'écoulement varient de 0.3 m/s à 0.6 m/s selon le diamètre choisi et varient aussi selon la période de la journée. On remarque qu'elles atteignent ces valeurs maximales pour le diamètre ϕ 300mm.
- Pendant les heures creuses caractérisées par une faible consommation, le débit s'écoulant vers le réservoir est plus important que pendant les heures de forte consommation.
- Pour toute la gamme des diamètres choisis, le débit d'apport de réservoir R₃ varie inversement par rapport au débit de consommation dans le réseau de distribution. Les allures de variation sont inversées, la figure suivante montre la variation de débit de consommation dans le réseau.

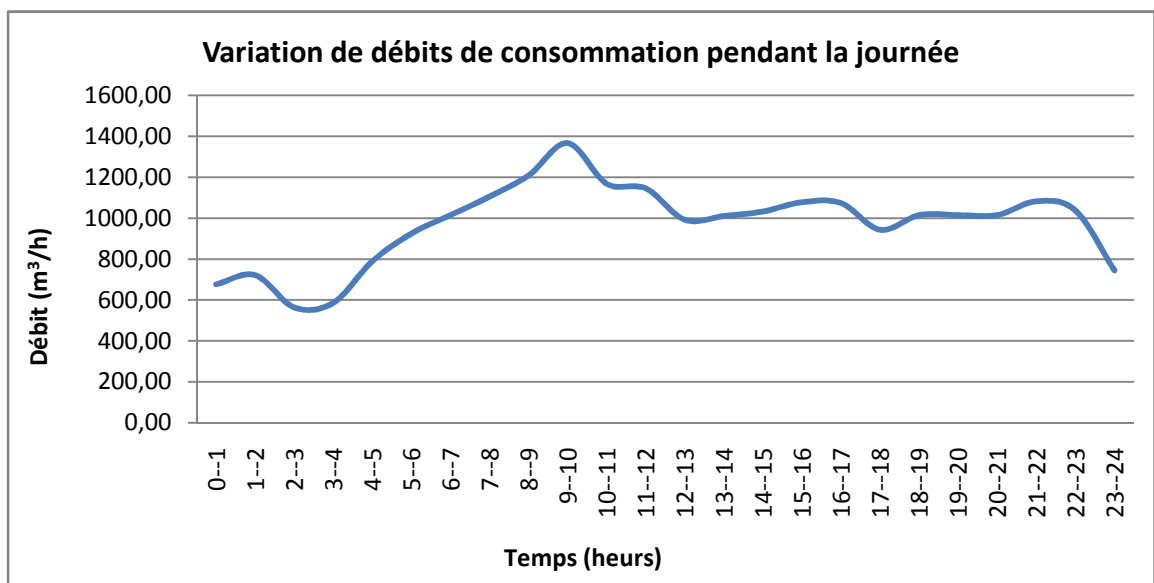


Figure N° 14 : Variation de débit de consommation pendant la journée.

- D'après les résultats apparus dans le tableau N°27 (Débits et vitesses d'écoulement pour différents diamètres de la conduite d'adduction P-10), le diamètre choisi influe énormément sur le débit transporté vers le réservoir R₃.

IV.4.2- Volume de remplissage de réservoir d'équilibre :

La variation des volumes cumulés dans le réservoir d'équilibre R₃ est mentionnée dans le tableau suivant.

Tableau N°28 : Volumes cumulés dans le réservoir R3 durant la journée.

Heures	Volume cumulés dans le réservoir R3 (m ³)					
	φ100	φ150	φ200	φ250	φ300	φ400
0--1	8,892	26,352	55,836	97,308	147,492	245,916
1--2	17,77	52,60	111,42	194,00	293,72	488,59
2--3	26,74	79,09	167,72	292,46	443,63	741,17
3--4	35,67	105,55	223,92	390,67	593,03	992,30
4--5	44,52	131,69	279,14	486,58	737,64	1230,84
5--6	53,31	157,54	333,65	580,82	878,90	1460,99
6--7	62,02	183,20	387,65	673,92	1017,90	1685,48
7--8	70,66	208,66	441,07	765,79	1154,56	1904,29
8--9	79,23	233,82	493,74	855,94	1287,90	2114,82
9--10	87,65	258,52	545,26	943,67	1416,82	2315,52
10--11	96,25	283,79	598,18	1034,39	1551,24	2528,53
11--12	104,86	309,10	651,24	1125,43	1686,28	2742,95
12--13	113,57	334,80	705,35	1218,82	1825,85	2968,85
13--14	122,28	360,43	759,28	1311,73	1964,41	3191,54
14--15	130,96	385,99	813,02	1404,22	2102,15	3412,26
15--16	139,60	411,48	866,52	1496,20	2238,95	3630,82
16--17	148,24	436,97	920,05	1588,25	2375,86	3849,62
17--18	156,99	462,78	974,45	1682,28	2516,65	4078,62
18--19	165,70	488,45	1028,45	1775,38	2655,65	4303,12
19--20	174,41	514,12	1082,45	1868,47	2794,64	4527,61
20--21	183,12	539,78	1136,45	1961,57	2933,64	4752,11
21--22	191,73	565,06	1189,37	2052,29	3068,06	4965,12
22--23	200,44	590,65	1243,22	2145,06	3206,45	5188,18
23--24	209,29	616,86	1298,70	2241,50	3352,14	5429,48

Tableau N°29 : Volume total cumulé dans le réservoir R₃ pour différents diamètres de la conduite P-10 d'adduction.

Diamètre de la conduite d'adduction (mm)	φ100	φ150	φ200	φ250	φ300	φ400
Volume cumulé (m ³)	209,29	616,86	1298,70	2241,50	3352,14	5429,48

Les représentations graphiques de variation des volumes cumulés dans le réservoir R₃ sont les suivantes :

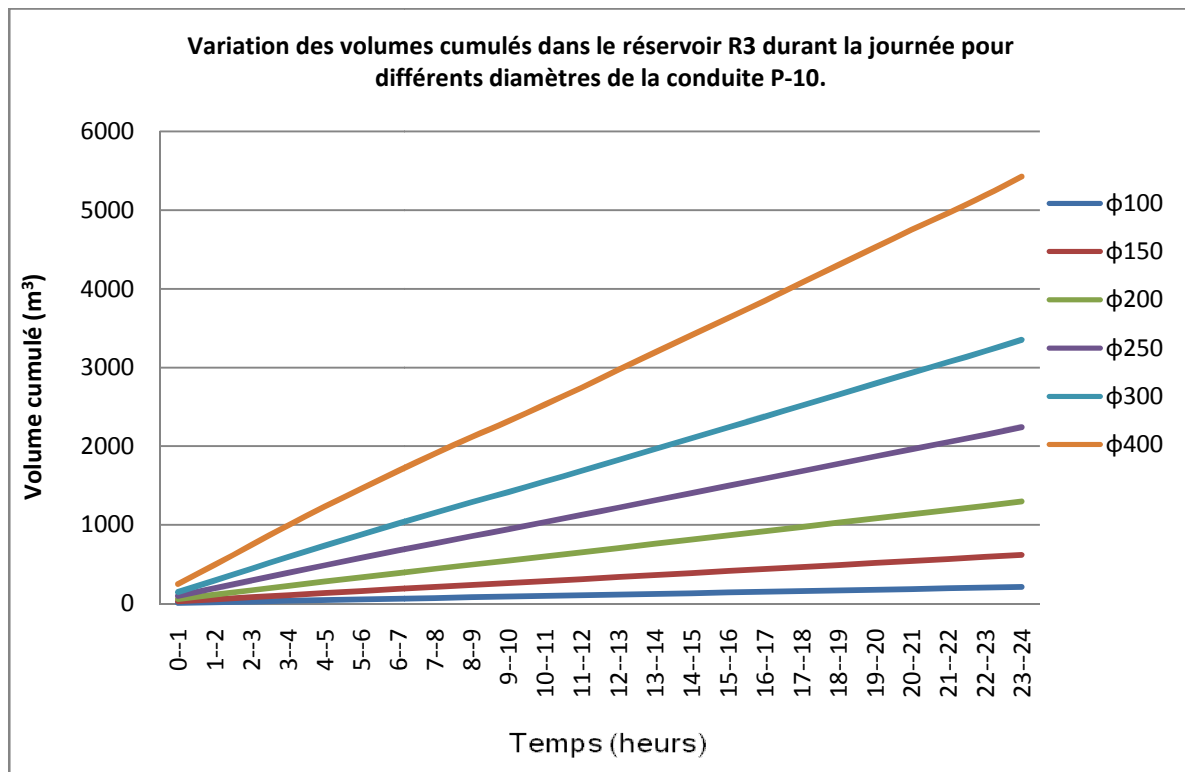


Figure N °15 : Variation des volumes cumulés dans le réservoir R₃ durant la journée pour différents diamètres de la conduite P-10.

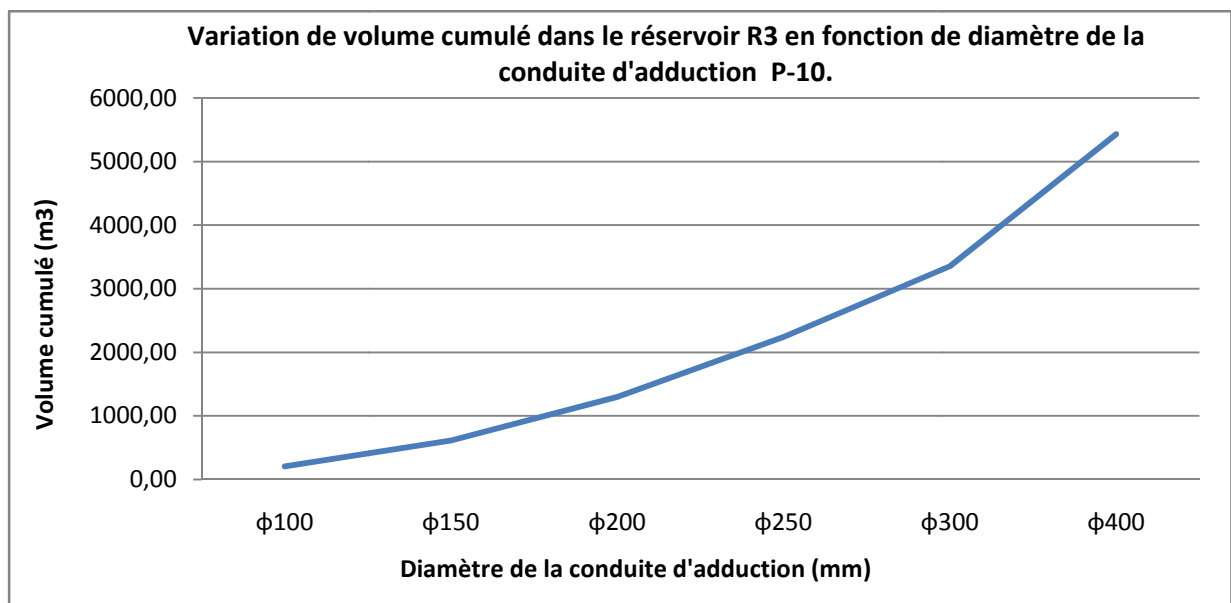


Figure N°16 : Variation de volume cumulé dans le réservoir R₃ en fonction de diamètre de la conduite d'adduction P-10.

Remarque:

- On remarque que le choix de diamètre a un impact sur le volume de remplissage de réservoir d'équilibre R_3 , l'augmentation de diamètre conduit à une augmentation de débit d'apport donc une augmentation de volume de remplissage.
- Le volume arrivant au réservoir varie proportionnel avec le diamètre de la conduite choisi, le tableau N°29 et la figure-16 montrent cette proportionnalité.

IV.5-Conclusion :

Après le traitement de cet exemple concernant le réseau d'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Bénian, on peut conclure que :

- Le diamètre de la conduite d'adduction a une influence sur le débit de remplissage de réservoir d'équilibre ainsi que sur leur volume: une augmentation de diamètre de conduite d'adduction de réservoir d'équilibre conduit à une augmentation sensible de débit d'apport et du volume de remplissage.
- La variation de débit d'apport de réservoir d'équilibre pendant la journée dépend du taux et de la variation de la consommation dans le réseau de distribution. La connaissance du régime de consommation de l'agglomération de la ville nous permet d'évaluer le débit d'apport et le volume de remplissage de façon plus exacte, car le régime de consommation influe énormément sur les résultats d'étude de ce type des problèmes
- Connaissant les besoins des consommateurs de la zone considérée et l'implantation du réservoir d'équilibre, on peut choisir le diamètre le plus approprié permettant d'assurer le volume nécessaire.
- Le réseau est ancien, composé de conduites d'amiante-ciment, de fonte et d'acier, on propose de renouveler ce réseau avec le PEHD.
- Les consommateurs sont concentrés dans les parties: nord, nord-ouest et la nord-est de la ville ce qui rend la consommation intense dans ces parties, par contre les parties de Sud et de l'Est ne sont pas dense, la répartition équitable des débits de consommation sur toute le réseau de distribution ne reflète pas vraiment la réalité de situation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Bien qu'il soit prématuré de compter dès à présent sur un outil logiciel en cours de mise au point, les avantages que l'on peut tirer, d'ores et déjà, du programme de calcul élaboré à l'issue de ce travail de fin d'études, ne sont pas négligeables.

En premier lieu, il convient de noter que les principes de base régissant les réseaux d'alimentation en eau potable ont été énoncées depuis longtemps, le complément d'éléments apportés a été surtout mise à profit pour améliorer les algorithmes : par exemple la diffusion de la méthode de Hardy Cross et malgré les nombreuses contributions publiées dans le domaine du calcul de réseaux, il faut bien reconnaître que l'on a pas exploité tout le potentiel des l'analyse fonctionnelle comme outil mathématique. En ce sens, la production d'un programme de calcul basé sur une des théories, la théorie des graphes, quasiment inexploitée chez nous, était notre objectif principal et qu'on a réussi à atteindre avec succès : une confrontation de nos résultats de calcul avec ceux fournis par les logiciels Epanet et Water CAD, appliqué sur un exemple de réseau fictif, a permis de montrer une bonne concordance, ce qui a permis de valider l'exploitation de notre code de calcul. Sur le plan du temps d'exécution en termes de nombre d'itérations, notre outil est plus rapide.

Dans le cadre d'une application plus générale de notre programme de simulation, une attention toute particulière a été accordée à la problématique des réservoirs d'équilibre implantés dans des réseaux à structure hybride. Pour la validation de l'applicabilité de notre produit informatique on a choisi comme réseau de distribution, celui de la ville d'Ain Bénian, dont la structure est caractérisée par une configuration assez complexe où l'utilisation de réservoirs d'équilibre s'impose. Le diagnostic du fonctionnement effectué à l'aide de notre programme de simulation à révéler plusieurs anomalies et suggérer à l'issue de cette analyse des palliatifs.

Sur le plan théorique on a vu l'influence de choix de diamètre de la conduite d'apport sur la condition de remplissage du réservoir d'équilibre, il reste à confirmer les résultats trouvés par des modèles expérimentaux.

D'autres aspects concernant la problématique des réseaux de distribution mériteraient d'être abordés tels que la détermination de la zone d'influence de chaque réservoir présent dans le réseau, l'influence d'une rugosité variable le long d'une conduite...etc.

On notera pour conclure que les principaux objectifs qu'on s'est fixés ont été atteints : élaboration d'un programme de simulation des réseaux complexes sur la base des principes fondamentaux des réseaux d'alimentation en eau potable et à l'appui d'outils mathématique puissants à savoir la théorie des graphes. Il n'en demeure pas moins qu'il serait nécessaire, dans un souci d'optimisation de l'applicabilité de notre programme, de compléter sa structure par des procédures de détection et de reconnaissance automatique de mailles au sein de la structure globale du réseau. L'élargissement de l'application à des réseaux en exploitation dans des conditions réelles nécessitera forcément la prise en compte des organes annexes tels que les pompes, surpresseurs, vannes, réducteurs de pression, clapets anti-retour...etc. occasionnant des pertes de charge singulière.

Bibliographie

ABDELAZIZ, R. (2006). *Cours d'hydraulique générale*. Centre Universitaire de Bechar.

ANCEY, C. (2007). *Notes de cours Hydraulique* .

Dicky, A. (1998). *Graphes et Algorithmes*.

GODART, H. *Adduction et distribution d'eau*.

Hélary, J.-M. (2004). *ALGORITHMIQUE DES GRAPHERS*. IFSIC.

Lopez, P. (Novembre 2005). *Cours de Graphes*. LAAS-CNRS.

MAHDJOUR, Z. (1982). *Réduction de la résolution d'un réseau maillé*. RAIRO.

Maquin, D. (Mai 2008). *Eléments de Théorie des Graphes et Programmation Linéaire*. INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE.

NAFI, A. (2006). *La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable*. Université Louis Pasteur, Strasbourg I.

Robert, J.-L. (2004). *HYDRAULIQUE URBAINE*. Université LAVAL.

Sigward, E. (Mars 2002). *Introduction à la théorie des graphes*.

Wikipédia. (2010). *VisualBasic.NET*. Consulté le 10-07-2010, sur www.Wikipédia.com

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
-ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

Annexe

**– CARACTERISTIQUES DES CONDUITES DE RESEAU
D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE D'AIN
BENIAN**

**– DEBITS AUX NOEUDS DE RESEAU D'ALIMENTATION EN
EAU POTABLE DE LA VILLE D'AIN BENIAN**

Fait par :

M^r: DAHMANI SAAD

Dirigé par :

M^r: A. OULARBI

Octobre 2010

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
-ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

Annexe

– CARACTERISTIQUES DES CONDUITES DE RESEAU
D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE D'AIN
BENIAN
– DEBITS AUX NOEUDS DE RESEAU D'ALIMENTATION EN
EAU POTABLE DE LA VILLE D'AIN BENIAN

Fait par :

M^r: DAHMANI SAAD

Dirigé par :

M^r: A. OULARBI

Octobre 2010

Annexe

Annexe -I: Caractéristiques des conduites de réseau de la ville d'Ain Bénian :

Conduite	Diamètre (mm)	Longueur(m)	Matériau	Nœud de départ	Nœud d'arrivé
P-1	100	377	Fonte ductile	J-3	J-4
P-2	80	427	Fonte ductile	J-3	J-5
P-3	200	227	Fonte	J-5	J-6
P-4	200	67	Fonte	J-6	J-7
P-5	80	120	Fonte	J-7	J-8
P-6	100	57	Fonte ductile	J-7	J-9
P-7	80	139	Fonte	J-9	J-10
P-8	200	73	Fonte	J-9	J-11
P-9	80	196	Fonte	J-11	J-12
P-10	350	2400	Fonte ductile	J-1	J-13
P-11	150	258	Amiante ciment	J-13	J-14
P-12	150	205	Asbestos Ciment	J-14	J-15
P-13	150	912	Fonte	J-15	J-16
P-14	350	1100	Fonte ductile	J-13	J-17
P-15	100	14	Fonte ductile	J-17	R-1
P-16	200	55	Amiante ciment	J-15	J-19
P-17	150	131	Fonte	J-20	J-24
P-18	400	157	Fonte	J-20	J-22
P-19	80	229	Amiante ciment	J-24	J-25
P-20	100	125	Amiante ciment	J-26	J-21
P-21	80	104	Amiante ciment	J-25	J-27
P-22	80	68	Amiante ciment	J-27	J-28
P-23	80	195	Amiante ciment	J-27	J-29
P-24	150	215	Fonte	J-32	J-24
P-25	80	111	Amiante ciment	J-25	J-26
P-26	80	203	Amiante ciment	J-32	J-33
P-27	80	430	Amiante ciment	J-32	J-34
P-28	700	219	Fonte	J-35	J-36
P-29	100	750	Fonte	J-36	J-37
P-30	200	263	Amiante ciment	J-38	J-39
P-31	250	217	Fonte ductile	J-37	J-40
P-32	150	860	Fonte	J-40	J-41
P-33	200	528	Amiante ciment	J-40	J-42
P-34	200	336	Amiante ciment	J-42	J-44
P-35	200	120	Amiante ciment	J-45	J-46
P-36	200	252	Amiante ciment	J-42	J-38
P-37	150	403	Amiante ciment	J-38	J-47
P-38	80	205	Amiante ciment	J-43	J-48
P-39	100	400	Amiante ciment	J-39	J-49
P-40	150	271	Amiante ciment	J-49	J-47
P-41	200	286	Amiante ciment	J-44	J-50
P-42	300	145	Amiante ciment	J-50	J-51
P-43	300	67	Amiante ciment	J-51	J-52
P-44	250	498	Amiante ciment	J-52	J-45
P-45	300	108	Amiante ciment	J-52	J-53
P-46	150	491	Amiante ciment	J-54	J-55

Annexe

Annexe -I : Caractéristiques des conduites de réseau de la ville d'Ain Bénian (Suite) :

Conduite	Diamètre (mm)	Longueur(m)	Matériau	Nœud de départ	Nœud d'arrivé
P-47	100	81	Amiante ciment	J-55	J-56
P-48	100	81	Amiante ciment	J-56	J-57
P-49	100	171	Amiante ciment	J-57	J-58
P-50	100	287	Fonte	J-46	J-58
P-51	80	255	Fonte ductile	J-55	J-59
P-52	80	311	Amiante ciment	J-59	J-56
P-53	100	252	Amiante ciment	J-57	J-48
P-54	200	271	Amiante ciment	J-39	J-60
P-55	150	165	Amiante ciment	J-60	J-61
P-56	100	324	Amiante ciment	J-63	J-49
P-57	100	276	Amiante ciment	J-63	J-80
P-58	80	84	Amiante ciment	J-30	J-67
P-59	400	323	Fonte	J-50	J-23
P-60	200	730	Amiante ciment	J-36	J-60
P-61	125	257	Amiante ciment	J-58	J-43
P-62	250	432	Fonte ductile	J-17	J-68
P-63	80	151	Fonte	J-68	J-69
P-64	250	63	Fonte ductile	J-68	J-18
P-65	100	230	Fonte ductile	J-50	J-40
P-66	300	910	Fonte ductile	J-18	J-70
P-67	60	709	Fonte	J-70	J-71
P-68	100	143	Acier galvanisé	J-18	J-72
P-69	200	383	Amiante ciment	J-43	J-42
P-70	50	302	Acier galvanisé	J-61	J-64
P-71	102	215	Acier galvanisé	J-61	J-62
P-72	150	95	Amiante ciment	J-63	J-61
P-73	200	700	Amiante ciment	J-53	J-54
P-74	150	126	Amiante ciment	J-67	J-66
P-75	100	105	Fonte ductile	R-1	R-2
P-76	100	56	Fonte ductile	R-2	J-35
P-77	100	497	Fonte	J-2	J-3
P-78	80	116	Amiante ciment	J-28	J-26
P-79	60	880	Fonte	J-70	J-73
P-80	350	222	Fonte	J-5	R-3
P-81	100	0	Fonte ductile	J-1	R-3
P-82	100	255	Fonte ductile	J-2	R-3
P-83	80	209	Amiante ciment	J-20	J-21
P-84	100	250	Amiante ciment	J-19	J-21
P-85	100	180	Amiante ciment	J-20	J-19
P-86	80	318	Amiante ciment	J-31	J-30
P-87	400	198	Fonte	J-23	J-22
P-88	150	296	Amiante ciment	J-53	J-66
P-89	80	302	Amiante ciment	J-51	J-67
P-90	80	432	Amiante ciment	J-45	J-44
P-91	100	480	Amiante ciment	J-48	J-47
P-92	300	621	Amiante ciment	J-37	J-38
P-93	200	925	Amiante ciment	J-15	J-74

Annexe

Annexe -I : Caractéristiques des conduites de réseau de la ville d'Ain Bénian (Suite) :

Conduite	Diamètre (mm)	Longueur(m)	Matériau	Nœud de départ	Nœud d'arrivé
P-94	100	334	Fonte ductile	J-27	J-75
P-95	200	274	Amiante ciment	J-54	J-46
P-96	150	522	Fonte ductile	J-39	J-76
P-97	100	224	Amiante ciment	J-31	J-32
P-98	150	261	Amiante ciment	J-31	J-22
P-99	150	189	Amiante ciment	J-30	J-23
P-100	200	310	Fonte ductile	J-6	J-77
P-101	100	66	Fonte ductile	J-77	J-78
P-102	100	65	Fonte ductile	J-77	J-79

Annexe -II- Débits nodaux :

Par la suite :

- Q_{sp} : Le débit spécifique (l/s/ml).
- Q_n : Le débit nodal (la demande nodale) (l/s).
- Q_r : débit en route (l/s).

Annexe -II- Débits nodaux de 0^h à 2^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	0 ^h --1 ^h				1 ^h --2 ^h			
			Q_{sp} (l/s/m)	Q_r (l/s)	$0.5*Q_r$	Q_n (l/s)	Q_{sp} (l/s/m)	Q_r (l/s)	$0.5*Q_r$	Q_n (l/s)
J-1	P-9	196	0.005138	1.01	0.50	0.50	0.005480	1.07	0.54	0.54
J-2	P-77	497		2.55	1.28	2.59		2.72	1.36	2.06
	P-82	255		1.31	0.66			1.40	0.70	
J-3	P-1	377		1.94	0.97	3.34		2.07	1.03	3.56
	P-2	427		2.19	1.10			2.34	1.17	
	P-77	497		2.55	1.28			2.72	1.36	
J-4	P-1	377		1.94	0.97	0.97		2.07	1.03	1.03
J-5	P-2	427		2.19	1.10	2.82		2.34	1.17	2.40
	P-3	227		1.17	0.58			1.24	0.62	
	P-80	222		1.14	0.57			1.22	0.61	
J-6	P-3	227		1.17	0.58	1.55		1.24	0.62	1.66
	P-4	67	0.34	0.17	0.37		0.18			
	P-100	310	1.59	0.80	1.70		0.85			
J-7	P-4	67	0.34	0.17	0.63	0.37	0.18	0.67		
	P-5	120	0.62	0.31		0.66	0.33			
	P-6	57	0.29	0.15		0.31	0.16			
J-8	P-5	120	0.62	0.31	0.31	0.66	0.33	0.33		
J-9	P-6	57	0.29	0.15	0.69	0.31	0.16	0.74		
	P-7	139	0.71	0.36		0.76	0.38			
	P-8	73	0.38	0.19		0.40	0.20			
J-10	P-7	139	0.71	0.36	0.36	0.76	0.38	0.38		
J-11	P-8	73	0.38	0.19	0.69	0.40	0.20	0.74		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 0^h à 2^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-13	P-11	258	0,005138	1,33	0,66	0,66	0,005480	1,41	0,71	0,71
	P-10	2426		0,00	0,00			13,30	0,00	
	P-14	1100		0,00	0,00			6,03	0,00	
J-14	P-11	258		1,33	0,66	3,53		1,41	0,71	3,77
	P-12	205		1,05	0,53			1,12	0,56	
	P-13	912		4,69	2,34			5,00	2,50	
J-15	P-12	205		1,05	0,53	3,04		1,12	0,56	3,25
	P-16	55		0,28	0,14			0,30	0,15	
	P-93	925		4,75	2,38			5,07	2,53	
J-16	P-13	912		4,69	2,34	2,34		5,00	2,50	2,50
J-17	P-14	1100		0,00	0,00	0,00		6,03	3,01	0,00
	P-15	14		0,00	0,00			0,08	0,04	
	P-62	432		0,00	0,00			2,37	1,18	
J-18	P-64	63		0,32	0,16	0,53		0,35	0,17	0,56
	P-66	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-68	143		0,73	0,37			0,78	0,39	
J-19	P-16	55		0,28	0,14	1,25		0,30	0,15	1,33
	P-84	250		1,28	0,64			1,37	0,69	
	P-85	180		0,92	0,46			0,99	0,49	
J-20	P-17	131		0,67	0,34	1,74		0,72	0,36	1,86
	P-18	157		0,81	0,40			0,86	0,43	
	P-83	209		1,07	0,54			1,15	0,57	
	P-85	180		0,92	0,46			0,99	0,49	
J-21	P-20	125		0,64	0,32	1,50		0,69	0,34	1,60
	P-84	250	1,28	0,64	1,37		0,69			
	P-83	209	1,07	0,54	1,15		0,57			
J-22	P-18	157	0,81	0,40	1,58	0,86	0,43	1,58		
	P-87	198	1,02	0,51		1,09	0,54			
	P-98	261	1,34	0,67		1,43	0,72			
J-23	P-59	323	1,66	0,83	1,82	1,77	0,89	1,95		
	P-87	198	1,02	0,51		1,09	0,54			
	P-99	189	0,97	0,49		1,04	0,52			
J-24	P-17	131	0,67	0,34	1,48	0,72	0,36	1,58		
	P-19	229	1,18	0,59		1,25	0,63			
	P-24	215	1,10	0,55		1,18	0,59			
J-25	P-19	229	1,18	0,59	1,14	1,25	0,63	1,22		
	P-21	104	0,53	0,27		0,57	0,28			
	P-25	111	0,57	0,29		0,61	0,30			
J-26	P-20	125	0,64	0,32	0,90	0,69	0,34	0,96		
	P-25	111	0,57	0,29		0,61	0,30			
	P-78	116	0,60	0,30		0,64	0,32			
J-27	P-21	104	0,53	0,27	1,80	0,57	0,28	1,92		
	P-22	68	0,35	0,17		0,37	0,19			
	P-23	195	1,00	0,50		1,07	0,53			
	P-94	334	1,72	0,86		1,83	0,92			
J-28	P-22	68	0,35	0,17	0,47	0,37	0,19	0,50		
	P-78	116	0,60	0,30		0,64	0,32			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 0^h à 2^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	0 ^h -1 ^h				1 ^h -2 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-29	P-23	195	0,005138	1,00	0,50	0,50	0,005480	1,07	0,53	0,53
J-30	P-58	84		0,43	0,22	1,52		0,46	0,23	1,62
	P-86	318		1,63	0,82			1,74	0,87	
	P-99	189		0,97	0,49			1,04	0,52	
J-31	P-86	318		1,63	0,82	2,06		1,74	0,87	2,20
	P-97	224		1,15	0,58			1,23	0,61	
	P-98	261		1,34	0,67			1,43	0,72	
J-32	P-24	215		1,10	0,55	2,75		1,18	0,59	2,94
	P-27	430		2,21	1,10			2,36	1,18	
	P-26	203		1,04	0,52			1,11	0,56	
	P-97	224		1,15	0,58			1,23	0,61	
J-33	P-26	203		1,04	0,52	0,52		1,11	0,56	0,56
J-34	P-27	430		2,21	1,10	1,10		2,36	1,18	1,18
J-35	P-28	219		0,00	0,00	0,00		1,20	0,60	0,00
	P-76	56		0,00	0,00			0,31	0,15	
J-36	P-28	219		0,00	0,00	3,80		1,20	0,60	4,66
	P-29	750		3,85	1,93			4,11	2,06	
	P-60	730		3,75	1,88			4,00	2,00	
J-37	P-29	750		3,85	1,93	4,08		4,11	2,06	4,35
	P-31	217		1,11	0,56			1,19	0,59	
	P-92	621		3,19	1,60			3,40	1,70	
J-38	P-30	263		1,35	0,68	3,95		1,44	0,72	4,22
	P-36	252		1,29	0,65			1,38	0,69	
	P-37	403		2,07	1,04			2,21	1,10	
	P-92	621	3,19	1,60	3,40		1,70			
J-39	P-30	263	1,35	0,68	3,74	1,44	0,72	3,99		
	P-39	400	2,06	1,03		2,19	1,10			
	P-54	271	1,39	0,70		1,49	0,74			
	P-96	522	2,68	1,34		2,86	1,43			
J-40	P-31	217	1,11	0,56	4,71	1,19	0,59	5,03		
	P-32	860	4,42	2,21		4,71	2,36			
	P-33	528	2,71	1,36		2,89	1,45			
	P-65	230	1,18	0,59		1,26	0,63			
J-41	P-32	860	4,42	2,21	2,21	4,71	2,36	2,36		
J-42	P-33	528	2,71	1,36	3,85	2,89	1,45	4,11		
	P-34	336	1,73	0,86		1,84	0,92			
	P-36	252	1,29	0,65		1,38	0,69			
	P-69	383	1,97	0,98		2,10	1,05			
J-43	P-38	205	1,05	0,53	2,17	1,12	0,56	2,32		
	P-61	257	1,32	0,66		1,41	0,70			
	P-69	383	1,97	0,98		2,10	1,05			
J-44	P-34	336	1,73	0,86	3,25	1,84	0,92	3,47		
	P-41	498	2,56	1,28		2,73	1,36			
	P-90	432	2,22	1,11		2,37	1,18			
J-45	P-90	432	2,22	1,11	2,70	2,37	1,18	2,88		
	P-44	498	2,56	1,28		2,73	1,36			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 0^h à 2^h (suite):

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	0 ^h --1 ^h				1 ^h --2 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-46	P-35	120	0,005138	0,62	0,31	1,75	0.00548	0,66	0,33	1,87
	P-50	287		1,47	0,74			1,57	0,79	
	P-95	274		1,41	0,70			1,50	0,75	
J-47	P-40	271		1,39	0,70	2,96		1,49	0,74	3,16
	P-37	403		2,07	1,04			2,21	1,10	
	P-91	480		2,47	1,23			2,63	1,32	
J-48	P-38	205		1,05	0,53	2,41		1,12	0,56	2,57
	P-53	252		1,29	0,65			1,38	0,69	
	P-91	480		2,47	1,23			2,63	1,32	
J-49	P-39	400		2,06	1,03	2,56		2,19	1,10	2,73
	P-40	271		1,39	0,70			1,49	0,74	
	P-56	324		1,66	0,83			1,78	0,89	
J-50	P-41	498		2,56	1,28	3,07		2,73	1,36	3,28
	P-42	145		0,74	0,37			0,79	0,40	
	P-59	323		1,66	0,83			1,77	0,89	
	P-65	230		1,18	0,59			1,26	0,63	
J-51	P-42	145		0,74	0,37	1,32		0,79	0,40	1,41
	P-43	67		0,34	0,17			0,37	0,18	
	P-89	302		1,55	0,78			1,65	0,83	
J-52	P-43	67		0,34	0,17	1,73		0,37	0,18	1,84
	P-44	498		2,56	1,28			2,73	1,36	
	P-45	108		0,55	0,28			0,59	0,30	
J-53	P-45	108		0,55	0,28	2,84		0,59	0,30	3,02
	P-73	700		3,60	1,80			3,84	1,92	
	P-88	296		1,52	0,76			1,62	0,81	
J-54	P-46	491		2,52	1,26	3,76		2,69	1,35	4,01
	P-73	700		3,60	1,80			3,84	1,92	
	P-95	274		1,41	0,70			1,50	0,75	
J-55	P-46	491		2,52	1,26	2,12		2,69	1,35	2,27
	P-47	81		0,42	0,21			0,44	0,22	
	P-51	255	1,31	0,66	1,40		0,70			
J-56	P-47	81	0,42	0,21	1,22	0,44	0,22	1,30		
	P-48	81	0,42	0,21		0,44	0,22			
	P-52	311	1,60	0,80		1,70	0,85			
J-57	P-48	81	0,42	0,21	1,29	0,44	0,22	1,38		
	P-49	171	0,88	0,44		0,94	0,47			
	P-53	252	1,29	0,65		1,38	0,69			
J-58	P-49	171	0,88	0,44	1,84	0,94	0,47	1,96		
	P-50	287	1,47	0,74		1,57	0,79			
	P-61	257	1,32	0,66		1,41	0,70			
J-59	P-51	255	1,31	0,66	1,45	1,40	0,70	1,55		
	P-52	311	1,60	0,80		1,70	0,85			
J-60	P-54	271	1,39	0,70	3,00	1,49	0,74	3,19		
	P-55	165	0,85	0,42		0,90	0,45			
	P-60	730	3,75	1,88		4,00	2,00			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 0^h à 2^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	0 ^h -1 ^h				1 ^h -2 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-61	P-55	165	0,005138	0,85	0,42	2,00	0,005480	0,90	0,45	2,13
	P-70	302		1,55	0,78			1,65	0,83	
	P-71	215		1,10	0,55			1,18	0,59	
	P-72	95		0,49	0,24			0,52	0,26	
J-62	P-71	215		1,10	0,55	0,55		1,18	0,59	0,59
J-63	P-56	324		1,66	0,83	1,79		1,78	0,89	1,90
	P-57	276		1,42	0,71			1,51	0,76	
	P-72	95		0,49	0,24			0,52	0,26	
J-64	P-70	302		1,55	0,78	0,78		1,65	0,83	0,83
J-66	P-74	126		0,65	0,32	1,08		0,69	0,35	1,16
	P-88	296		1,52	0,76			1,62	0,81	
J-67	P-74	126		0,65	0,32	1,32		0,69	0,35	1,40
	P-58	84		0,43	0,22			0,46	0,23	
	P-89	302		1,55	0,78			1,65	0,83	
J-68	P-62	0		0,00	0,00	0,55		0,00	0,00	0,59
	P-63	151		0,78	0,39			0,83	0,41	
	P-64	63		0,32	0,16			0,35	0,17	
J-69	P-63	151		0,78	0,39	0,39		0,83	0,41	0,41
J-70	P-66	910		0,00	0,00	4,08		4,99	2,49	6,85
	P-67	709		3,64	1,82			3,89	1,94	
	P-79	880	4,52	2,26	4,82		2,41			
J-71	P-67	709	3,64	1,82	1,82	3,89	1,94	1,94		
J-72	P-68	143	0,73	0,37	0,37	0,78	0,39	0,39		
J-73	P-79	880	4,52	2,26	2,26	4,82	2,41	2,41		
J-74	P-93	925	4,75	2,38	2,38	5,07	2,53	2,53		
J-75	P-94	334	1,72	0,86	0,86	1,83	0,92	0,92		
J-76	P-96	522	2,68	1,34	1,34	2,86	1,43	1,43		
J-77	P-100	310	1,59	0,80	1,13	1,70	0,85	1,21		
	P-101	66	0,34	0,17		0,36	0,18			
	P-102	65	0,33	0,17		0,36	0,18			
J-78	P-101	66	0,34	0,17	0,17	0,36	0,18	0,18		
J-79	P-102	65	0,33	0,17	0,17	0,36	0,18	0,18		
J-80	P-57	276	1,42	0,71	0,71	1,51	0,76	0,76		

Annexe -II- Débits nodaux de 2^h à 4^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	2 ^h -3 ^h				3 ^h -4 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,004281	0,84	0,42	0,42	0,004453	0,87	0,44	0,44
J-2	P-77	497		2,13	1,06	2,16		2,21	1,11	2,24
	P-82	255		1,09	0,55			1,14	0,57	
J-3	P-1	377		1,61	0,81	2,79		1,68	0,84	2,90
	P-2	427		1,83	0,91			1,90	0,95	
	P-77	497		2,13	1,06			2,21	1,11	
J-4	P-1	377		1,61	0,81	0,81		1,68	0,84	0,84

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 2^h à 4^h (suite):

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	2 ^h —3 ^h				3 ^h —4 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-5	P-2	427	0,004281	1,83	0,91	2,35	0,004453	1,90	0,95	2,44
	P-3	227		0,97	0,49			1,01	0,51	
	P-80	222		0,95	0,48			0,99	0,49	
J-6	P-3	227		0,97	0,49	1,29		1,01	0,51	1,34
	P-4	67		0,29	0,14			0,30	0,15	
	P-100	310		1,33	0,66			1,38	0,69	
J-7	P-4	67		0,29	0,14	0,52		0,30	0,15	0,54
	P-5	120		0,51	0,26			0,53	0,27	
	P-6	57		0,24	0,12			0,25	0,13	
J-8	P-5	120		0,51	0,26	0,26		0,53	0,27	0,27
J-9	P-6	57		0,24	0,12	0,58		0,25	0,13	0,60
	P-7	139		0,60	0,30			0,62	0,31	
	P-8	73		0,31	0,16			0,33	0,16	
J-10	P-7	139		0,60	0,30	0,30		0,62	0,31	0,31
J-11	P-8	73		0,31	0,16	0,58		0,33	0,16	0,60
	P-9	196		0,84	0,42			0,87	0,44	
J-13	P-11	258		1,10	0,55	0,55		1,15	0,57	0,57
	P-10	2426		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-14	1100		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-14	P-11	258		1,10	0,55	2,94		1,15	0,57	3,06
	P-12	205		0,88	0,44			0,91	0,46	
	P-13	912		3,90	1,95			4,06	2,03	
J-15	P-12	205	0,88	0,44	2,54	0,91	0,46	2,64		
	P-16	55	0,24	0,12		0,24	0,12			
	P-93	925	3,96	1,98		4,12	2,06			
J-16	P-13	912	3,90	1,95	1,95	4,06	2,03	2,03		
J-17	P-14	1100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-15	14	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-62	432	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-18	P-64	63	0,27	0,13	0,44	0,28	0,14	0,46		
	P-66	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-68	143	0,61	0,31		0,64	0,32			
J-19	P-16	55	0,24	0,12	1,04	0,24	0,12	1,08		
	P-84	250	1,07	0,54		1,11	0,56			
	P-85	180	0,77	0,39		0,80	0,40			
J-20	P-17	131	0,56	0,28	1,45	0,58	0,29	1,51		
	P-18	157	0,67	0,34		0,70	0,35			
	P-83	209	0,89	0,45		0,93	0,47			
	P-85	180	0,77	0,39		0,80	0,40			
J-21	P-20	125	0,54	0,27	1,25	0,56	0,28	1,30		
	P-84	250	1,07	0,54		1,11	0,56			
	P-83	209	0,89	0,45		0,93	0,47			
J-22	P-18	157	0,67	0,34	1,32	0,70	0,35	1,37		
	P-87	198	0,85	0,42		0,88	0,44			
	P-98	261	1,12	0,56		1,16	0,58			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 2^h à 4^h (suite):

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	2 ^h —3 ^h				3 ^h —4 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-23	P-59	323	0,004281	1,38	0,69	1,52	0,004453	1,44	0,72	1,58
	P-87	198		0,85	0,42			0,88	0,44	
	P-99	189		0,81	0,40			0,84	0,42	
J-24	P-17	131		0,56	0,28	1,23		0,58	0,29	1,28
	P-19	229		0,98	0,49			1,02	0,51	
	P-24	215		0,92	0,46			0,96	0,48	
J-25	P-19	229		0,98	0,49	0,95		1,02	0,51	0,99
	P-21	104		0,45	0,22			0,46	0,23	
	P-25	111		0,48	0,24			0,49	0,25	
J-26	P-20	125		0,54	0,27	0,75		0,56	0,28	0,78
	P-25	111		0,48	0,24			0,49	0,25	
	P-78	116		0,50	0,25			0,52	0,26	
J-27	P-21	104		0,45	0,22	1,50		0,46	0,23	1,56
	P-22	68		0,29	0,15			0,30	0,15	
	P-23	195		0,83	0,42			0,87	0,43	
	P-94	334		1,43	0,72			1,49	0,74	
J-28	P-22	68		0,29	0,15	0,39		0,30	0,15	0,41
	P-78	116		0,50	0,25			0,52	0,26	
J-29	P-23	195		0,83	0,42	0,42		0,87	0,43	0,43
J-30	P-58	84		0,36	0,18	1,27		0,37	0,19	1,32
	P-86	318		1,36	0,68			1,42	0,71	
	P-99	189		0,81	0,40			0,84	0,42	
J-31	P-86	318		1,36	0,68	1,72		1,42	0,71	1,79
	P-97	224		0,96	0,48			1,00	0,50	
	P-98	261		1,12	0,56			1,16	0,58	
J-32	P-24	215		0,92	0,46	2,29		0,96	0,48	2,39
	P-27	430		1,84	0,92			1,91	0,96	
	P-26	203		0,87	0,43			0,90	0,45	
	P-97	224		0,96	0,48			1,00	0,50	
J-33	P-26	203		0,87	0,43	0,43		0,90	0,45	0,45
J-34	P-27	430	1,84	0,92	0,92	1,91	0,96	0,96		
J-35	P-28	219	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-76	56	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-36	P-28	219	0,00	0,00	3,17	0,00	0,00	3,30		
	P-29	750	3,21	1,61		3,34	1,67			
	P-60	730	3,13	1,56		3,25	1,63			
J-37	P-29	750	3,21	1,61	3,40	3,34	1,67	3,54		
	P-31	217	0,93	0,46		0,97	0,48			
	P-92	621	2,66	1,33		2,77	1,38			
J-38	P-30	263	1,13	0,56	3,29	1,17	0,59	3,43		
	P-36	252	1,08	0,54		1,12	0,56			
	P-37	403	1,73	0,86		1,79	0,90			
	P-92	621	2,66	1,33		2,77	1,38			
J-39	P-30	263	1,13	0,56	3,12	1,17	0,59	3,24		
	P-39	400	1,71	0,86		1,78	0,89			
	P-54	271	1,16	0,58		1,21	0,60			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 2^h à 4^h (suite):

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	2 ^h —3 ^h				3 ^h —4 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-40	P-31	217	0,004281	0,93	0,46	3,93	0,004453	0,97	0,48	4,09
	P-32	860		3,68	1,84			3,83	1,91	
	P-33	528		2,26	1,13			2,35	1,18	
	P-65	230		0,98	0,49			1,02	0,51	
J-41	P-32	860		3,68	1,84	1,84		3,83	1,91	1,91
J-42	P-33	528		2,26	1,13	3,21		2,35	1,18	3,34
	P-34	336		1,44	0,72			1,50	0,75	
	P-36	252		1,08	0,54			1,12	0,56	
	P-69	383		1,64	0,82			1,71	0,85	
J-43	P-38	205		0,88	0,44	1,81		0,91	0,46	1,88
	P-61	257		1,10	0,55			1,14	0,57	
	P-69	383		1,64	0,82			1,71	0,85	
J-44	P-34	336		1,44	0,72	2,71		1,50	0,75	2,82
	P-41	498		2,13	1,07			2,22	1,11	
	P-90	432		1,85	0,92			1,92	0,96	
J-45	P-90	432		1,85	0,92	2,25		1,92	0,96	2,34
	P-44	498		2,13	1,07			2,22	1,11	
	P-35	120		0,51	0,26			0,53	0,27	
J-46	P-35	120		0,51	0,26	1,46		0,53	0,27	1,52
	P-50	287		1,23	0,61			1,28	0,64	
	P-95	274	1,17	0,59	1,22		0,61			
J-47	P-40	271	1,16	0,58	2,47	1,21	0,60	2,57		
	P-37	403	1,73	0,86		1,79	0,90			
	P-91	480	2,06	1,03		2,14	1,07			
J-48	P-38	205	0,88	0,44	2,01	0,91	0,46	2,09		
	P-53	252	1,08	0,54		1,12	0,56			
	P-91	480	2,06	1,03		2,14	1,07			
J-49	P-39	400	1,71	0,86	2,13	1,78	0,89	2,22		
	P-40	271	1,16	0,58		1,21	0,60			
	P-56	324	1,39	0,69		1,44	0,72			
J-50	P-41	498	2,13	1,07	2,56	2,22	1,11	2,66		
	P-42	145	0,62	0,31		0,65	0,32			
	P-59	323	1,38	0,69		1,44	0,72			
	P-65	230	0,98	0,49		1,02	0,51			
J-51	P-42	145	0,62	0,31	1,10	0,65	0,32	1,14		
	P-43	67	0,29	0,14		0,30	0,15			
	P-89	302	1,29	0,65		1,34	0,67			
J-52	P-43	67	0,29	0,14	1,44	0,30	0,15	1,50		
	P-44	498	2,13	1,07		2,22	1,11			
	P-45	108	0,46	0,23		0,48	0,24			
J-53	P-45	108	0,46	0,23	2,36	0,48	0,24	2,46		
	P-73	700	3,00	1,50		3,12	1,56			
	P-88	296	1,27	0,63		1,32	0,66			
J-54	P-46	491	2,10	1,05	3,14	2,19	1,09	3,26		
	P-73	700	3,00	1,50		3,12	1,56			
	P-95	274	1,17	0,59		1,22	0,61			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 2^h à 4^h (suite):

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	2 ^h —3 ^h				3 ^h —4 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-55	P-46	491	0,004281	2,10	1,05	1,77	0,004453	2,19	1,09	1,84
	P-47	81		0,35	0,17			0,36	0,18	
	P-51	255		1,09	0,55			1,14	0,57	
J-56	P-47	81		0,35	0,17	1,01		0,36	0,18	1,05
	P-48	81		0,35	0,17			0,36	0,18	
	P-52	311		1,33	0,67			1,38	0,69	
J-57	P-48	81		0,35	0,17	1,08		0,36	0,18	1,12
	P-49	171		0,73	0,37			0,76	0,38	
	P-53	252		1,08	0,54			1,12	0,56	
J-58	P-49	171		0,73	0,37	1,53		0,76	0,38	1,59
	P-50	287		1,23	0,61			1,28	0,64	
	P-61	257		1,10	0,55			1,14	0,57	
J-59	P-51	255		1,09	0,55	1,21		1,14	0,57	1,26
	P-52	311		1,33	0,67			1,38	0,69	
J-60	P-54	271		1,16	0,58	2,50		1,21	0,60	2,60
	P-55	165		0,71	0,35			0,73	0,37	
	P-60	730		3,13	1,56			3,25	1,63	
J-61	P-55	165		0,71	0,35	1,66		0,73	0,37	1,73
	P-70	302		1,29	0,65			1,34	0,67	
	P-71	215		0,92	0,46			0,96	0,48	
	P-72	95		0,41	0,20			0,42	0,21	
J-62	P-71	215		0,92	0,46	0,46		0,96	0,48	0,48
J-63	P-56	324		1,39	0,69	1,49		1,44	0,72	1,55
	P-57	276		1,18	0,59			1,23	0,61	
	P-72	95		0,41	0,20			0,42	0,21	
J-64	P-70	302		1,29	0,65	0,65		1,34	0,67	0,67
J-66	P-74	126		0,54	0,27	0,90		0,56	0,28	0,94
	P-88	296		1,27	0,63			1,32	0,66	
J-67	P-74	126		0,54	0,27	1,10		0,56	0,28	1,14
	P-58	84		0,36	0,18			0,37	0,19	
	P-89	302	1,29	0,65	1,34		0,67			
J-68	P-62	0	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,48		
	P-63	151	0,65	0,32		0,67	0,34			
	P-64	63	0,27	0,13		0,28	0,14			
J-69	P-63	151	0,65	0,32	0,32	0,67	0,34	0,34		
J-70	P-66	910	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00	3,54		
	P-67	709	3,04	1,52		3,16	1,58			
	P-79	880	3,77	1,88		3,92	1,96			
J-71	P-67	709	3,04	1,52	1,52	3,16	1,58	1,58		
J-72	P-68	143	0,61	0,31	0,31	0,64	0,32	0,32		
J-73	P-79	880	3,77	1,88	1,88	3,92	1,96	1,96		
J-74	P-93	925	3,96	1,98	1,98	4,12	2,06	2,06		
J-75	P-94	334	1,43	0,72	0,72	1,49	0,74	0,74		
J-76	P-96	522	2,23	1,12	1,12	2,32	1,16	1,16		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 2^h à 4^h (suite):

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	2 ^h -3 ^h				3 ^h -4 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-77	P-100	310	0,004281	1,33	0,66	0,94	0,004453	1,38	0,69	0,98
	P-101	66		0,28	0,14			0,29	0,15	
	P-102	65		0,28	0,14			0,29	0,14	
J-78	P-101	66		0,28	0,14	0,14		0,29	0,15	0,15
J-79	P-102	65		0,28	0,14	0,14		0,29	0,14	0,14
J-80	P-57	276		1,18	0,59	0,59		1,23	0,61	0,61

Annexe -II- Débits nodaux de 4^h à 6^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	4 ^h -5 ^h				5 ^h -6 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,005994	1,17	0,59	0,59	0,007022	1,38	0,69	0,69
J-2	P-77	497		2,98	1,49	3,02		3,49	1,74	3,54
	P-82	255		1,53	0,76			1,79	0,90	
J-3	P-1	377		2,26	1,13	3,90		2,65	1,32	4,57
	P-2	427		2,56	1,28			3,00	1,50	
	P-77	497		2,98	1,49			3,49	1,74	
J-4	P-1	377		2,26	1,13	1,13		2,65	1,32	1,32
J-5	P-2	427		2,56	1,28	3,29		3,00	1,50	3,85
	P-3	227		1,36	0,68			1,59	0,80	
	P-80	222		1,33	0,67			1,56	0,78	
J-6	P-3	227		1,36	0,68	1,81		1,59	0,80	2,12
	P-4	67		0,40	0,20			0,47	0,24	
	P-100	310		1,86	0,93			2,18	1,09	
J-7	P-4	67		0,40	0,20	0,73		0,47	0,24	0,86
	P-5	120		0,72	0,36			0,84	0,42	
	P-6	57		0,34	0,17			0,40	0,20	
J-8	P-5	120		0,72	0,36	0,36		0,84	0,42	0,42
J-9	P-6	57		0,34	0,17	0,81		0,40	0,20	0,94
	P-7	139		0,83	0,42			0,98	0,49	
	P-8	73		0,44	0,22			0,51	0,26	
J-10	P-7	139	0,83	0,42	0,42	0,98	0,49	0,49		
J-11	P-8	73	0,44	0,22	0,81	0,51	0,26	0,94		
	P-9	196	1,17	0,59		1,38	0,69			
J-13	P-11	258	1,55	0,77	0,77	1,81	0,91	0,91		
	P-10	2426	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-14	1100	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-14	P-11	258	1,55	0,77	4,12	1,81	0,91	4,83		
	P-12	205	1,23	0,61		1,44	0,72			
	P-13	912	5,47	2,73		6,40	3,20			
J-15	P-12	205	1,23	0,61	3,55	1,44	0,72	4,16		
	P-16	55	0,33	0,16		0,39	0,19			
	P-93	925	5,54	2,77		6,49	3,25			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 4^h à 6^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	4 ^h —5 ^h				5 ^h —6 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-16	P-13	912	0,005994	5,47	2,73	2,73	0,007022	6,40	3,20	3,20
J-17	P-14	1100		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-15	14		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-62	432		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-18	P-64	63		0,38	0,19	0,62		0,44	0,22	0,72
	P-66	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-68	143		0,86	0,43			1,00	0,50	
J-19	P-16	55		0,33	0,16	1,45		0,39	0,19	1,70
	P-84	250		1,50	0,75			1,76	0,88	
	P-85	180		1,08	0,54			1,26	0,63	
J-20	P-17	131		0,79	0,39	2,03		0,92	0,46	2,38
	P-18	157		0,94	0,47			1,10	0,55	
	P-83	209		1,25	0,63			1,47	0,73	
	P-85	180		1,08	0,54			1,26	0,63	
J-21	P-20	125		0,75	0,37	1,75		0,88	0,44	2,05
	P-84	250		1,50	0,75			1,76	0,88	
	P-83	209		1,25	0,63			1,47	0,73	
J-22	P-18	157		0,94	0,47	1,85		1,10	0,55	2,16
	P-87	198		1,19	0,59			1,39	0,70	
	P-98	261		1,56	0,78			1,83	0,92	
J-23	P-59	323		1,94	0,97	2,13		2,27	1,13	2,49
	P-87	198		1,19	0,59			1,39	0,70	
	P-99	189		1,13	0,57			1,33	0,66	
J-24	P-17	131		0,79	0,39	1,72		0,92	0,46	2,02
	P-19	229		1,37	0,69			1,61	0,80	
	P-24	215		1,29	0,64			1,51	0,75	
J-25	P-19	229		1,37	0,69	1,33		1,61	0,80	1,56
	P-21	104		0,62	0,31			0,73	0,37	
	P-25	111		0,67	0,33			0,78	0,39	
J-26	P-20	125		0,75	0,37	1,05		0,88	0,44	1,24
	P-25	111		0,67	0,33			0,78	0,39	
	P-78	116	0,70	0,35	0,81		0,41			
J-27	P-21	104	0,62	0,31	2,10	0,73	0,37	2,46		
	P-22	68	0,41	0,20		0,48	0,24			
	P-23	195	1,17	0,58		1,37	0,68			
	P-94	334	2,00	1,00		2,35	1,17			
J-28	P-22	68	0,41	0,20	0,55	0,48	0,24	0,65		
	P-78	116	0,70	0,35		0,81	0,41			
J-29	P-23	195	1,17	0,58	0,58	1,37	0,68	0,68		
J-30	P-58	84	0,50	0,25	1,77	0,59	0,29	2,07		
	P-86	318	1,91	0,95		2,23	1,12			
	P-99	189	1,13	0,57		1,33	0,66			
J-31	P-86	318	1,91	0,95	2,41	2,23	1,12	2,82		
	P-97	224	1,34	0,67		1,57	0,79			
	P-98	261	1,56	0,78		1,83	0,92			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 4^h à 6^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	4 ^h —5 ^h				5 ^h —6 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-32	P-24	215	0,005994	1,29	0,64	3,21	0,007022	1,51	0,75	3,76
	P-27	430		2,58	1,29			3,02	1,51	
	P-26	203		1,22	0,61			1,43	0,71	
	P-97	224		1,34	0,67			1,57	0,79	
J-33	P-26	203	1,22	0,61	0,61	1,43	0,71	0,71		
J-34	P-27	430	2,58	1,29	1,29	3,02	1,51	1,51		
J-35	P-28	219	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-76	56	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-36	P-28	219	0,00	0,00	4,44	0,00	0,00	5,20		
	P-29	750	4,50	2,25		5,27	2,63			
	P-60	730	4,38	2,19		5,13	2,56			
J-37	P-29	750	4,50	2,25	4,76	5,27	2,63	5,58		
	P-31	217	1,30	0,65		1,52	0,76			
	P-92	621	3,72	1,86		4,36	2,18			
J-38	P-30	263	1,58	0,79	4,61	1,85	0,92	5,40		
	P-36	252	1,51	0,76		1,77	0,88			
	P-37	403	2,42	1,21		2,83	1,41			
	P-92	621	3,72	1,86		4,36	2,18			
J-39	P-30	263	1,58	0,79	4,36	1,85	0,92	5,11		
	P-39	400	2,40	1,20		2,81	1,40			
	P-54	271	1,62	0,81		1,90	0,95			
	P-96	522	3,13	1,56		3,67	1,83			
J-40	P-31	217	1,30	0,65	5,50	1,52	0,76	6,44		
	P-32	860	5,15	2,58		6,04	3,02			
	P-33	528	3,16	1,58		3,71	1,85			
	P-65	230	1,38	0,69		1,61	0,81			
J-41	P-32	860	5,15	2,58	2,58	6,04	3,02	3,02		
J-42	P-33	528	3,16	1,58	4,49	3,71	1,85	5,26		
	P-34	336	2,01	1,01		2,36	1,18			
	P-36	252	1,51	0,76		1,77	0,88			
	P-69	383	2,30	1,15		2,69	1,34			
J-43	P-38	205	1,23	0,61	2,53	1,44	0,72	2,97		
	P-61	257	1,54	0,77		1,80	0,90			
	P-69	383	2,30	1,15		2,69	1,34			
J-44	P-34	336	2,01	1,01	3,79	2,36	1,18	4,44		
	P-41	498	2,99	1,49		3,50	1,75			
	P-90	432	2,59	1,29		3,03	1,52			
J-45	P-90	432	2,59	1,29	3,15	3,03	1,52	3,69		
	P-44	498	2,99	1,49		3,50	1,75			
	P-35	120	0,72	0,36		0,84	0,42			
J-46	P-35	120	0,72	0,36	2,04	0,84	0,42	2,39		
	P-50	287	1,72	0,86		2,02	1,01			
	P-95	274	1,64	0,82		1,92	0,96			
J-47	P-40	271	1,62	0,81	3,46	1,90	0,95	4,05		
	P-37	403	2,42	1,21		2,83	1,41			
	P-91	480	2,88	1,44		3,37	1,69			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 4^h à 6^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	4 ^h —5 ^h				5 ^h —6 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-48	P-38	205	0,005994	1,23	0,61	2,81	0,007022	1,44	0,72	3,29
	P-53	252		1,51	0,76			1,77	0,88	
	P-91	480		2,88	1,44			3,37	1,69	
J-49	P-39	400		2,40	1,20	2,98		2,81	1,40	3,49
	P-40	271		1,62	0,81			1,90	0,95	
	P-56	324		1,94	0,97			2,27	1,14	
J-50	P-41	498		2,99	1,49	3,58		3,50	1,75	4,20
	P-42	145		0,87	0,43			1,02	0,51	
	P-59	323		1,94	0,97			2,27	1,13	
	P-65	230		1,38	0,69			1,61	0,81	
J-51	P-42	145		0,87	0,43	1,54		1,02	0,51	1,80
	P-43	67		0,40	0,20			0,47	0,24	
	P-89	302		1,81	0,91			2,12	1,06	
J-52	P-43	67		0,40	0,20	2,02		0,47	0,24	2,36
	P-44	498		2,99	1,49			3,50	1,75	
	P-45	108		0,65	0,32			0,76	0,38	
J-53	P-45	108		0,65	0,32	3,31		0,76	0,38	3,88
	P-73	700		4,20	2,10			4,92	2,46	
	P-88	296		1,77	0,89			2,08	1,04	
J-54	P-46	491		2,94	1,47	4,39		3,45	1,72	5,14
	P-73	700		4,20	2,10			4,92	2,46	
	P-95	274		1,64	0,82			1,92	0,96	
J-55	P-46	491		2,94	1,47	2,48		3,45	1,72	2,90
	P-47	81		0,49	0,24			0,57	0,28	
	P-51	255		1,53	0,76			1,79	0,90	
J-56	P-47	81		0,49	0,24	1,42		0,57	0,28	1,66
	P-48	81		0,49	0,24			0,57	0,28	
	P-52	311		1,86	0,93			2,18	1,09	
J-57	P-48	81		0,49	0,24	1,51		0,57	0,28	1,77
	P-49	171		1,02	0,51			1,20	0,60	
	P-53	252	1,51	0,76	1,77		0,88			
J-58	P-49	171	1,02	0,51	2,14	1,20	0,60	2,51		
	P-50	287	1,72	0,86		2,02	1,01			
	P-61	257	1,54	0,77		1,80	0,90			
J-59	P-51	255	1,53	0,76	1,70	1,79	0,90	1,99		
	P-52	311	1,86	0,93		2,18	1,09			
J-60	P-54	271	1,62	0,81	3,49	1,90	0,95	4,09		
	P-55	165	0,99	0,49		1,16	0,58			
	P-60	730	4,38	2,19		5,13	2,56			
J-61	P-55	165	0,99	0,49	2,33	1,16	0,58	2,73		
	P-70	302	1,81	0,91		2,12	1,06			
	P-71	215	1,29	0,64		1,51	0,75			
	P-72	95	0,57	0,28		0,67	0,33			
J-62	P-71	215	1,29	0,64	0,64	1,51	0,75	0,75		
J-63	P-56	324	1,94	0,97	2,08	2,27	1,14	2,44		
	P-57	276	1,65	0,83		1,94	0,97			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 4^h à 6^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	4 ^h —5 ^h				5 ^h —6 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-64	P-70	302	0,005994	1,81	0,91	0,91	0,007022	2,12	1,06	1,06
J-66	P-74	126		0,76	0,38	1,26		0,88	0,44	1,48
	P-88	296		1,77	0,89			2,08	1,04	
J-67	P-74	126		0,76	0,38	1,53		0,88	0,44	1,80
	P-58	84		0,50	0,25			0,59	0,29	
	P-89	302		1,81	0,91			2,12	1,06	
J-68	P-62	0		0,00	0,00	0,64		0,00	0,00	0,75
	P-63	151		0,91	0,45			1,06	0,53	
	P-64	63		0,38	0,19			0,44	0,22	
J-69	P-63	151		0,91	0,45	0,45		1,06	0,53	0,53
J-70	P-66	910		0,00	0,00	4,76		0,00	0,00	5,58
	P-67	709		4,25	2,12			4,98	2,49	
	P-79	880		5,27	2,64			6,18	3,09	
J-71	P-67	709		4,25	2,12	2,12		4,98	2,49	2,49
J-72	P-68	143		0,86	0,43	0,43		1,00	0,50	0,50
J-73	P-79	880		5,27	2,64	2,64		6,18	3,09	3,09
J-74	P-93	925		5,54	2,77	2,77		6,49	3,25	3,25
J-75	P-94	334		2,00	1,00	1,00		2,35	1,17	1,17
J-76	P-96	522		3,13	1,56	1,56		3,67	1,83	1,83
J-77	P-100	310		1,86	0,93	1,32		2,18	1,09	1,55
	P-101	66	0,40	0,20	0,46		0,23			
	P-102	65	0,39	0,19	0,46		0,23			
J-78	P-101	66	0,40	0,20	0,20	0,46	0,23	0,23		
J-79	P-102	65	0,39	0,19	0,19	0,46	0,23	0,23		
J-80	P-57	276	1,65	0,83	0,83	1,94	0,97	0,97		

Annexe -II- Débits nodaux de 6^h à 8^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	6 ^h —7 ^h				7 ^h —8 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,007707	1,51	0,76	0,76	0,008392	1,64	0,82	0,82
J-2	P-77	497		3,83	1,92	3,88		4,17	2,09	4,23
	P-82	255		1,97	0,98			2,14	1,07	
J-3	P-1	377		2,91	1,45	5,01		3,16	1,58	5,46
	P-2	427		3,29	1,65			3,58	1,79	
	P-77	497		3,83	1,92			4,17	2,09	
J-4	P-1	377		2,91	1,45	1,45		3,16	1,58	1,58
J-5	P-2	427		3,29	1,65	4,23		3,58	1,79	4,61
	P-3	227		1,75	0,87			1,90	0,95	
	P-80	222		1,71	0,86			1,86	0,93	
J-6	P-3	227		1,75	0,87	2,33		1,90	0,95	2,53
	P-4	67		0,52	0,26			0,56	0,28	
	P-100	310	2,39	1,19	2,60		1,30			

Annexe -II- Débits nodaux de 6^h à 8^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	6 ^h —7 ^h				7 ^h —8 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-7	P-4	67	0,007707	0,52	0,26	0,94	0,008392	0,56	0,28	1,02
	P-5	120		0,92	0,46			1,01	0,50	
	P-6	57		0,44	0,22			0,48	0,24	
J-8	P-5	120		0,92	0,46	0,46		1,01	0,50	0,50
J-9	P-6	57		0,44	0,22	1,04		0,48	0,24	1,13
	P-7	139		1,07	0,54			1,17	0,58	
	P-8	73		0,56	0,28			0,61	0,31	
J-10	P-7	139		1,07	0,54	0,54		1,17	0,58	0,58
J-11	P-8	73		0,56	0,28	1,04		0,61	0,31	1,13
	P-9	196		1,51	0,76			1,64	0,82	
J-13	P-11	258		1,99	0,99	0,99		2,17	1,08	1,08
	P-10	2426		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-14	1100		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-14	P-11	258		1,99	0,99	5,30		2,17	1,08	5,77
	P-12	205		1,58	0,79			1,72	0,86	
	P-13	912		7,03	3,51			7,65	3,83	
J-15	P-12	205		1,58	0,79	4,57		1,72	0,86	4,97
	P-16	55		0,42	0,21			0,46	0,23	
	P-93	925		7,13	3,56			7,76	3,88	
J-16	P-13	912		7,03	3,51	3,51		7,65	3,83	3,83
J-17	P-14	1100		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-15	14		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-62	432		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-18	P-64	63		0,49	0,24	0,79		0,53	0,26	0,86
	P-66	0	0,00	0,00	0,00		0,00			
	P-68	143	1,10	0,55	1,20		0,60			
J-19	P-16	55	0,42	0,21	1,87	0,46	0,23	2,03		
	P-84	250	1,93	0,96		2,10	1,05			
	P-85	180	1,39	0,69		1,51	0,76			
J-20	P-17	131	1,01	0,50	2,61	1,10	0,55	2,84		
	P-18	157	1,21	0,60		1,32	0,66			
	P-83	209	1,61	0,81		1,75	0,88			
	P-85	180	1,39	0,69		1,51	0,76			
J-21	P-20	125	0,96	0,48	2,25	1,05	0,52	2,45		
	P-84	250	1,93	0,96		2,10	1,05			
	P-83	209	1,61	0,81		1,75	0,88			
J-22	P-18	157	1,21	0,60	2,37	1,32	0,66	2,58		
	P-87	198	1,53	0,76		1,66	0,83			
	P-98	261	2,01	1,01		2,19	1,10			
J-23	P-59	323	2,49	1,24	2,74	2,71	1,36	2,98		
	P-87	198	1,53	0,76		1,66	0,83			
	P-99	189	1,46	0,73		1,59	0,79			
J-24	P-17	131	1,01	0,50	2,22	1,10	0,55	2,41		
	P-19	229	1,76	0,88		1,92	0,96			
	P-24	215	1,66	0,83		1,80	0,90			
J-25	P-19	229	1,76	0,88	1,71	1,92	0,96	1,86		
	P-21	104	0,80	0,40		0,87	0,44			
	P-25	111	0,86	0,43		0,93	0,47			
J-26	P-20	125	0,96	0,48	1,36	1,05	0,52	1,48		
	P-25	111	0,86	0,43		0,93	0,47			
	P-78	116	0,89	0,45		0,97	0,49			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 6^h à 8^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	6 ^h —7 ^h				7 ^h —8 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-27	P-21	104	0,007707	0,80	0,40	2,70	0,008392	0,87	0,44	2,94
	P-22	68		0,52	0,26			0,57	0,29	
	P-23	195		1,50	0,75			1,64	0,82	
	P-94	334		2,57	1,29			2,80	1,40	
J-28	P-22	68		0,52	0,26	0,71		0,57	0,29	0,77
	P-78	116		0,89	0,45			0,97	0,49	
J-29	P-23	195		1,50	0,75	0,75		1,64	0,82	0,82
J-30	P-58	84		0,65	0,32	2,28		0,70	0,35	2,48
	P-86	318		2,45	1,23			2,67	1,33	
	P-99	189		1,46	0,73			1,59	0,79	
J-31	P-86	318		2,45	1,23	3,09		2,67	1,33	3,37
	P-97	224		1,73	0,86			1,88	0,94	
	P-98	261		2,01	1,01			2,19	1,10	
J-32	P-24	215		1,66	0,83	4,13		1,80	0,90	4,50
	P-27	430		3,31	1,66			3,61	1,80	
	P-26	203		1,56	0,78			1,70	0,85	
	P-97	224		1,73	0,86			1,88	0,94	
J-33	P-26	203		1,56	0,78	0,78		1,70	0,85	0,85
J-34	P-27	430		3,31	1,66	1,66		3,61	1,80	1,80
J-35	P-28	219		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-76	56		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-36	P-28	219		0,00	0,00	5,70		0,00	0,00	6,21
	P-29	750		5,78	2,89			6,29	3,15	
	P-60	730		5,63	2,81			6,13	3,06	
J-37	P-29	750		5,78	2,89	6,12		6,29	3,15	6,66
	P-31	217		1,67	0,84			1,82	0,91	
	P-92	621		4,79	2,39			5,21	2,61	
J-38	P-30	263		2,03	1,01	5,93		2,21	1,10	6,46
	P-36	252		1,94	0,97			2,11	1,06	
	P-37	403		3,11	1,55			3,38	1,69	
	P-92	621		4,79	2,39			5,21	2,61	
J-39	P-30	263		2,03	1,01	5,61		2,21	1,10	6,11
	P-39	400		3,08	1,54			3,36	1,68	
	P-54	271		2,09	1,04			2,27	1,14	
	P-96	522		4,02	2,01			4,38	2,19	
J-40	P-31	217		1,67	0,84	7,07		1,82	0,91	7,70
	P-32	860		6,63	3,31			7,22	3,61	
	P-33	528		4,07	2,03			4,43	2,22	
	P-65	230		1,77	0,89			1,93	0,97	
J-41	P-32	860		6,63	3,31	3,31		7,22	3,61	3,61
J-42	P-33	528		4,07	2,03	5,78		4,43	2,22	6,29
	P-34	336		2,59	1,29			2,82	1,41	
	P-36	252		1,94	0,97			2,11	1,06	
	P-69	383		2,95	1,48			3,21	1,61	
J-43	P-38	205		1,58	0,79	3,26		1,72	0,86	3,55
	P-61	257		1,98	0,99			2,16	1,08	
	P-69	383		2,95	1,48			3,21	1,61	
J-44	P-34	336		2,59	1,29	4,88		2,82	1,41	5,31
	P-41	498	3,84	1,92	4,18		2,09			
	P-90	432	3,33	1,66	3,63		1,81			
J-45	P-90	432	3,33	1,66	4,05	3,63	1,81	4,41		
	P-44	498	3,84	1,92		4,18	2,09			
	P-35	120	0,92	0,46		1,01	0,50			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 6^h à 8^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	6 ^h —7 ^h				7 ^h —8 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-46	P-35	120	0,007707	0,92	0,46	2,62	0,008392	1,01	0,50	2,86
	P-50	287		2,21	1,11			2,41	1,20	
	P-95	274		2,11	1,06			2,30	1,15	
J-47	P-40	271		2,09	1,04	4,45		2,27	1,14	4,84
	P-37	403		3,11	1,55			3,38	1,69	
	P-91	480		3,70	1,85			4,03	2,01	
J-48	P-38	205		1,58	0,79	3,61		1,72	0,86	3,93
	P-53	252		1,94	0,97			2,11	1,06	
	P-91	480		3,70	1,85			4,03	2,01	
J-49	P-39	400		3,08	1,54	3,83		3,36	1,68	4,17
	P-40	271		2,09	1,04			2,27	1,14	
	P-56	324		2,50	1,25			2,72	1,36	
J-50	P-41	498		3,84	1,92	4,61		4,18	2,09	5,02
	P-42	145		1,12	0,56			1,22	0,61	
	P-59	323		2,49	1,24			2,71	1,36	
	P-65	230		1,77	0,89			1,93	0,97	
J-51	P-42	145		1,12	0,56	1,98		1,22	0,61	2,16
	P-43	67		0,52	0,26			0,56	0,28	
	P-89	302		2,33	1,16			2,53	1,27	
J-52	P-43	67		0,52	0,26	2,59		0,56	0,28	2,82
	P-44	498		3,84	1,92			4,18	2,09	
	P-45	108		0,83	0,42			0,91	0,45	
J-53	P-45	108		0,83	0,42	4,25		0,91	0,45	4,63
	P-73	700		5,39	2,70			5,87	2,94	
	P-88	296		2,28	1,14			2,48	1,24	
J-54	P-46	491		3,78	1,89	5,65		4,12	2,06	6,15
	P-73	700		5,39	2,70			5,87	2,94	
	P-95	274		2,11	1,06			2,30	1,15	
J-55	P-46	491		3,78	1,89	3,19		4,12	2,06	3,47
	P-47	81		0,62	0,31			0,68	0,34	
	P-51	255	1,97	0,98	2,14		1,07			
J-56	P-47	81	0,62	0,31	1,82	0,68	0,34	1,98		
	P-48	81	0,62	0,31		0,68	0,34			
	P-52	311	2,40	1,20		2,61	1,30			
J-57	P-48	81	0,62	0,31	1,94	0,68	0,34	2,11		
	P-49	171	1,32	0,66		1,43	0,72			
	P-53	252	1,94	0,97		2,11	1,06			
J-58	P-49	171	1,32	0,66	2,76	1,43	0,72	3,00		
	P-50	287	2,21	1,11		2,41	1,20			
	P-61	257	1,98	0,99		2,16	1,08			
J-59	P-51	255	1,97	0,98	2,18	2,14	1,07	2,37		
	P-52	311	2,40	1,20		2,61	1,30			
J-60	P-54	271	2,09	1,04	4,49	2,27	1,14	4,89		
	P-55	165	1,27	0,64		1,38	0,69			
	P-60	730	5,63	2,81		6,13	3,06			
J-61	P-55	165	1,27	0,64	2,99	1,38	0,69	3,26		
	P-70	302	2,33	1,16		2,53	1,27			
	P-71	215	1,66	0,83		1,80	0,90			
	P-72	95	0,73	0,37		0,80	0,40			
J-62	P-71	215	1,66	0,83	0,83	1,80	0,90	0,90		
J-63	P-56	324	2,50	1,25	2,68	2,72	1,36	2,92		
	P-57	276	2,13	1,06		2,32	1,16			
	P-72	95	0,73	0,37		0,80	0,40			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 6^h à 8^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	6 ^h —7 ^h				7 ^h —8 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-64	P-70	302	0,007707	2,33	1,16	1,16	0,008392	2,53	1,27	1,27
J-66	P-74	126		0,97	0,49	1,63		1,06	0,53	1,77
	P-88	296		2,28	1,14			2,48	1,24	
J-67	P-74	126		0,97	0,49	1,97		1,06	0,53	2,15
	P-58	84		0,65	0,32			0,70	0,35	
	P-89	302		2,33	1,16			2,53	1,27	
J-68	P-62	0		0,00	0,00	0,82		0,00	0,00	0,90
	P-63	151		1,16	0,58			1,27	0,63	
	P-64	63		0,49	0,24			0,53	0,26	
J-69	P-63	151		1,16	0,58	0,58		1,27	0,63	0,63
J-70	P-66	910		0,00	0,00	6,12		0,00	0,00	6,67
	P-67	709		5,46	2,73			5,95	2,97	
	P-79	880		6,78	3,39			7,38	3,69	
J-71	P-67	709		5,46	2,73	2,73		5,95	2,97	2,97
J-72	P-68	143		1,10	0,55	0,55		1,20	0,60	0,60
J-73	P-79	880		6,78	3,39	3,39		7,38	3,69	3,69
J-74	P-93	925		7,13	3,56	3,56		7,76	3,88	3,88
J-75	P-94	334		2,57	1,29	1,29		2,80	1,40	1,40
J-76	P-96	522		4,02	2,01	2,01		4,38	2,19	2,19
J-77	P-100	310		2,39	1,19	1,70		2,60	1,30	1,85
	P-101	66	0,51	0,25	0,55		0,28			
	P-102	65	0,50	0,25	0,55		0,27			
J-78	P-101	66	0,51	0,25	0,25	0,55	0,28	0,28		
J-79	P-102	65	0,50	0,25	0,25	0,55	0,27	0,27		
J-80	P-57	276	2,13	1,06	1,06	2,32	1,16	1,16		

Annexe -II- Débits nodaux de 8^h à 10^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	8 ^h —9 ^h				9 ^h —10 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,008530	1,67	0,84	0,84	0,009729	1,91	0,95	0,95
J-2	P-77	497		4,24	2,12	4,29		4,84	2,42	4,90
	P-82	255		2,18	1,09			2,48	1,24	
J-3	P-1	377		3,22	1,61	5,55		3,67	1,83	6,33
	P-2	427		3,64	1,82			4,15	2,08	
	P-77	497		4,24	2,12			4,84	2,42	
J-4	P-1	377		3,22	1,61	1,61		3,67	1,83	1,83
J-5	P-2	427		3,64	1,82	4,68		4,15	2,08	5,34
	P-3	227		1,94	0,97			2,21	1,10	
	P-80	222		1,89	0,95			2,16	1,08	
J-6	P-3	227		1,94	0,97	2,58		2,21	1,10	2,94
	P-4	67		0,57	0,29			0,65	0,33	
	P-100	310	2,64	1,32	3,02		1,51			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 8^h à 10^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	8 ^h -9 ^h				9 ^h -10 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-7	P-4	67	0,008530	0,57	0,29	1,04	0,009729	0,65	0,33	1,19
	P-5	120		1,02	0,51			1,17	0,58	
	P-6	57		0,49	0,24			0,55	0,28	
J-8	P-5	120		1,02	0,51	0,51		1,17	0,58	0,58
J-9	P-6	57		0,49	0,24	1,15		0,55	0,28	1,31
	P-7	139		1,19	0,59			1,35	0,68	
	P-8	73		0,62	0,31			0,71	0,36	
J-10	P-7	139		1,19	0,59	0,59		1,35	0,68	0,68
J-11	P-8	73		0,62	0,31	1,15		0,71	0,36	1,31
	P-9	196		1,67	0,84			1,91	0,95	
J-13	P-11	258		2,20	1,10	1,10		2,51	1,26	1,26
	P-10	2426		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-14	1100		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-14	P-11	258		2,20	1,10	5,86		2,51	1,26	6,69
	P-12	205		1,75	0,87			1,99	1,00	
	P-13	912		7,78	3,89			8,87	4,44	
J-15	P-12	205		1,75	0,87	5,05		1,99	1,00	5,76
	P-16	55		0,47	0,23			0,54	0,27	
	P-93	925		7,89	3,95			9,00	4,50	
J-16	P-13	912		7,78	3,89	3,89		8,87	4,44	4,44
J-17	P-14	1100		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-15	14		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-62	432		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-18	P-64	63	0,54	0,27	0,88	0,61	0,31	1,00		
	P-66	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-68	143	1,22	0,61		1,39	0,70			
J-19	P-16	55	0,47	0,23	2,07	0,54	0,27	2,36		
	P-84	250	2,13	1,07		2,43	1,22			
	P-85	180	1,54	0,77		1,75	0,88			
J-20	P-17	131	1,12	0,56	2,89	1,27	0,64	3,29		
	P-18	157	1,34	0,67		1,53	0,76			
	P-83	209	1,78	0,89		2,03	1,02			
	P-85	180	1,54	0,77		1,75	0,88			
J-21	P-20	125	1,07	0,53	2,49	1,22	0,61	2,84		
	P-84	250	2,13	1,07		2,43	1,22			
	P-83	209	1,78	0,89		2,03	1,02			
J-22	P-18	157	1,34	0,67	2,63	1,53	0,76	3,00		
	P-87	198	1,69	0,84		1,93	0,96			
	P-98	261	2,23	1,11		2,54	1,27			
J-23	P-59	323	2,76	1,38	3,03	3,14	1,57	3,45		
	P-87	198	1,69	0,84		1,93	0,96			
	P-99	189	1,61	0,81		1,84	0,92			
J-24	P-17	131	1,12	0,56	2,45	1,27	0,64	2,80		
	P-19	229	1,95	0,98		2,23	1,11			
	P-24	215	1,83	0,92		2,09	1,05			
J-25	P-19	229	1,95	0,98	1,89	2,23	1,11	2,16		
	P-21	104	0,89	0,44		1,01	0,51			
	P-25	111	0,95	0,47		1,08	0,54			
	P-25	111	0,95	0,47		1,08	0,54			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 8^h à 10^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	8 ^h -9 ^h				9 ^h -10 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-26	P-20	125	0,008530	1,07	0,53	1,50	0,009729	1,22	0,61	1,71
	P-25	111		0,95	0,47			1,08	0,54	
	P-78	116		0,99	0,49			1,13	0,56	
J-27	P-21	104		0,89	0,44	2,99		1,01	0,51	3,41
	P-22	68		0,58	0,29			0,66	0,33	
	P-23	195		1,66	0,83			1,90	0,95	
	P-94	334		2,85	1,42			3,25	1,62	
J-28	P-22	68		0,58	0,29	0,78		0,66	0,33	0,90
	P-78	116		0,99	0,49			1,13	0,56	
J-29	P-23	195		1,66	0,83	0,83		1,90	0,95	0,95
J-30	P-58	84		0,72	0,36	2,52		0,82	0,41	2,87
	P-86	318		2,71	1,36			3,09	1,55	
	P-99	189		1,61	0,81			1,84	0,92	
J-31	P-86	318		2,71	1,36	3,42		3,09	1,55	3,91
	P-97	224		1,91	0,96			2,18	1,09	
	P-98	261		2,23	1,11			2,54	1,27	
J-32	P-24	215		1,83	0,92	4,57		2,09	1,05	5,21
	P-27	430		3,67	1,83			4,18	2,09	
	P-26	203		1,73	0,87			1,98	0,99	
	P-97	224		1,91	0,96			2,18	1,09	
J-33	P-26	203		1,73	0,87	0,87		1,98	0,99	0,99
J-34	P-27	430		3,67	1,83	1,83		4,18	2,09	2,09
J-35	P-28	219		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-76	56		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-36	P-28	219		0,00	0,00	6,31		0,00	0,00	7,20
	P-29	750	6,40	3,20	7,30		3,65			
	P-60	730	6,23	3,11	7,10		3,55			
J-37	P-29	750	6,40	3,20	6,77	7,30	3,65	7,72		
	P-31	217	1,85	0,93		2,11	1,06			
	P-92	621	5,30	2,65		6,04	3,02			
J-38	P-30	263	2,24	1,12	12,42	2,56	1,28	13,35		
	P-36	252	2,15	1,07		2,45	1,23			
	P-37	403	3,44	1,72		3,92	1,96			
	P-92	621	5,30	2,65		6,04	3,02			
J-39	P-30	263	2,24	1,12	6,21	2,56	1,28	7,08		
	P-39	400	3,41	1,71		3,89	1,95			
	P-54	271	2,31	1,16		2,64	1,32			
	P-96	522	4,45	2,23		5,08	2,54			
J-40	P-31	217	1,85	0,93	7,83	2,11	1,06	8,93		
	P-32	860	7,34	3,67		8,37	4,18			
	P-33	528	4,50	2,25		5,14	2,57			
	P-65	230	1,96	0,98		2,24	1,12			
J-41	P-32	860	7,34	3,67	3,67	8,37	4,18	4,18		
J-42	P-33	528	4,50	2,25	14,88	5,14	2,57	15,78		
	P-34	336	2,87	1,43		3,27	1,63			
	P-36	252	2,15	1,07		2,45	1,23			
	P-69	383	3,27	1,63		3,73	1,86			
J-43	P-38	205	1,75	0,87	3,60	1,99	1,00	4,11		
	P-61	257	2,19	1,10		2,50	1,25			
	P-69	383	3,27	1,63		3,73	1,86			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 8^h à 10^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	8 ^h --9 ^h				9 ^h --10 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-44	P-34	336	0,008530	2,87	1,43	14,75	0,009729	3,27	1,63	15,51
	P-41	498		4,25	2,12			4,85	2,42	
	P-90	432		3,69	1,84			4,20	2,10	
J-45	P-90	432		3,69	1,84	4,48		4,20	2,10	5,11
	P-44	498		4,25	2,12			4,85	2,42	
	P-35	120		1,02	0,51			1,17	0,58	
J-46	P-35	120		1,02	0,51	2,90		1,17	0,58	3,31
	P-50	287		2,45	1,22			2,79	1,40	
	P-95	274		2,34	1,17			2,67	1,33	
J-47	P-40	271		2,31	1,16	4,92		2,64	1,32	5,61
	P-37	403		3,44	1,72			3,92	1,96	
	P-91	480		4,09	2,05			4,67	2,33	
J-48	P-38	205		1,75	0,87	4,00		1,99	1,00	4,56
	P-53	252		2,15	1,07			2,45	1,23	
	P-91	480		4,09	2,05			4,67	2,33	
J-49	P-39	400		3,41	1,71	4,24		3,89	1,95	4,84
	P-40	271		2,31	1,16			2,64	1,32	
	P-56	324		2,76	1,38			3,15	1,58	
J-50	P-41	498		4,25	2,12	5,10		4,85	2,42	5,82
	P-42	145		1,24	0,62			1,41	0,71	
	P-59	323		2,76	1,38			3,14	1,57	
	P-65	230		1,96	0,98			2,24	1,12	
J-51	P-42	145		1,24	0,62	2,19		1,41	0,71	2,50
	P-43	67		0,57	0,29			0,65	0,33	
	P-89	302		2,58	1,29			2,94	1,47	
J-52	P-43	67		0,57	0,29	2,87		0,65	0,33	3,27
	P-44	498		4,25	2,12			4,85	2,42	
	P-45	108		0,92	0,46			1,05	0,53	
J-53	P-45	108		0,92	0,46	4,71		1,05	0,53	5,37
	P-73	700		5,97	2,99			6,81	3,41	
	P-88	296	2,52	1,26	2,88		1,44			
J-54	P-46	491	4,19	2,09	6,25	4,78	2,39	7,13		
	P-73	700	5,97	2,99		6,81	3,41			
	P-95	274	2,34	1,17		2,67	1,33			
J-55	P-46	491	4,19	2,09	3,53	4,78	2,39	4,02		
	P-47	81	0,69	0,35		0,79	0,39			
	P-51	255	2,18	1,09		2,48	1,24			
J-56	P-47	81	0,69	0,35	2,02	0,79	0,39	2,30		
	P-48	81	0,69	0,35		0,79	0,39			
	P-52	311	2,65	1,33		3,03	1,51			
J-57	P-48	81	0,69	0,35	2,15	0,79	0,39	2,45		
	P-49	171	1,46	0,73		1,66	0,83			
	P-53	252	2,15	1,07		2,45	1,23			
J-58	P-49	171	1,46	0,73	3,05	1,66	0,83	3,48		
	P-50	287	2,45	1,22		2,79	1,40			
	P-61	257	2,19	1,10		2,50	1,25			
J-59	P-51	255	2,18	1,09	2,41	2,48	1,24	2,75		
	P-52	311	2,65	1,33		3,03	1,51			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 8^h à 10^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	8 ^h --9 ^h				9 ^h --10 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-60	P-54	271	0,008530	2,31	1,16	4,97	0,009729	2,64	1,32	5,67
	P-55	165		1,41	0,70			1,61	0,80	
	P-60	730		6,23	3,11			7,10	3,55	
J-61	P-55	165		1,41	0,70	3,31		1,61	0,80	3,78
	P-70	302		2,58	1,29			2,94	1,47	
	P-71	215		1,83	0,92			2,09	1,05	
	P-72	95		0,81	0,41			0,92	0,46	
J-62	P-71	215		1,83	0,92	0,92		2,09	1,05	1,05
J-63	P-56	324		2,76	1,38	2,96		3,15	1,58	3,38
	P-57	276		2,35	1,18			2,69	1,34	
	P-72	95		0,81	0,41			0,92	0,46	
J-64	P-70	302		2,58	1,29	1,29		2,94	1,47	1,47
J-66	P-74	126		1,07	0,54	1,80		1,23	0,61	2,05
	P-88	296		2,52	1,26			2,88	1,44	
J-67	P-74	126		1,07	0,54	2,18		1,23	0,61	2,49
	P-58	84		0,72	0,36			0,82	0,41	
	P-89	302		2,58	1,29			2,94	1,47	
J-68	P-62	0		0,00	0,00	0,91		0,00	0,00	1,04
	P-63	151		1,29	0,64			1,47	0,73	
	P-64	63		0,54	0,27			0,61	0,31	
J-69	P-63	151		1,29	0,64	0,64		1,47	0,73	0,73
J-70	P-66	910		0,00	0,00	6,78		0,00	0,00	7,73
	P-67	709		6,05	3,02			6,90	3,45	
	P-79	880		7,51	3,75			8,56	4,28	
J-71	P-67	709		6,05	3,02	3,02		6,90	3,45	3,45
J-72	P-68	143		1,22	0,61	0,61		1,39	0,70	0,70
J-73	P-79	880		7,51	3,75	3,75		8,56	4,28	4,28
J-74	P-93	925		7,89	3,95	3,95		9,00	4,50	4,50
J-75	P-94	334		2,85	1,42	1,42		3,25	1,62	1,62
J-76	P-96	522		4,45	2,23	2,23		5,08	2,54	2,54
J-77	P-100	310	2,64	1,32	1,88	3,02	1,51	2,15		
	P-101	66	0,56	0,28		0,64	0,32			
	P-102	65	0,55	0,28		0,63	0,32			
J-78	P-101	66	0,56	0,28	0,28	0,64	0,32	0,32		
J-79	P-102	65	0,55	0,28	0,28	0,63	0,32	0,32		
J-80	P-57	276	2,35	1,18	1,18	2,69	1,34	1,34		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 10^h à 12^h:

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	10 ^h -11 ^h				11 ^h -12 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,008214	1,61	0,81	0,81	0,008049	1,58	0,79	0,79
J-2	P-77	497		4,09	2,04	4,14		4,00	2,00	4,05
	P-82	255		2,10	1,05			2,05	1,03	
J-3	P-1	377		3,10	1,55	5,35		3,03	1,52	5,24
	P-2	427		3,51	1,76			3,44	1,72	
	P-77	497		4,09	2,04			4,00	2,00	
J-4	P-1	377		3,10	1,55	1,55		3,03	1,52	1,52
J-5	P-2	427		3,51	1,76	4,51		3,44	1,72	4,42
	P-3	227		1,87	0,93			1,83	0,91	
	P-80	222		1,82	0,91			1,79	0,89	
J-6	P-3	227		1,87	0,93	2,48		1,83	0,91	2,43
	P-4	67		0,55	0,28			0,54	0,27	
	P-100	310		2,55	1,27			2,50	1,25	
J-7	P-4	67		0,55	0,28	1,00		0,54	0,27	0,98
	P-5	120		0,99	0,49			0,97	0,48	
	P-6	57		0,47	0,23			0,46	0,23	
J-8	P-5	120		0,99	0,49	0,49		0,97	0,48	0,48
J-9	P-6	57		0,47	0,23	1,11		0,46	0,23	1,08
	P-7	139		1,14	0,57			1,12	0,56	
	P-8	73		0,60	0,30			0,59	0,29	
J-10	P-7	139	1,14	0,57	0,57	1,12	0,56	0,56		
J-11	P-8	73	0,60	0,30	1,11	0,59	0,29	1,08		
	P-9	196	1,61	0,81		1,58	0,79			
J-13	P-11	258	2,12	1,06	1,06	2,08	1,04	1,04		
	P-10	2426	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-14	1100	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-14	P-11	258	2,12	1,06	5,65	2,08	1,04	5,53		
	P-12	205	1,69	0,84		1,65	0,83			
	P-13	912	7,50	3,75		7,34	3,67			
J-15	P-12	205	1,69	0,84	4,87	1,65	0,83	4,77		
	P-16	55	0,45	0,23		0,44	0,22			
	P-93	925	7,60	3,80		7,45	3,72			
J-16	P-13	912	7,50	3,75	3,75	7,34	3,67	3,67		
J-17	P-14	1100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-15	14	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-62	432	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-18	P-64	63	0,52	0,26	0,85	0,51	0,25	0,83		
	P-66	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-68	143	1,18	0,59		1,15	0,58			
J-19	P-16	55	0,45	0,23	1,99	0,44	0,22	1,95		
	P-84	250	2,06	1,03		2,01	1,01			
	P-85	180	1,48	0,74		1,45	0,72			
J-20	P-17	131	1,08	0,54	2,78	1,05	0,53	2,72		
	P-18	157	1,29	0,65		1,26	0,63			
	P-83	209	1,72	0,86		1,68	0,84			
	P-85	180	1,48	0,74		1,45	0,72			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 10^h à 12^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	10 ^h -11 ^h				11 ^h -12 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-21	P-20	125	0,008214	1,03	0,51	2,40	0,008049	1,01	0,50	2,35
	P-84	250		2,06	1,03			2,01	1,01	
	P-83	209		1,72	0,86			1,68	0,84	
J-22	P-18	157		1,29	0,65	2,53		1,26	0,63	2,48
	P-87	198		1,63	0,81			1,59	0,80	
	P-98	261		2,15	1,07			2,10	1,05	
J-23	P-59	323		2,66	1,33	2,92		2,60	1,30	2,86
	P-87	198		1,63	0,81			1,59	0,80	
	P-99	189		1,55	0,78			1,52	0,76	
J-24	P-17	131		1,08	0,54	2,36		1,05	0,53	2,31
	P-19	229		1,88	0,94			1,84	0,92	
	P-24	215		1,77	0,88			1,73	0,87	
J-25	P-19	229		1,88	0,94	1,82		1,84	0,92	1,79
	P-21	104		0,85	0,43			0,84	0,42	
	P-25	111		0,91	0,46			0,89	0,45	
J-26	P-20	125		1,03	0,51	1,45		1,01	0,50	1,42
	P-25	111		0,91	0,46			0,89	0,45	
	P-78	116		0,95	0,48			0,93	0,47	
J-27	P-21	104		0,85	0,43	2,88		0,84	0,42	2,82
	P-22	68		0,56	0,28			0,55	0,27	
	P-23	195		1,60	0,80			1,57	0,78	
	P-94	334		2,75	1,37			2,69	1,34	
J-28	P-22	68		0,56	0,28	0,76		0,55	0,27	0,74
	P-78	116		0,95	0,48			0,93	0,47	
J-29	P-23	195		1,60	0,80	0,80		1,57	0,78	0,78
J-30	P-58	84		0,69	0,35	2,43		0,68	0,34	2,38
	P-86	318		2,61	1,31			2,56	1,28	
	P-99	189		1,55	0,78			1,52	0,76	
J-31	P-86	318		2,61	1,31	3,30		2,56	1,28	3,23
	P-97	224		1,84	0,92			1,80	0,90	
	P-98	261		2,15	1,07			2,10	1,05	
J-32	P-24	215	1,77	0,88	4,41	1,73	0,87	4,31		
	P-27	430	3,53	1,77		3,46	1,73			
	P-26	203	1,67	0,83		1,63	0,82			
	P-97	224	1,84	0,92		1,80	0,90			
J-33	P-26	203	1,67	0,83	0,83	1,63	0,82	0,82		
J-34	P-27	430	3,53	1,77	1,77	3,46	1,73	1,73		
J-35	P-28	219	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-76	56	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-36	P-28	219	0,00	0,00	6,08	0,00	0,00	5,96		
	P-29	750	6,17	3,08		6,04	3,02			
	P-60	730	6,00	3,00		5,88	2,94			
J-37	P-29	750	6,17	3,08	6,53	6,04	3,02	6,39		
	P-31	217	1,78	0,89		1,75	0,87			
	P-92	621	5,10	2,55		5,00	2,50			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 10^h à 12^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	10 ^h -11 ^h				11 ^h -12 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-38	P-30	263	0,008214	2,16	1,08	12,19	0,008049	2,12	1,06	12,05
	P-36	252		2,07	1,04			2,03	1,01	
	P-37	403		3,31	1,66			3,24	1,62	
	P-92	621		5,10	2,55			5,00	2,50	
J-39	P-30	263		2,16	1,08	5,98		2,12	1,06	5,86
	P-39	400		3,29	1,64			3,22	1,61	
	P-54	271		2,23	1,11			2,18	1,09	
	P-96	522		4,29	2,15			4,20	2,10	
J-40	P-31	217		1,78	0,89	7,54		1,75	0,87	7,39
	P-32	860		7,07	3,53			6,92	3,46	
	P-33	528		4,34	2,17			4,25	2,12	
	P-65	230		1,89	0,95			1,85	0,93	
J-41	P-32	860		7,07	3,53	3,53		6,92	3,46	3,46
J-42	P-33	528		4,34	2,17	14,65		4,25	2,12	14,52
	P-34	336		2,76	1,38			2,70	1,35	
	P-36	252		2,07	1,04			2,03	1,01	
	P-69	383		3,15	1,57			3,08	1,54	
J-43	P-38	205		1,69	0,84	3,47		1,65	0,83	3,40
	P-61	257		2,11	1,06			2,07	1,03	
	P-69	383		3,15	1,57			3,08	1,54	
J-44	P-34	336	2,76	1,38	14,55	2,70	1,35	14,45		
	P-41	498	4,09	2,05		4,01	2,00			
	P-90	432	3,55	1,78		3,48	1,74			
J-45	P-90	432	3,55	1,78	4,32	3,48	1,74	4,23		
	P-44	498	4,09	2,05		4,01	2,00			
	P-35	120	0,99	0,49		0,97	0,48			
J-46	P-35	120	0,99	0,49	2,80	0,97	0,48	2,74		
	P-50	287	2,36	1,18		2,31	1,16			
	P-95	274	2,25	1,13		2,21	1,10			
J-47	P-40	271	2,23	1,11	4,74	2,18	1,09	4,64		
	P-37	403	3,31	1,66		3,24	1,62			
	P-91	480	3,95	1,97		3,86	1,93			
J-48	P-38	205	1,69	0,84	3,85	1,65	0,83	3,77		
	P-53	252	2,07	1,04		2,03	1,01			
	P-91	480	3,95	1,97		3,86	1,93			
J-49	P-39	400	3,29	1,64	4,09	3,22	1,61	4,00		
	P-40	271	2,23	1,11		2,18	1,09			
	P-56	324	2,66	1,33		2,61	1,30			
J-50	P-41	498	4,09	2,05	4,92	4,01	2,00	4,81		
	P-42	145	1,19	0,60		1,17	0,58			
	P-59	323	2,66	1,33		2,60	1,30			
	P-65	230	1,89	0,95		1,85	0,93			
J-51	P-42	145	1,19	0,60	2,11	1,17	0,58	2,07		
	P-43	67	0,55	0,28		0,54	0,27			
	P-89	302	2,48	1,24		2,43	1,22			
J-52	P-43	67	0,55	0,28	2,77	0,54	0,27	2,71		
	P-44	498	4,09	2,05		4,01	2,00			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 10^h à 12^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	10 ^h --11 ^h				11 ^h --12 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-53	P-45	108	0,008214	0,89	0,44	4,54	0,008049	0,87	0,43	4,44
	P-73	700		5,75	2,88			5,63	2,82	
	P-88	296		2,43	1,22			2,38	1,19	
J-54	P-46	491		4,04	2,02	6,02		3,95	1,98	5,90
	P-73	700		5,75	2,88			5,63	2,82	
	P-95	274		2,25	1,13			2,21	1,10	
J-55	P-46	491		4,04	2,02	3,40		3,95	1,98	3,33
	P-47	81		0,67	0,33			0,65	0,33	
	P-51	255		2,10	1,05			2,05	1,03	
J-56	P-47	81		0,67	0,33	1,94		0,65	0,33	1,90
	P-48	81		0,67	0,33			0,65	0,33	
	P-52	311		2,56	1,28			2,50	1,25	
J-57	P-48	81		0,67	0,33	2,07		0,65	0,33	2,03
	P-49	171		1,41	0,70			1,38	0,69	
	P-53	252	2,07	1,04	2,03		1,01			
J-58	P-49	171	1,41	0,70	2,94	1,38	0,69	2,88		
	P-50	287	2,36	1,18		2,31	1,16			
	P-61	257	2,11	1,06		2,07	1,03			
J-59	P-51	255	2,10	1,05	2,33	2,05	1,03	2,28		
	P-52	311	2,56	1,28		2,50	1,25			
J-60	P-54	271	2,23	1,11	4,79	2,18	1,09	4,69		
	P-55	165	1,36	0,68		1,33	0,66			
	P-60	730	6,00	3,00		5,88	2,94			
J-61	P-55	165	1,36	0,68	3,19	1,33	0,66	3,13		
	P-70	302	2,48	1,24		2,43	1,22			
	P-71	215	1,77	0,88		1,73	0,87			
	P-72	95	0,78	0,39		0,76	0,38			
J-62	P-71	215	1,77	0,88	0,88	1,73	0,87	0,87		
J-63	P-56	324	2,66	1,33	2,86	2,61	1,30	2,80		
	P-57	276	2,27	1,13		2,22	1,11			
	P-72	95	0,78	0,39		0,76	0,38			
J-64	P-70	302	2,48	1,24	1,24	2,43	1,22	1,22		
J-66	P-74	126	1,04	0,52	1,73	1,01	0,51	1,70		
	P-88	296	2,43	1,22		2,38	1,19			
J-67	P-74	126	1,04	0,52	2,10	1,01	0,51	2,06		
	P-58	84	0,69	0,35		0,68	0,34			
	P-89	302	2,48	1,24		2,43	1,22			
J-68	P-62	0	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,86		
	P-63	151	1,24	0,62		1,22	0,61			
	P-64	63	0,52	0,26		0,51	0,25			
J-69	P-63	151	1,24	0,62	0,62	1,22	0,61	0,61		
J-70	P-66	910	0,00	0,00	6,53	0,00	0,00	6,40		
	P-67	709	5,83	2,91		5,71	2,85			
	P-79	880	7,23	3,62		7,08	3,54			
J-71	P-67	709	5,83	2,91	2,91	5,71	2,85	2,85		
J-72	P-68	143	1,18	0,59	0,59	1,15	0,58	0,58		
J-73	P-79	880	7,23	3,62	3,62	7,08	3,54	3,54		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 10^h à 12^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	10 ^h -11 ^h				11 ^h -12 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-74	P-93	925	0,008214	7,60	3,80	3,80	0,008049	7,45	3,72	3,72
J-75	P-94	334		2,75	1,37	1,37		2,69	1,34	1,34
J-76	P-96	522		4,29	2,15	2,15		4,20	2,10	2,10
J-77	P-100	310		2,55	1,27	1,81		2,50	1,25	1,77
	P-101	66		0,54	0,27			0,53	0,27	
	P-102	65		0,53	0,27			0,52	0,26	
J-78	P-101	66		0,54	0,27	0,27		0,53	0,27	0,27
J-79	P-102	65		0,53	0,27	0,27		0,52	0,26	0,26
J-80	P-57	276		2,27	1,13	1,13		2,22	1,11	1,11

Annexe -II- Débits nodaux de 12^h à 14^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	12 ^h -13 ^h				13 ^h -14 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,007535	1,48	0,74	0,74	0,007040	1,38	0,69	0,69
J-2	P-77	497		3,75	1,87	3,79		3,49	1,74	3,54
	P-82	255		1,92	0,96			1,79	0,90	
J-3	P-1	377		2,84	1,42	4,90		2,65	1,32	4,57
	P-2	427		3,22	1,61			3,00	1,50	
	P-77	497		3,75	1,87			3,49	1,74	
J-4	P-1	377		2,84	1,42	1,42		2,65	1,32	1,32
J-5	P-2	427		3,22	1,61	4,14		3,00	1,50	3,85
	P-3	227		1,71	0,86			1,59	0,80	
	P-80	222		1,67	0,84			1,56	0,78	
J-6	P-3	227		1,71	0,86	2,28		1,59	0,80	2,12
	P-4	67		0,50	0,25			0,47	0,24	
	P-100	310		2,34	1,17			2,18	1,09	
J-7	P-4	67		0,50	0,25	0,92		0,47	0,24	0,86
	P-5	120		0,90	0,45			0,84	0,42	
	P-6	57		0,43	0,21			0,40	0,20	
J-8	P-5	120		0,90	0,45	0,45		0,84	0,42	0,42
J-9	P-6	57		0,43	0,21	1,01		0,40	0,20	0,94
	P-7	139		1,05	0,52			0,98	0,49	
	P-8	73		0,55	0,28			0,51	0,26	
J-10	P-7	139	1,05	0,52	0,52	0,98	0,49	0,49		
J-11	P-8	73	0,55	0,28	1,01	0,51	0,26	0,94		
	P-9	196	1,48	0,74		1,38	0,69			
J-13	P-11	258	1,94	0,97	0,97	1,81	0,91	0,91		
	P-10	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-14	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-14	P-11	258	1,94	0,97	5,18	1,81	0,91	4,83		
	P-12	205	1,54	0,77		1,44	0,72			
	P-13	912	6,87	3,44		6,40	3,20			
J-15	P-12	205	1,54	0,77	4,46	1,44	0,72	4,16		
	P-16	55	0,41	0,21		0,39	0,19			
	P-93	925	6,97	3,49		6,49	3,25			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 12^h à 14^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	12 ^h –13 ^h				13 ^h –14 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-16	P-13	912	0,007535	6,87	3,44	3,44	0,007040	6,40	3,20	3,20
J-17	P-14	0		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-15	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-62	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-18	P-64	63		0,47	0,24	0,78		0,44	0,22	0,72
	P-66	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-68	143		1,08	0,54			1,00	0,50	
J-19	P-16	55		0,41	0,21	1,83		0,39	0,19	1,70
	P-84	250		1,88	0,94			1,76	0,88	
	P-85	180		1,36	0,68			1,26	0,63	
J-20	P-17	131		0,99	0,49	2,55		0,92	0,46	2,38
	P-18	157		1,18	0,59			1,10	0,55	
	P-83	209		1,57	0,79			1,47	0,73	
	P-85	180		1,36	0,68			1,26	0,63	
J-21	P-20	125		0,94	0,47	2,20		0,88	0,44	2,05
	P-84	250		1,88	0,94			1,76	0,88	
	P-83	209		1,57	0,79			1,47	0,73	
J-22	P-18	157		1,18	0,59	2,32		1,10	0,55	2,16
	P-87	198		1,49	0,75			1,39	0,70	
	P-98	261		1,97	0,98			1,83	0,92	
J-23	P-59	323		2,43	1,22	2,68		2,27	1,13	2,49
	P-87	198		1,49	0,75			1,39	0,70	
	P-99	189		1,42	0,71			1,33	0,66	
J-24	P-17	131		0,99	0,49	2,17		0,92	0,46	2,02
	P-19	229		1,73	0,86			1,61	0,80	
	P-24	215		1,62	0,81			1,51	0,75	
J-25	P-19	229		1,73	0,86	1,67		1,61	0,80	1,56
	P-21	104		0,78	0,39			0,73	0,37	
	P-25	111		0,84	0,42			0,78	0,39	
J-26	P-20	125		0,94	0,47	1,33		0,88	0,44	1,24
	P-25	111		0,84	0,42			0,78	0,39	
	P-78	116		0,87	0,44			0,81	0,41	
J-27	P-21	104	0,78	0,39	2,64	0,73	0,37	2,46		
	P-22	68	0,51	0,26		0,48	0,24			
	P-23	195	1,47	0,73		1,37	0,68			
	P-94	334	2,52	1,26		2,35	1,17			
J-28	P-22	68	0,51	0,26	0,69	0,48	0,24	0,65		
	P-78	116	0,87	0,44		0,81	0,41			
J-29	P-23	195	1,47	0,73	0,73	1,37	0,68	0,68		
J-30	P-58	84	0,63	0,32	2,23	0,59	0,29	2,07		
	P-86	318	2,40	1,20		2,23	1,12			
	P-99	189	1,42	0,71		1,33	0,66			
J-31	P-86	318	2,40	1,20	3,03	2,23	1,12	2,82		
	P-97	224	1,69	0,84		1,57	0,79			
	P-98	261	1,97	0,98		1,83	0,92			
J-32	P-24	215	1,62	0,81	4,04	1,51	0,75	3,76		
	P-27	430	3,24	1,62		3,02	1,51			
	P-26	203	1,53	0,76		1,43	0,71			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 12^h à 14^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	12 ^h –13 ^h				13 ^h –14 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-33	P-26	203	0,007535	1,53	0,76	0,76	0,00704	1,43	0,71	0,71
J-34	P-27	430		3,24	1,62	1,62		3,02	1,51	1,51
J-35	P-28	0		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-76	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-36	P-28	0		0,00	0,00	5,58		0,00	0,00	5,20
	P-29	750		5,65	2,83			5,27	2,63	
	P-60	730		5,50	2,75			5,13	2,56	
J-37	P-29	750		5,65	2,83	5,98		5,27	2,63	5,58
	P-31	217		1,64	0,82			1,52	0,76	
	P-92	621		4,68	2,34			4,36	2,18	
J-38	P-30	263		1,98	0,99	5,80		1,85	0,92	11,26
	P-36	252		1,90	0,95			1,77	0,88	
	P-37	403		3,04	1,52			2,83	1,41	
	P-92	621		4,68	2,34			4,36	2,18	
J-39	P-30	263		1,98	0,99	5,49		1,85	0,92	5,11
	P-39	400		3,01	1,51			2,81	1,40	
	P-54	271		2,04	1,02			1,90	0,95	
	P-96	522		3,93	1,97			3,67	1,83	
J-40	P-31	217		1,64	0,82	6,91		1,52	0,76	6,44
	P-32	860		6,48	3,24			6,04	3,02	
	P-33	528		3,98	1,99			3,71	1,85	
	P-65	230		1,73	0,87			1,61	0,81	
J-41	P-32	860		6,48	3,24	3,24		6,04	3,02	3,02
J-42	P-33	528		3,98	1,99	5,65		3,71	1,85	13,75
	P-34	336	2,53	1,27	2,36		1,18			
	P-36	252	1,90	0,95	1,77		0,88			
	P-69	383	2,89	1,44	2,69		1,34			
J-43	P-38	205	1,54	0,77	3,18	1,44	0,72	2,97		
	P-61	257	1,94	0,97		1,80	0,90			
	P-69	383	2,89	1,44		2,69	1,34			
J-44	P-34	336	2,53	1,27	4,77	2,36	1,18	13,79		
	P-41	498	3,75	1,88		3,50	1,75			
	P-90	432	3,26	1,63		3,03	1,52			
J-45	P-90	432	3,26	1,63	3,96	3,03	1,52	3,69		
	P-44	498	3,75	1,88		3,50	1,75			
	P-35	120	0,90	0,45		0,84	0,42			
J-46	P-35	120	0,90	0,45	2,57	0,84	0,42	2,39		
	P-50	287	2,16	1,08		2,02	1,01			
	P-95	274	2,06	1,03		1,92	0,96			
J-47	P-40	271	2,04	1,02	4,35	1,90	0,95	4,05		
	P-37	403	3,04	1,52		2,83	1,41			
	P-91	480	3,62	1,81		3,37	1,69			
J-48	P-38	205	1,54	0,77	3,53	1,44	0,72	3,29		
	P-53	252	1,90	0,95		1,77	0,88			
	P-91	480	3,62	1,81		3,37	1,69			
J-49	P-39	400	3,01	1,51	3,75	2,81	1,40	3,49		
	P-40	271	2,04	1,02		1,90	0,95			
	P-56	324	2,44	1,22		2,27	1,14			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 12^h à 14^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	12 ^h –13 ^h				13 ^h –14 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-50	P-41	498	0,007535	3,75	1,88	4,51	0,00704	3,50	1,75	4,20
	P-42	145		1,09	0,55			1,02	0,51	
	P-59	323		2,43	1,22			2,27	1,13	
	P-65	230		1,73	0,87			1,61	0,81	
J-51	P-42	145		1,09	0,55	1,94		1,02	0,51	1,80
	P-43	67		0,50	0,25			0,47	0,24	
	P-89	302		2,28	1,14			2,12	1,06	
J-52	P-43	67		0,50	0,25	2,54		0,47	0,24	2,36
	P-44	498		3,75	1,88			3,50	1,75	
	P-45	108		0,81	0,41			0,76	0,38	
J-53	P-45	108		0,81	0,41	4,16		0,76	0,38	3,88
	P-73	700		5,27	2,64			4,92	2,46	
	P-88	296		2,23	1,12			2,08	1,04	
J-54	P-46	491		3,70	1,85	5,52		3,45	1,72	5,14
	P-73	700		5,27	2,64			4,92	2,46	
	P-95	274		2,06	1,03			1,92	0,96	
J-55	P-46	491		3,70	1,85	3,12		3,45	1,72	2,90
	P-47	81		0,61	0,31			0,57	0,28	
	P-51	255		1,92	0,96			1,79	0,90	
J-56	P-47	81		0,61	0,31	1,78		0,57	0,28	1,66
	P-48	81		0,61	0,31			0,57	0,28	
	P-52	311		2,34	1,17			2,18	1,09	
J-57	P-48	81		0,61	0,31	1,90		0,57	0,28	1,77
	P-49	171		1,29	0,64			1,20	0,60	
	P-53	252		1,90	0,95			1,77	0,88	
J-58	P-49	171		1,29	0,64	2,69		1,20	0,60	2,51
	P-50	287		2,16	1,08			2,02	1,01	
	P-61	257		1,94	0,97			1,80	0,90	
J-59	P-51	255	1,92	0,96	2,13	1,79	0,90	1,99		
	P-52	311	2,34	1,17		2,18	1,09			
J-60	P-54	271	2,04	1,02	4,39	1,90	0,95	4,09		
	P-55	165	1,24	0,62		1,16	0,58			
	P-60	730	5,50	2,75		5,13	2,56			
J-61	P-55	165	1,24	0,62	2,93	1,16	0,58	2,73		
	P-70	302	2,28	1,14		2,12	1,06			
	P-71	215	1,62	0,81		1,51	0,75			
	P-72	95	0,72	0,36		0,67	0,33			
J-62	P-71	215	1,62	0,81	0,81	1,51	0,75	0,75		
J-63	P-56	324	2,44	1,22	2,62	2,27	1,14	2,44		
	P-57	276	2,08	1,04		1,94	0,97			
	P-72	95	0,72	0,36		0,67	0,33			
J-64	P-70	302	2,28	1,14	1,14	2,12	1,06	1,06		
J-66	P-74	126	0,95	0,47	1,59	0,88	0,44	1,48		
	P-88	296	2,23	1,12		2,08	1,04			
J-67	P-74	126	0,95	0,47	1,93	0,88	0,44	1,80		
	P-58	84	0,63	0,32		0,59	0,29			
	P-89	302	2,28	1,14		2,12	1,06			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 12^h à 14^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	12 ^h –13 ^h				13 ^h –14 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-68	P-62	0	0,007535	0,00	0,00	0,81	0,00704	0,00	0,00	0,75
	P-63	151		1,14	0,57			1,06	0,53	
	P-64	63		0,47	0,24			0,44	0,22	
J-69	P-63	151		1,14	0,57	0,57		1,06	0,53	0,53
J-70	P-66	0		0,00	0,00	5,99		0,00	0,00	5,58
	P-67	709		5,34	2,67			4,98	2,49	
	P-79	880		6,63	3,32			6,18	3,09	
J-71	P-67	709		5,34	2,67	2,67		4,98	2,49	2,49
J-72	P-68	143		1,08	0,54	0,54		1,00	0,50	0,50
J-73	P-79	880		6,63	3,32	3,32		6,18	3,09	3,09
J-74	P-93	925		6,97	3,49	3,49		6,49	3,25	3,25
J-75	P-94	334		2,52	1,26	1,26		2,35	1,17	1,17
J-76	P-96	522		3,93	1,97	1,97		3,67	1,83	1,83
J-77	P-100	310		2,34	1,17	1,66		2,18	1,09	1,55
	P-101	66		0,50	0,25			0,46	0,23	
	P-102	65	0,49	0,24	0,46		0,23			
J-78	P-101	66	0,50	0,25	0,25	0,46	0,23	0,23		
J-79	P-102	65	0,49	0,24	0,24	0,46	0,23	0,23		
J-80	P-57	276	2,08	1,04	1,04	1,94	0,97	0,97		

Annexe -II- Débits nodaux de 14^h à 16^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	14 ^h –15 ^h				15 ^h –16 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,007193	1,41	0,70	0,70	0,007535	1,48	0,74	0,74
J-2	P-77	497		3,57	1,79	3,62		3,75	1,87	3,79
	P-82	255		1,83	0,92			1,92	0,96	
J-3	P-1	377		2,71	1,36	4,68		2,84	1,42	4,90
	P-2	427		3,07	1,54			3,22	1,61	
	P-77	497		3,57	1,79			3,75	1,87	
J-4	P-1	377		2,71	1,36	1,36		2,84	1,42	1,42
J-5	P-2	427		3,07	1,54	3,95		3,22	1,61	4,14
	P-3	227		1,63	0,82			1,71	0,86	
	P-80	222		1,60	0,80			1,67	0,84	
J-6	P-3	227		1,63	0,82	2,17		1,71	0,86	2,28
	P-4	67		0,48	0,24			0,50	0,25	
	P-100	310		2,23	1,11			2,34	1,17	
J-7	P-4	67		0,48	0,24	0,88		0,50	0,25	0,92
	P-5	120		0,86	0,43			0,90	0,45	
	P-6	57	0,41	0,20	0,43		0,21			
J-8	P-5	120	0,86	0,43	0,43	0,90	0,45	0,45		
J-9	P-6	57	0,41	0,20	0,97	0,43	0,21	1,01		
	P-7	139	1,00	0,50		1,05	0,52			
	P-8	73	0,53	0,26		0,55	0,28			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 14^h à 16^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	14 ^h —15 ^h				15 ^h —16 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-10	P-7	139	0,007193	1,00	0,50	0,50	0,007535	1,05	0,52	0,52
J-11	P-8	73		0,53	0,26	0,97		0,55	0,28	1,01
	P-9	196		1,41	0,70			1,48	0,74	
J-13	P-11	258		1,86	0,93	0,93		1,94	0,97	0,97
	P-10	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-14	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-14	P-11	258		1,86	0,93	4,95		1,94	0,97	5,18
	P-12	205		1,47	0,74			1,54	0,77	
	P-13	912		6,56	3,28			6,87	3,44	
J-15	P-12	205		1,47	0,74	4,26		1,54	0,77	4,46
	P-16	55		0,40	0,20			0,41	0,21	
	P-93	925		6,65	3,33			6,97	3,49	
J-16	P-13	912		6,56	3,28	3,28		6,87	3,44	3,44
J-17	P-14	0		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-15	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-62	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-18	P-64	63		0,45	0,23	0,74		0,47	0,24	0,78
	P-66	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-68	143		1,03	0,51			1,08	0,54	
J-19	P-16	55		0,40	0,20	1,74		0,41	0,21	1,83
	P-84	250		1,80	0,90			1,88	0,94	
	P-85	180		1,29	0,65			1,36	0,68	
J-20	P-17	131		0,94	0,47	2,43		0,99	0,49	2,55
	P-18	157		1,13	0,56			1,18	0,59	
	P-83	209		1,50	0,75			1,57	0,79	
	P-85	180		1,29	0,65			1,36	0,68	
J-21	P-20	125		0,90	0,45	2,10		0,94	0,47	2,20
	P-84	250	1,80	0,90	1,88		0,94			
	P-83	209	1,50	0,75	1,57		0,79			
J-22	P-18	157	1,13	0,56	2,22	1,18	0,59	2,32		
	P-87	198	1,42	0,71		1,49	0,75			
	P-98	261	1,88	0,94		1,97	0,98			
J-23	P-59	323	2,32	1,16	2,55	2,43	1,22	2,68		
	P-87	198	1,42	0,71		1,49	0,75			
	P-99	189	1,36	0,68		1,42	0,71			
J-24	P-17	131	0,94	0,47	2,07	0,99	0,49	2,17		
	P-19	229	1,65	0,82		1,73	0,86			
	P-24	215	1,55	0,77		1,62	0,81			
J-25	P-19	229	1,65	0,82	1,60	1,73	0,86	1,67		
	P-21	104	0,75	0,37		0,78	0,39			
	P-25	111	0,80	0,40		0,84	0,42			
J-26	P-20	125	0,90	0,45	1,27	0,94	0,47	1,33		
	P-25	111	0,80	0,40		0,84	0,42			
	P-78	116	0,83	0,42		0,87	0,44			
J-27	P-21	104	0,75	0,37	2,52	0,78	0,39	2,64		
	P-22	68	0,49	0,24		0,51	0,26			
	P-23	195	1,40	0,70		1,47	0,73			
	P-94	334	2,40	1,20		2,52	1,26			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 14^h à 16^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	14 ^h —15 ^h				15 ^h —16 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-28	P-22	68	0,007193	0,49	0,24	0,66	0,007535	0,51	0,26	0,69
	P-78	116		0,83	0,42			0,87	0,44	
J-29	P-23	195		1,40	0,70	0,70		1,47	0,73	0,73
J-30	P-58	84		0,60	0,30	2,13		0,63	0,32	2,23
	P-86	318		2,29	1,14			2,40	1,20	
	P-99	189		1,36	0,68			1,42	0,71	
J-31	P-86	318		2,29	1,14	2,89		2,40	1,20	3,03
	P-97	224		1,61	0,81			1,69	0,84	
	P-98	261		1,88	0,94			1,97	0,98	
J-32	P-24	215		1,55	0,77	3,86		1,62	0,81	4,04
	P-27	430		3,09	1,55			3,24	1,62	
	P-26	203		1,46	0,73			1,53	0,76	
	P-97	224		1,61	0,81			1,69	0,84	
J-33	P-26	203		1,46	0,73	0,73		1,53	0,76	0,76
J-34	P-27	430		3,09	1,55	1,55		3,24	1,62	1,62
J-35	P-28	0		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-76	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-36	P-28	0		0,00	0,00	5,32		0,00	0,00	5,58
	P-29	750		5,39	2,70			5,65	2,83	
	P-60	730		5,25	2,63			5,50	2,75	
J-37	P-29	750		5,39	2,70	5,71		5,65	2,83	5,98
	P-31	217		1,56	0,78			1,64	0,82	
	P-92	621		4,47	2,23			4,68	2,34	
J-38	P-30	263		1,89	0,95	11,39		1,98	0,99	11,66
	P-36	252	1,81	0,91	1,90		0,95			
	P-37	403	2,90	1,45	3,04		1,52			
	P-92	621	4,47	2,23	4,68		2,34			
J-39	P-30	263	1,89	0,95	5,24	1,98	0,99	5,49		
	P-39	400	2,88	1,44		3,01	1,51			
	P-54	271	1,95	0,97		2,04	1,02			
	P-96	522	3,75	1,88		3,93	1,97			
J-40	P-31	217	1,56	0,78	6,60	1,64	0,82	6,91		
	P-32	860	6,19	3,09		6,48	3,24			
	P-33	528	3,80	1,90		3,98	1,99			
	P-65	230	1,65	0,83		1,73	0,87			
J-41	P-32	860	6,19	3,09	3,09	6,48	3,24	3,24		
J-42	P-33	528	3,80	1,90	13,88	3,98	1,99	14,14		
	P-34	336	2,42	1,21		2,53	1,27			
	P-36	252	1,81	0,91		1,90	0,95			
	P-69	383	2,75	1,38		2,89	1,44			
J-43	P-38	205	1,47	0,74	3,04	1,54	0,77	3,18		
	P-61	257	1,85	0,92		1,94	0,97			
	P-69	383	2,75	1,38		2,89	1,44			
J-44	P-34	336	2,42	1,21	13,90	2,53	1,27	14,12		
	P-41	498	3,58	1,79		3,75	1,88			
	P-90	432	3,11	1,55		3,26	1,63			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 14^h à 16^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	14 ^h —15 ^h				15 ^h —16 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-45	P-90	432	0,007193	3,11	1,55	3,78	0,007535	3,26	1,63	3,96
	P-44	498		3,58	1,79			3,75	1,88	
	P-35	120		0,86	0,43			0,90	0,45	
J-46	P-35	120		0,86	0,43	2,45		0,90	0,45	2,57
	P-50	287		2,06	1,03			2,16	1,08	
	P-95	274		1,97	0,99			2,06	1,03	
J-47	P-40	271		1,95	0,97	4,15		2,04	1,02	4,35
	P-37	403		2,90	1,45			3,04	1,52	
	P-91	480		3,45	1,73			3,62	1,81	
J-48	P-38	205		1,47	0,74	3,37		1,54	0,77	3,53
	P-53	252		1,81	0,91			1,90	0,95	
	P-91	480		3,45	1,73			3,62	1,81	
J-49	P-39	400		2,88	1,44	3,58		3,01	1,51	3,75
	P-40	271		1,95	0,97			2,04	1,02	
	P-56	324		2,33	1,17			2,44	1,22	
J-50	P-41	498		3,58	1,79	4,30		3,75	1,88	4,51
	P-42	145		1,04	0,52			1,09	0,55	
	P-59	323		2,32	1,16			2,43	1,22	
	P-65	230		1,65	0,83			1,73	0,87	
J-51	P-42	145		1,04	0,52	1,85		1,09	0,55	1,94
	P-43	67		0,48	0,24			0,50	0,25	
	P-89	302		2,17	1,09			2,28	1,14	
J-52	P-43	67		0,48	0,24	2,42		0,50	0,25	2,54
	P-44	498		3,58	1,79			3,75	1,88	
	P-45	108		0,78	0,39			0,81	0,41	
J-53	P-45	108		0,78	0,39	3,97		0,81	0,41	4,16
	P-73	700		5,03	2,52			5,27	2,64	
	P-88	296		2,13	1,06			2,23	1,12	
J-54	P-46	491		3,53	1,77	5,27		3,70	1,85	5,52
	P-73	700		5,03	2,52			5,27	2,64	
	P-95	274	1,97	0,99	2,06		1,03			
J-55	P-46	491	3,53	1,77	2,97	3,70	1,85	3,12		
	P-47	81	0,58	0,29		0,61	0,31			
	P-51	255	1,83	0,92		1,92	0,96			
J-56	P-47	81	0,58	0,29	1,70	0,61	0,31	1,78		
	P-48	81	0,58	0,29		0,61	0,31			
	P-52	311	2,24	1,12		2,34	1,17			
J-57	P-48	81	0,58	0,29	1,81	0,61	0,31	1,90		
	P-49	171	1,23	0,61		1,29	0,64			
	P-53	252	1,81	0,91		1,90	0,95			
J-58	P-49	171	1,23	0,61	2,57	1,29	0,64	2,69		
	P-50	287	2,06	1,03		2,16	1,08			
	P-61	257	1,85	0,92		1,94	0,97			
J-59	P-51	255	1,83	0,92	2,04	1,92	0,96	2,13		
	P-52	311	2,24	1,12		2,34	1,17			
J-60	P-54	271	1,95	0,97	4,19	2,04	1,02	4,39		
	P-55	165	1,19	0,59		1,24	0,62			
	P-60	730	5,25	2,63		5,50	2,75			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 14^h à 16^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	14 ^h —15 ^h				15--16			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-61	P-55	165	0,007193	1,19	0,59	2,79	0,007535	1,24	0,62	2,93
	P-70	302		2,17	1,09			2,28	1,14	
	P-71	215		1,55	0,77			1,62	0,81	
	P-72	95		0,68	0,34			0,72	0,36	
J-62	P-71	215		1,55	0,77		1,62	0,81	0,81	
J-63	P-56	324	0,007193	2,33	1,17	2,50	0,007535	2,44	1,22	2,62
	P-57	276		1,99	0,99			2,08	1,04	
	P-72	95		0,68	0,34			0,72	0,36	
J-64	P-70	302		2,17	1,09		2,28	1,14	1,14	
J-66	P-74	126	0,007193	0,91	0,45	1,52	0,007535	0,95	0,47	1,59
	P-88	296		2,13	1,06			2,23	1,12	
J-67	P-74	126	0,007193	0,91	0,45	1,84	0,007535	0,95	0,47	1,93
	P-58	84		0,60	0,30			0,63	0,32	
	P-89	302		2,17	1,09			2,28	1,14	
J-68	P-62	0	0,007193	0,00	0,00	0,77	0,007535	0,00	0,00	0,81
	P-63	151		1,09	0,54			1,14	0,57	
	P-64	63		0,45	0,23			0,47	0,24	
J-69	P-63	151		1,09	0,54		1,14	0,57	0,57	
J-70	P-66	0	0,007193	0,00	0,00	5,71	0,007535	0,00	0,00	5,99
	P-67	709		5,10	2,55			5,34	2,67	
	P-79	880		6,33	3,16			6,63	3,32	
J-71	P-67	709		5,10	2,55		5,34	2,67	2,67	
J-72	P-68	143		1,03	0,51		1,08	0,54	0,54	
J-73	P-79	880		6,33	3,16		6,63	3,32	3,32	
J-74	P-93	925		6,65	3,33		6,97	3,49	3,49	
J-75	P-94	334		2,40	1,20		2,52	1,26	1,26	
J-76	P-96	522		3,75	1,88		3,93	1,97	1,97	
J-77	P-100	310	0,007193	2,23	1,11	1,59	0,007535	2,34	1,17	1,66
	P-101	66		0,47	0,24			0,50	0,25	
	P-102	65		0,47	0,23			0,49	0,24	
J-78	P-101	66		0,47	0,24		0,50	0,25	0,25	
J-79	P-102	65		0,47	0,23		0,49	0,24	0,24	
J-80	P-57	276		1,99	0,99		2,08	1,04	1,04	

Annexe -II- Débits nodaux de 16^h à 18^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	16 ^h —17 ^h				17 ^h —18 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-1	P-9	196	0,007503	1,47	0,74	0,74	0,007160	1,40	0,70	0,70
J-2	P-77	497		3,73	1,86	3,78		3,56	1,78	3,61
	P-82	255		1,91	0,96			1,83	0,91	
J-3	P-1	377		2,83	1,41	4,88		2,70	1,35	4,66
	P-2	427	3,20	1,60	3,06		1,53			
	P-77	497	3,73	1,86	3,56		1,78			
J-4	P-1	377		2,83	1,41	1,41	2,70	1,35	1,35	

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 16^h à 18^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	16 ^h –17 ^h				17 ^h –18 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-5	P-2	427	0,007503	3,20	1,60	4,12	0,007160	3,06	1,53	3,93
	P-3	227		1,70	0,85			1,63	0,81	
	P-80	222		1,67	0,83			1,59	0,79	
J-6	P-3	227		1,70	0,85	2,27		1,63	0,81	2,16
	P-4	67		0,50	0,25			0,48	0,24	
	P-100	310		2,33	1,16			2,22	1,11	
J-7	P-4	67		0,50	0,25	0,92		0,48	0,24	0,87
	P-5	120		0,90	0,45			0,86	0,43	
	P-6	57		0,43	0,21			0,41	0,20	
J-8	P-5	120		0,90	0,45	0,45		0,86	0,43	0,43
J-9	P-6	57		0,43	0,21	1,01		0,41	0,20	0,96
	P-7	139		1,04	0,52			1,00	0,50	
	P-8	73		0,55	0,27			0,52	0,26	
J-10	P-7	139		1,04	0,52	0,52		1,00	0,50	0,50
J-11	P-8	73		0,55	0,27	1,01		0,52	0,26	0,96
	P-9	196		1,47	0,74			1,40	0,70	
J-13	P-11	258		1,94	0,97	0,97		1,85	0,92	0,92
	P-10	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-14	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-14	P-11	258		1,94	0,97	5,16		1,85	0,92	4,92
	P-12	205		1,54	0,77			1,47	0,73	
	P-13	912		6,84	3,42			6,53	3,27	
J-15	P-12	205		1,54	0,77	4,45		1,47	0,73	4,24
	P-16	55	0,41	0,21	0,39		0,20			
	P-93	925	6,94	3,47	6,62		3,31			
J-16	P-13	912	6,84	3,42	3,42	6,53	3,27	3,27		
J-17	P-14	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-15	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-62	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-18	P-64	63	0,47	0,24	0,77	0,45	0,23	0,74		
	P-66	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-68	143	1,07	0,54		1,02	0,51			
J-19	P-16	55	0,41	0,21	1,82	0,39	0,20	1,74		
	P-84	250	1,88	0,94		1,79	0,90			
	P-85	180	1,35	0,68		1,29	0,64			
J-20	P-17	131	0,98	0,49	2,54	0,94	0,47	2,42		
	P-18	157	1,18	0,59		1,12	0,56			
	P-83	209	1,57	0,78		1,50	0,75			
	P-85	180	1,35	0,68		1,29	0,64			
J-21	P-20	125	0,94	0,47	2,19	0,90	0,45	2,09		
	P-84	250	1,88	0,94		1,79	0,90			
	P-83	209	1,57	0,78		1,50	0,75			
J-22	P-18	157	1,18	0,59	2,31	1,12	0,56	2,21		
	P-87	198	1,49	0,74		1,42	0,71			
	P-98	261	1,96	0,98		1,87	0,93			
J-23	P-59	323	2,42	1,21	2,66	2,31	1,16	2,54		
	P-87	198	1,49	0,74		1,42	0,71			
	P-99	189	1,42	0,71		1,35	0,68			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 16^h à 18^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	16 ^h —17 ^h				17 ^h —18 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-24	P-17	131	0,007503	0,98	0,49	2,16	0,007160	0,94	0,47	2,06
	P-19	229		1,72	0,86			1,64	0,82	
	P-24	215		1,61	0,81			1,54	0,77	
J-25	P-19	229		1,72	0,86	1,67		1,64	0,82	1,59
	P-21	104		0,78	0,39			0,74	0,37	
	P-25	111		0,83	0,42			0,79	0,40	
J-26	P-20	125		0,94	0,47	1,32		0,90	0,45	1,26
	P-25	111		0,83	0,42			0,79	0,40	
	P-78	116		0,87	0,44			0,83	0,42	
J-27	P-21	104		0,78	0,39	2,63		0,74	0,37	2,51
	P-22	68		0,51	0,26			0,49	0,24	
	P-23	195		1,46	0,73			1,40	0,70	
	P-94	334		2,51	1,25			2,39	1,20	
J-28	P-22	68		0,51	0,26	0,69		0,49	0,24	0,66
	P-78	116		0,87	0,44			0,83	0,42	
J-29	P-23	195		1,46	0,73	0,73		1,40	0,70	0,70
J-30	P-58	84		0,63	0,32	2,22		0,60	0,30	2,12
	P-86	318		2,39	1,19			2,28	1,14	
	P-99	189		1,42	0,71			1,35	0,68	
J-31	P-86	318		2,39	1,19	3,01		2,28	1,14	2,87
	P-97	224		1,68	0,84			1,60	0,80	
	P-98	261		1,96	0,98			1,87	0,93	
J-32	P-24	215		1,61	0,81	4,02		1,54	0,77	3,84
	P-27	430		3,23	1,61			3,08	1,54	
	P-26	203		1,52	0,76			1,45	0,73	
	P-97	224		1,68	0,84			1,60	0,80	
J-33	P-26	203		1,52	0,76	0,76		1,45	0,73	0,73
J-34	P-27	430		3,23	1,61	1,61		3,08	1,54	1,54
J-35	P-28	0		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-76	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-36	P-28	0	0,00	0,00	5,55	0,00	0,00	5,30		
	P-29	750	5,63	2,81		5,37	2,69			
	P-60	730	5,48	2,74		5,23	2,61			
J-37	P-29	750	5,63	2,81	5,96	5,37	2,69	5,69		
	P-31	217	1,63	0,81		1,55	0,78			
	P-92	621	4,66	2,33		4,45	2,22			
J-38	P-30	263	1,97	0,99	11,63	1,88	0,94	5,51		
	P-36	252	1,89	0,95		1,80	0,90			
	P-37	403	3,02	1,51		2,89	1,44			
	P-92	621	4,66	2,33		4,45	2,22			
J-39	P-30	263	1,97	0,99	5,46	1,88	0,94	5,21		
	P-39	400	3,00	1,50		2,86	1,43			
	P-54	271	2,03	1,02		1,94	0,97			
	P-96	522	3,92	1,96		3,74	1,87			
J-40	P-31	217	1,63	0,81	6,88	1,55	0,78	6,57		
	P-32	860	6,45	3,23		6,16	3,08			
	P-33	528	3,96	1,98		3,78	1,89			
	P-65	230	1,73	0,86		1,65	0,82			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 16^h à 18^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	16 ^h —17 ^h				17 ^h —18 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-41	P-32	860	0,007503	6,45	3,23	3,23	0,007160	6,16	3,08	3,08
J-42	P-33	528		3,96	1,98	14,11		3,78	1,89	5,37
	P-34	336		2,52	1,26			2,41	1,20	
	P-36	252		1,89	0,95			1,80	0,90	
	P-69	383		2,87	1,44			2,74	1,37	
J-43	P-38	205		1,54	0,77	3,17		1,47	0,73	3,03
	P-61	257		1,93	0,96			1,84	0,92	
	P-69	383		2,87	1,44			2,74	1,37	
J-44	P-34	336		2,52	1,26	14,10		2,41	1,20	4,53
	P-41	498		3,74	1,87			3,57	1,78	
	P-90	432		3,24	1,62			3,09	1,55	
J-45	P-90	432		3,24	1,62	3,94		3,09	1,55	3,76
	P-44	498		3,74	1,87			3,57	1,78	
	P-35	120		0,90	0,45			0,86	0,43	
J-46	P-35	120		0,90	0,45	2,55		0,86	0,43	2,44
	P-50	287		2,15	1,08			2,05	1,03	
	P-95	274		2,06	1,03			1,96	0,98	
J-47	P-40	271		2,03	1,02	4,33		1,94	0,97	4,13
	P-37	403		3,02	1,51			2,89	1,44	
	P-91	480		3,60	1,80			3,44	1,72	
J-48	P-38	205		1,54	0,77	3,52		1,47	0,73	3,35
	P-53	252		1,89	0,95			1,80	0,90	
	P-91	480		3,60	1,80			3,44	1,72	
J-49	P-39	400		3,00	1,50	3,73		2,86	1,43	3,56
	P-40	271		2,03	1,02			1,94	0,97	
	P-56	324		2,43	1,22			2,32	1,16	
J-50	P-41	498		3,74	1,87	4,49		3,57	1,78	4,28
	P-42	145		1,09	0,54			1,04	0,52	
	P-59	323		2,42	1,21			2,31	1,16	
	P-65	230		1,73	0,86			1,65	0,82	
J-51	P-42	145		1,09	0,54	1,93		1,04	0,52	1,84
	P-43	67		0,50	0,25			0,48	0,24	
	P-89	302		2,27	1,13			2,16	1,08	
J-52	P-43	67		0,50	0,25	2,52		0,48	0,24	2,41
	P-44	498		3,74	1,87			3,57	1,78	
	P-45	108		0,81	0,41			0,77	0,39	
J-53	P-45	108		0,81	0,41	4,14		0,77	0,39	3,95
	P-73	700		5,25	2,63			5,01	2,51	
	P-88	296		2,22	1,11			2,12	1,06	
J-54	P-46	491		3,68	1,84	5,50		3,52	1,76	5,24
	P-73	700		5,25	2,63			5,01	2,51	
	P-95	274		2,06	1,03			1,96	0,98	
J-55	P-46	491		3,68	1,84	3,10		3,52	1,76	2,96
	P-47	81		0,61	0,30			0,58	0,29	
	P-51	255		1,91	0,96			1,83	0,91	
J-56	P-47	81		0,61	0,30	1,77		0,58	0,29	1,69
	P-48	81		0,61	0,30			0,58	0,29	
	P-52	311		2,33	1,17			2,23	1,11	

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 16^h à 18^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	16 ^h —17 ^h				17 ^h —18 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-57	P-48	81	0,007503	0,61	0,30	1,89	0,007160	0,58	0,29	1,80
	P-49	171		1,28	0,64			1,22	0,61	
	P-53	252		1,89	0,95			1,80	0,90	
J-58	P-49	171		1,28	0,64	2,68		1,22	0,61	2,56
	P-50	287		2,15	1,08			2,05	1,03	
	P-61	257		1,93	0,96			1,84	0,92	
J-59	P-51	255		1,91	0,96	2,12		1,83	0,91	2,03
	P-52	311		2,33	1,17			2,23	1,11	
J-60	P-54	271		2,03	1,02	4,37		1,94	0,97	4,17
	P-55	165		1,24	0,62			1,18	0,59	
	P-60	730		5,48	2,74			5,23	2,61	
J-61	P-55	165		1,24	0,62	2,91		1,18	0,59	2,78
	P-70	302		2,27	1,13			2,16	1,08	
	P-71	215		1,61	0,81			1,54	0,77	
	P-72	95		0,71	0,36			0,68	0,34	
J-62	P-71	215		1,61	0,81	0,81		1,54	0,77	0,77
J-63	P-56	324		2,43	1,22	2,61		2,32	1,16	2,49
	P-57	276		2,07	1,04			1,98	0,99	
	P-72	95		0,71	0,36			0,68	0,34	
J-64	P-70	302		2,27	1,13	1,13		2,16	1,08	1,08
J-66	P-74	126		0,95	0,47	1,58		0,90	0,45	1,51
	P-88	296		2,22	1,11			2,12	1,06	
J-67	P-74	126		0,95	0,47	1,92		0,90	0,45	1,83
	P-58	84		0,63	0,32			0,60	0,30	
	P-89	302		2,27	1,13			2,16	1,08	
J-68	P-62	0		0,00	0,00	0,80		0,00	0,00	0,77
	P-63	151		1,13	0,57			1,08	0,54	
	P-64	63		0,47	0,24			0,45	0,23	
J-69	P-63	151		1,13	0,57	0,57		1,08	0,54	0,54
J-70	P-66	0		0,00	0,00	5,96		0,00	0,00	5,69
	P-67	709	5,32	2,66	5,08		2,54			
	P-79	880	6,60	3,30	6,30		3,15			
J-71	P-67	709	5,32	2,66	2,66	5,08	2,54	2,54		
J-72	P-68	143	1,07	0,54	0,54	1,02	0,51	0,51		
J-73	P-79	880	6,60	3,30	3,30	6,30	3,15	3,15		
J-74	P-93	925	6,94	3,47	3,47	6,62	3,31	3,31		
J-75	P-94	334	2,51	1,25	1,25	2,39	1,20	1,20		
J-76	P-96	522	3,92	1,96	1,96	3,74	1,87	1,87		
J-77	P-100	310	2,33	1,16	1,65	2,22	1,11	1,58		
	P-101	66	0,50	0,25		0,47	0,24			
	P-102	65	0,49	0,24		0,47	0,23			
J-78	P-101	66	0,50	0,25	0,25	0,47	0,24	0,24		
J-79	P-102	65	0,49	0,24	0,24	0,47	0,23	0,23		
J-80	P-57	276	2,07	1,04	1,04	1,98	0,99	0,99		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 18^h à 20^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	18 ^h –19 ^h				19 ^h –20 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-2	P-77	497	0,007707	3,83	1,92	3,88	0,007707	3,83	1,92	3,88
	P-82	255		1,97	0,98			1,97	0,98	
J-3	P-1	377		2,91	1,45	5,01		2,91	1,45	5,01
	P-2	427		3,29	1,65			3,29	1,65	
	P-77	497		3,83	1,92			3,83	1,92	
J-4	P-1	377		2,91	1,45	1,45		2,91	1,45	1,45
J-5	P-2	427		3,29	1,65	4,23		3,29	1,65	4,23
	P-3	227		1,75	0,87			1,75	0,87	
	P-80	222		1,71	0,86			1,71	0,86	
J-6	P-3	227		1,75	0,87	2,33		1,75	0,87	2,33
	P-4	67		0,52	0,26			0,52	0,26	
	P-100	310		2,39	1,19			2,39	1,19	
J-7	P-4	67		0,52	0,26	0,94		0,52	0,26	0,94
	P-5	120		0,92	0,46			0,92	0,46	
	P-6	57		0,44	0,22			0,44	0,22	
J-8	P-5	120		0,92	0,46	0,46		0,92	0,46	0,46
J-9	P-6	57		0,44	0,22	1,04		0,44	0,22	1,04
	P-7	139		1,07	0,54			1,07	0,54	
	P-8	73		0,56	0,28			0,56	0,28	
J-10	P-7	139		1,07	0,54	0,54		1,07	0,54	0,54
J-11	P-8	73	0,56	0,28	1,04	0,56	0,28	1,04		
	P-9	196	1,51	0,76		1,51	0,76			
J-13	P-11	258	1,99	0,99	0,99	1,99	0,99	0,99		
	P-10	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-14	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-14	P-11	258	1,99	0,99	5,30	1,99	0,99	5,30		
	P-12	205	1,58	0,79		1,58	0,79			
	P-13	912	7,03	3,51		7,03	3,51			
J-15	P-12	205	1,58	0,79	4,57	1,58	0,79	4,57		
	P-16	55	0,42	0,21		0,42	0,21			
	P-93	925	7,13	3,56		7,13	3,56			
J-16	P-13	912	7,03	3,51	3,51	7,03	3,51	3,51		
J-17	P-14	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-15	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-62	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-18	P-64	63	0,49	0,24	0,79	0,49	0,24	0,79		
	P-66	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-68	143	1,10	0,55		1,10	0,55			
J-19	P-16	55	0,42	0,21	1,87	0,42	0,21	1,87		
	P-84	250	1,93	0,96		1,93	0,96			
	P-85	180	1,39	0,69		1,39	0,69			
J-20	P-17	131	1,01	0,50	2,61	1,01	0,50	2,61		
	P-18	157	1,21	0,60		1,21	0,60			
	P-83	209	1,61	0,81		1,61	0,81			
	P-85	180	1,39	0,69		1,39	0,69			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 18^h à 20^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	18 ^h –19 ^h				19 ^h –20 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-21	P-20	125	0,007707	0,96	0,48	2,25	0,007707	0,96	0,48	2,25
	P-84	250		1,93	0,96			1,93	0,96	
	P-83	209		1,61	0,81			1,61	0,81	
J-22	P-18	157		1,21	0,60	2,37		1,21	0,60	2,37
	P-87	198		1,53	0,76			1,53	0,76	
	P-98	261		2,01	1,01			2,01	1,01	
J-23	P-59	323		2,49	1,24	2,74		2,49	1,24	2,74
	P-87	198		1,53	0,76			1,53	0,76	
	P-99	189		1,46	0,73			1,46	0,73	
J-24	P-17	131		1,01	0,50	2,22		1,01	0,50	2,22
	P-19	229		1,76	0,88			1,76	0,88	
	P-24	215		1,66	0,83			1,66	0,83	
J-25	P-19	229		1,76	0,88	1,71		1,76	0,88	1,71
	P-21	104		0,80	0,40			0,80	0,40	
	P-25	111		0,86	0,43			0,86	0,43	
J-26	P-20	125		0,96	0,48	1,36		0,96	0,48	1,36
	P-25	111		0,86	0,43			0,86	0,43	
	P-78	116		0,89	0,45			0,89	0,45	
J-27	P-21	104		0,80	0,40	2,70		0,80	0,40	2,70
	P-22	68		0,52	0,26			0,52	0,26	
	P-23	195		1,50	0,75			1,50	0,75	
	P-94	334		2,57	1,29			2,57	1,29	
J-28	P-22	68		0,52	0,26	0,71		0,52	0,26	0,71
	P-78	116		0,89	0,45			0,89	0,45	
J-29	P-23	195		1,50	0,75	0,75		1,50	0,75	0,75
J-30	P-58	84		0,65	0,32	2,28		0,65	0,32	2,28
	P-86	318		2,45	1,23			2,45	1,23	
	P-99	189		1,46	0,73			1,46	0,73	
J-31	P-86	318		2,45	1,23	3,09		2,45	1,23	3,09
	P-97	224		1,73	0,86			1,73	0,86	
	P-98	261		2,01	1,01			2,01	1,01	
J-32	P-24	215		1,66	0,83	4,13		1,66	0,83	4,13
	P-27	430		3,31	1,66			3,31	1,66	
	P-26	203	1,56	0,78	1,56		0,78			
	P-97	224	1,73	0,86	1,73		0,86			
J-33	P-26	203	1,56	0,78	0,78	1,56	0,78	0,78		
J-34	P-27	430	3,31	1,66	1,66	3,31	1,66	1,66		
J-35	P-28	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-76	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-36	P-28	0	0,00	0,00	5,70	0,00	0,00	5,70		
	P-29	750	5,78	2,89		5,78	2,89			
	P-60	730	5,63	2,81		5,63	2,81			
J-37	P-29	750	5,78	2,89	6,12	5,78	2,89	6,12		
	P-31	217	1,67	0,84		1,67	0,84			
	P-92	621	4,79	2,39		4,79	2,39			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 18^h à 20^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	18 ^h –19 ^h				19 ^h –20 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-38	P-30	263	0,007707	2,03	1,01	5,93	0,007707	2,03	1,01	5,93
	P-36	252		1,94	0,97			1,94	0,97	
	P-37	403		3,11	1,55			3,11	1,55	
	P-92	621		4,79	2,39			4,79	2,39	
J-39	P-30	263		2,03	1,01	5,61		2,03	1,01	5,61
	P-39	400		3,08	1,54			3,08	1,54	
	P-54	271		2,09	1,04			2,09	1,04	
	P-96	522		4,02	2,01			4,02	2,01	
J-40	P-31	217		1,67	0,84	7,07		1,67	0,84	7,07
	P-32	860		6,63	3,31			6,63	3,31	
	P-33	528		4,07	2,03			4,07	2,03	
	P-65	230		1,77	0,89			1,77	0,89	
J-41	P-32	860		6,63	3,31	3,31		6,63	3,31	3,31
J-42	P-33	528		4,07	2,03	5,78		4,07	2,03	5,78
	P-34	336		2,59	1,29			2,59	1,29	
	P-36	252		1,94	0,97			1,94	0,97	
	P-69	383		2,95	1,48			2,95	1,48	
J-43	P-38	205		1,58	0,79	3,26		1,58	0,79	3,26
	P-61	257		1,98	0,99			1,98	0,99	
	P-69	383		2,95	1,48			2,95	1,48	
J-44	P-34	336		2,59	1,29	4,88		2,59	1,29	4,88
	P-41	498		3,84	1,92			3,84	1,92	
	P-90	432		3,33	1,66			3,33	1,66	
J-45	P-90	432		3,33	1,66	4,05		3,33	1,66	4,05
	P-44	498		3,84	1,92			3,84	1,92	
	P-35	120		0,92	0,46			0,92	0,46	
J-46	P-35	120		0,92	0,46	2,62		0,92	0,46	2,62
	P-50	287		2,21	1,11			2,21	1,11	
	P-95	274		2,11	1,06			2,11	1,06	
J-47	P-40	271		2,09	1,04	4,45		2,09	1,04	4,45
	P-37	403		3,11	1,55			3,11	1,55	
	P-91	480		3,70	1,85			3,70	1,85	
J-48	P-38	205		1,58	0,79	3,61		1,58	0,79	3,61
	P-53	252		1,94	0,97			1,94	0,97	
	P-91	480		3,70	1,85			3,70	1,85	
J-49	P-39	400		3,08	1,54	3,83		3,08	1,54	3,83
	P-40	271		2,09	1,04			2,09	1,04	
	P-56	324		2,50	1,25			2,50	1,25	
J-50	P-41	498		3,84	1,92	4,61		3,84	1,92	4,61
	P-42	145		1,12	0,56			1,12	0,56	
	P-59	323		2,49	1,24			2,49	1,24	
	P-65	230		1,77	0,89			1,77	0,89	
J-51	P-42	145		1,12	0,56	1,98		1,12	0,56	1,98
	P-43	67		0,52	0,26			0,52	0,26	
	P-89	302		2,33	1,16			2,33	1,16	

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 18^h à 20^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	18 ^h –19 ^h				19 ^h –20 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-52	P-43	67	0,007707	0,52	0,26	2,59	0,007707	0,52	0,26	2,59
	P-44	498		3,84	1,92			3,84	1,92	
	P-45	108		0,83	0,42			0,83	0,42	
J-53	P-45	108		0,83	0,42	4,25		0,83	0,42	4,25
	P-73	700		5,39	2,70			5,39	2,70	
	P-88	296		2,28	1,14			2,28	1,14	
J-54	P-46	491		3,78	1,89	5,65		3,78	1,89	5,65
	P-73	700		5,39	2,70			5,39	2,70	
	P-95	274		2,11	1,06			2,11	1,06	
J-55	P-46	491		3,78	1,89	3,19		3,78	1,89	3,19
	P-47	81		0,62	0,31			0,62	0,31	
	P-51	255		1,97	0,98			1,97	0,98	
J-56	P-47	81		0,62	0,31	1,82		0,62	0,31	1,82
	P-48	81		0,62	0,31			0,62	0,31	
	P-52	311		2,40	1,20			2,40	1,20	
J-57	P-48	81		0,62	0,31	1,94		0,62	0,31	1,94
	P-49	171		1,32	0,66			1,32	0,66	
	P-53	252		1,94	0,97			1,94	0,97	
J-58	P-49	171		1,32	0,66	2,76		1,32	0,66	2,76
	P-50	287		2,21	1,11			2,21	1,11	
	P-61	257		1,98	0,99			1,98	0,99	
J-59	P-51	255		1,97	0,98	2,18		1,97	0,98	2,18
	P-52	311		2,40	1,20			2,40	1,20	
J-60	P-54	271		2,09	1,04	4,49		2,09	1,04	4,49
	P-55	165		1,27	0,64			1,27	0,64	
	P-60	730		5,63	2,81			5,63	2,81	
J-61	P-55	165		1,27	0,64	2,99		1,27	0,64	2,99
	P-70	302		2,33	1,16			2,33	1,16	
	P-71	215		1,66	0,83			1,66	0,83	
	P-72	95		0,73	0,37			0,73	0,37	
J-62	P-71	215	1,66	0,83	0,83	1,66	0,83	0,83		
J-63	P-56	324	2,50	1,25	2,68	2,50	1,25	2,68		
	P-57	276	2,13	1,06		2,13	1,06			
	P-72	95	0,73	0,37		0,73	0,37			
J-64	P-70	302	2,33	1,16	1,16	2,33	1,16	1,16		
J-66	P-74	126	0,97	0,49	1,63	0,97	0,49	1,63		
	P-88	296	2,28	1,14		2,28	1,14			
J-67	P-74	126	0,97	0,49	1,97	0,97	0,49	1,97		
	P-58	84	0,65	0,32		0,65	0,32			
	P-89	302	2,33	1,16		2,33	1,16			
J-68	P-62	0	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	0,82		
	P-63	151	1,16	0,58		1,16	0,58			
	P-64	63	0,49	0,24		0,49	0,24			
J-69	P-63	151	1,16	0,58	0,58	1,16	0,58	0,58		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 18^h à 20^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	18 ^h –19 ^h				19 ^h –20 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-70	P-66	0	0,007707	0,00	0,00	6,12	0,007707	0,00	0,00	6,12
	P-67	709		5,46	2,73			5,46	2,73	
	P-79	880		6,78	3,39			6,78	3,39	
J-71	P-67	709		5,46	2,73	2,73		5,46	2,73	2,73
J-72	P-68	143		1,10	0,55	0,55		1,10	0,55	0,55
J-73	P-79	880		6,78	3,39	3,39		6,78	3,39	3,39
J-74	P-93	925		7,13	3,56	3,56		7,13	3,56	3,56
J-75	P-94	334		2,57	1,29	1,29		2,57	1,29	1,29
J-76	P-96	522		4,02	2,01	2,01		4,02	2,01	2,01
J-77	P-100	310		2,39	1,19	1,70		2,39	1,19	1,70
	P-101	66	0,51	0,25	0,51		0,25			
	P-102	65	0,50	0,25	0,50		0,25			
J-78	P-101	66	0,51	0,25	0,25	0,51	0,25	0,25		
J-79	P-102	65	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25		
J-80	P-57	276	2,13	1,06	1,06	2,13	1,06	1,06		

Annexe -II- Débits nodaux de 20^h à 22^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	20 ^h –21 ^h				21 ^h –22 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-2	P-77	497	0,007707	3,83	1,92	3,88	0,007878	3,92	1,96	3,97
	P-82	255		1,97	0,98			2,01	1,00	
J-3	P-1	377		2,91	1,45	5,01		2,97	1,48	5,12
	P-2	427		3,29	1,65			3,36	1,68	
	P-77	497		3,83	1,92			3,92	1,96	
J-4	P-1	377		2,91	1,45	1,45		2,97	1,48	1,48
J-5	P-2	427		3,29	1,65	4,23		3,36	1,68	4,32
	P-3	227		1,75	0,87			1,79	0,89	
	P-80	222		1,71	0,86			1,75	0,87	
J-6	P-3	227		1,75	0,87	2,33		1,79	0,89	2,38
	P-4	67		0,52	0,26			0,53	0,26	
	P-100	310		2,39	1,19			2,44	1,22	
J-7	P-4	67		0,52	0,26	0,94		0,53	0,26	0,96
	P-5	120		0,92	0,46			0,95	0,47	
	P-6	57		0,44	0,22			0,45	0,22	
J-8	P-5	120		0,92	0,46	0,46		0,95	0,47	0,47
J-9	P-6	57	0,44	0,22	1,04	0,45	0,22	1,06		
	P-7	139	1,07	0,54		1,10	0,55			
	P-8	73	0,56	0,28		0,58	0,29			
J-10	P-7	139	1,07	0,54	0,54	1,10	0,55	0,55		
J-11	P-8	73	0,56	0,28	1,04	0,58	0,29	1,06		
	P-9	196	1,51	0,76		1,54	0,77			
J-13	P-11	258	1,99	0,99	0,99	2,03	1,02	1,02		
	P-10	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-14	0	0,00	0,00		0,00	0,00			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 20^h à 22^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	20 ^h –21 ^h				21 ^h –22 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-13	P-11	258	0,007707	1,99	0,99	0,99	0,007878	2,03	1,02	1,02
	P-10	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-14	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-14	P-11	258		1,99	0,99	5,30		2,03	1,02	5,42
	P-12	205		1,58	0,79			1,61	0,81	
	P-13	912		7,03	3,51			7,18	3,59	
J-15	P-12	205		1,58	0,79	4,57		1,61	0,81	4,67
	P-16	55		0,42	0,21			0,43	0,22	
	P-93	925		7,13	3,56			7,29	3,64	
J-16	P-13	912		7,03	3,51	3,51		7,18	3,59	3,59
J-17	P-14	0		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-15	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-62	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-18	P-64	63		0,49	0,24	0,79		0,50	0,25	0,81
	P-66	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
	P-68	143		1,10	0,55			1,13	0,56	
J-19	P-16	55		0,42	0,21	1,87		0,43	0,22	1,91
	P-84	250		1,93	0,96			1,97	0,98	
	P-85	180		1,39	0,69			1,42	0,71	
J-20	P-17	131		1,01	0,50	2,61		1,03	0,52	2,67
	P-18	157		1,21	0,60			1,24	0,62	
	P-83	209		1,61	0,81			1,65	0,82	
	P-85	180		1,39	0,69			1,42	0,71	
J-21	P-20	125		0,96	0,48	2,25		0,98	0,49	2,30
	P-84	250		1,93	0,96			1,97	0,98	
	P-83	209		1,61	0,81			1,65	0,82	
J-22	P-18	157		1,21	0,60	2,37		1,24	0,62	2,43
	P-87	198	1,53	0,76	1,56		0,78			
	P-98	261	2,01	1,01	2,06		1,03			
J-23	P-59	323	2,49	1,24	2,74	2,54	1,27	2,80		
	P-87	198	1,53	0,76		1,56	0,78			
	P-99	189	1,46	0,73		1,49	0,74			
J-24	P-17	131	1,01	0,50	2,22	1,03	0,52	2,26		
	P-19	229	1,76	0,88		1,80	0,90			
	P-24	215	1,66	0,83		1,69	0,85			
J-25	P-19	229	1,76	0,88	1,71	1,80	0,90	1,75		
	P-21	104	0,80	0,40		0,82	0,41			
	P-25	111	0,86	0,43		0,87	0,44			
J-26	P-20	125	0,96	0,48	1,36	0,98	0,49	1,39		
	P-25	111	0,86	0,43		0,87	0,44			
	P-78	116	0,89	0,45		0,91	0,46			
J-27	P-21	104	0,80	0,40	2,70	0,82	0,41	2,76		
	P-22	68	0,52	0,26		0,54	0,27			
	P-23	195	1,50	0,75		1,54	0,77			
	P-94	334	2,57	1,29		2,63	1,32			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 20^h à 22^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	20 ^h –21 ^h				21 ^h –22 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-28	P-22	68	0,007707	0,52	0,26	0,71	0,007878	0,54	0,27	0,72
	P-78	116		0,89	0,45			0,91	0,46	
J-29	P-23	195		1,50	0,75	0,75		1,54	0,77	0,77
J-30	P-58	84		0,65	0,32	2,28		0,66	0,33	2,33
	P-86	318		2,45	1,23			2,51	1,25	
	P-99	189		1,46	0,73			1,49	0,74	
J-31	P-86	318		2,45	1,23	3,09		2,51	1,25	3,16
	P-97	224		1,73	0,86			1,76	0,88	
	P-98	261		2,01	1,01			2,06	1,03	
J-32	P-24	215		1,66	0,83	4,13		1,69	0,85	4,22
	P-27	430		3,31	1,66			3,39	1,69	
	P-26	203		1,56	0,78			1,60	0,80	
	P-97	224		1,73	0,86			1,76	0,88	
J-33	P-26	203		1,56	0,78	0,78		1,60	0,80	0,80
J-34	P-27	430		3,31	1,66	1,66		3,39	1,69	1,69
J-35	P-28	0		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	P-76	0		0,00	0,00			0,00	0,00	
J-36	P-28	0		0,00	0,00	5,70		0,00	0,00	5,83
	P-29	750		5,78	2,89			5,91	2,95	
	P-60	730		5,63	2,81			5,75	2,88	
J-37	P-29	750		5,78	2,89	6,12		5,91	2,95	6,26
	P-31	217		1,67	0,84			1,71	0,85	
	P-92	621		4,79	2,39			4,89	2,45	
J-38	P-30	263		2,03	1,01	5,93		2,07	1,04	6,06
	P-36	252		1,94	0,97			1,99	0,99	
	P-37	403		3,11	1,55			3,17	1,59	
	P-92	621		4,79	2,39			4,89	2,45	
J-39	P-30	263		2,03	1,01	5,61		2,07	1,04	5,74
	P-39	400		3,08	1,54			3,15	1,58	
	P-54	271		2,09	1,04			2,13	1,07	
	P-96	522		4,02	2,01			4,11	2,06	
J-40	P-31	217		1,67	0,84	7,07		1,71	0,85	7,23
	P-32	860		6,63	3,31			6,77	3,39	
	P-33	528		4,07	2,03			4,16	2,08	
	P-65	230		1,77	0,89			1,81	0,91	
J-41	P-32	860		6,63	3,31	3,31		6,77	3,39	3,39
J-42	P-33	528		4,07	2,03	5,78		4,16	2,08	5,90
	P-34	336		2,59	1,29			2,65	1,32	
	P-36	252		1,94	0,97			1,99	0,99	
	P-69	383		2,95	1,48			3,02	1,51	
J-43	P-38	205		1,58	0,79	3,26		1,61	0,81	3,33
	P-61	257		1,98	0,99			2,02	1,01	
	P-69	383		2,95	1,48			3,02	1,51	
J-44	P-34	336		2,59	1,29	4,88		2,65	1,32	4,99
	P-41	498	3,84	1,92	3,92		1,96			
	P-90	432	3,33	1,66	3,40		1,70			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 20^h à 22^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	20 ^h –21 ^h				21 ^h –22 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-45	P-90	432	0,007707	3,33	1,66	4,05	0,007878	3,40	1,70	4,14
	P-44	498		3,84	1,92			3,92	1,96	
	P-35	120		0,92	0,46			0,95	0,47	
J-46	P-35	120		0,92	0,46	2,62		0,95	0,47	2,68
	P-50	287		2,21	1,11			2,26	1,13	
	P-95	274		2,11	1,06			2,16	1,08	
J-47	P-40	271		2,09	1,04	4,45		2,13	1,07	4,55
	P-37	403		3,11	1,55			3,17	1,59	
	P-91	480		3,70	1,85			3,78	1,89	
J-48	P-38	205		1,58	0,79	3,61		1,61	0,81	3,69
	P-53	252		1,94	0,97			1,99	0,99	
	P-91	480		3,70	1,85			3,78	1,89	
J-49	P-39	400		3,08	1,54	3,83		3,15	1,58	3,92
	P-40	271		2,09	1,04			2,13	1,07	
	P-56	324		2,50	1,25			2,55	1,28	
J-50	P-41	498		3,84	1,92	4,61		3,92	1,96	4,71
	P-42	145		1,12	0,56			1,14	0,57	
	P-59	323		2,49	1,24			2,54	1,27	
	P-65	230		1,77	0,89			1,81	0,91	
J-51	P-42	145		1,12	0,56	1,98		1,14	0,57	2,02
	P-43	67		0,52	0,26			0,53	0,26	
	P-89	302		2,33	1,16			2,38	1,19	
J-52	P-43	67		0,52	0,26	2,59		0,53	0,26	2,65
	P-44	498		3,84	1,92			3,92	1,96	
	P-45	108		0,83	0,42			0,85	0,43	
J-53	P-45	108		0,83	0,42	4,25		0,85	0,43	4,35
	P-73	700		5,39	2,70			5,51	2,76	
	P-88	296		2,28	1,14			2,33	1,17	
J-54	P-46	491	3,78	1,89	5,65	3,87	1,93	5,77		
	P-73	700	5,39	2,70		5,51	2,76			
	P-95	274	2,11	1,06		2,16	1,08			
J-55	P-46	491	3,78	1,89	3,19	3,87	1,93	3,26		
	P-47	81	0,62	0,31		0,64	0,32			
	P-51	255	1,97	0,98		2,01	1,00			
J-56	P-47	81	0,62	0,31	1,82	0,64	0,32	1,86		
	P-48	81	0,62	0,31		0,64	0,32			
	P-52	311	2,40	1,20		2,45	1,23			
J-57	P-48	81	0,62	0,31	1,94	0,64	0,32	1,99		
	P-49	171	1,32	0,66		1,35	0,67			
	P-53	252	1,94	0,97		1,99	0,99			
J-58	P-49	171	1,32	0,66	2,76	1,35	0,67	2,82		
	P-50	287	2,21	1,11		2,26	1,13			
	P-61	257	1,98	0,99		2,02	1,01			
J-59	P-51	255	1,97	0,98	2,18	2,01	1,00	2,23		
	P-52	311	2,40	1,20		2,45	1,23			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 20^h à 22^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	20 ^h –21 ^h				21 ^h –22 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-60	P-54	271	0,007707	2,09	1,04	4,49	0,007878	2,13	1,07	4,59
	P-55	165		1,27	0,64			1,30	0,65	
	P-60	730		5,63	2,81			5,75	2,88	
J-61	P-55	165		1,27	0,64	2,99		1,30	0,65	3,06
	P-70	302		2,33	1,16			2,38	1,19	
	P-71	215		1,66	0,83			1,69	0,85	
	P-72	95		0,73	0,37			0,75	0,37	
J-62	P-71	215		1,66	0,83	0,83		1,69	0,85	0,85
J-63	P-56	324		2,50	1,25	2,68		2,55	1,28	2,74
	P-57	276		2,13	1,06			2,17	1,09	
	P-72	95		0,73	0,37			0,75	0,37	
J-64	P-70	302		2,33	1,16	1,16		2,38	1,19	1,19
J-66	P-74	126		0,97	0,49	1,63		0,99	0,50	1,66
	P-88	296		2,28	1,14			2,33	1,17	
J-67	P-74	126		0,97	0,49	1,97		0,99	0,50	2,02
	P-58	84		0,65	0,32			0,66	0,33	
	P-89	302		2,33	1,16			2,38	1,19	
J-68	P-62	0		0,00	0,00	0,82		0,00	0,00	0,84
	P-63	151		1,16	0,58			1,19	0,59	
	P-64	63		0,49	0,24			0,50	0,25	
J-69	P-63	151		1,16	0,58	0,58		1,19	0,59	0,59
J-70	P-66	0		0,00	0,00	6,12		0,00	0,00	6,26
	P-67	709		5,46	2,73			5,59	2,79	
	P-79	880		6,78	3,39			6,93	3,47	
J-71	P-67	709		5,46	2,73	2,73		5,59	2,79	2,79
J-72	P-68	143		1,10	0,55	0,55		1,13	0,56	0,56
J-73	P-79	880		6,78	3,39	3,39		6,93	3,47	3,47
J-74	P-93	925		7,13	3,56	3,56		7,29	3,64	3,64
J-75	P-94	334		2,57	1,29	1,29		2,63	1,32	1,32
J-76	P-96	522		4,02	2,01	2,01		4,11	2,06	2,06
J-77	P-100	310	2,39	1,19	1,70	2,44	1,22	1,74		
	P-101	66	0,51	0,25		0,52	0,26			
	P-102	65	0,50	0,25		0,51	0,26			
J-78	P-101	66	0,51	0,25	0,25	0,52	0,26	0,26		
J-79	P-102	65	0,50	0,25	0,25	0,51	0,26	0,26		
J-80	P-57	276	2,13	1,06	1,06	2,17	1,09	1,09		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 22^h à 24^h :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	22 ^h –23 ^h				23 ^h –24 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-2	P-77	497	0,007878	3,92	1,96	3,97	0,005652	2,81	1,40	2,85
	P-82	255		2,01	1,00			1,44	0,72	
J-3	P-1	377		2,97	1,48	5,12		2,13	1,07	3,68
	P-2	427		3,36	1,68			2,41	1,21	
	P-77	497		3,92	1,96			2,81	1,40	
J-4	P-1	377		2,97	1,48	1,48		2,13	1,07	1,07
J-5	P-2	427		3,36	1,68	4,32		2,41	1,21	3,10
	P-3	227		1,79	0,89			1,28	0,64	
	P-80	222		1,75	0,87			1,25	0,63	
J-6	P-3	227		1,79	0,89	2,38		1,28	0,64	1,71
	P-4	67		0,53	0,26			0,38	0,19	
	P-100	310		2,44	1,22			1,75	0,88	
J-7	P-4	67		0,53	0,26	0,96		0,38	0,19	0,69
	P-5	120		0,95	0,47			0,68	0,34	
	P-6	57		0,45	0,22			0,32	0,16	
J-8	P-5	120		0,95	0,47	0,47		0,68	0,34	0,34
J-9	P-6	57		0,45	0,22	1,06		0,32	0,16	0,76
	P-7	139		1,10	0,55			0,79	0,39	
	P-8	73		0,58	0,29			0,41	0,21	
J-10	P-7	139		1,10	0,55	0,55		0,79	0,39	0,39
J-11	P-8	73		0,58	0,29	1,06		0,41	0,21	0,76
	P-9	196		1,54	0,77			1,11	0,55	
J-13	P-11	258	2,03	1,02	1,02	1,46	0,73	0,73		
	P-10	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-14	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-14	P-11	258	2,03	1,02	5,42	1,46	0,73	3,89		
	P-12	205	1,61	0,81		1,16	0,58			
	P-13	912	7,18	3,59		5,15	2,58			
J-15	P-12	205	1,61	0,81	4,67	1,16	0,58	3,35		
	P-16	55	0,43	0,22		0,31	0,16			
	P-93	925	7,29	3,64		5,23	2,61			
J-16	P-13	912	7,18	3,59	3,59	5,15	2,58	2,58		
J-17	P-14	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-15	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-62	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-18	P-64	63	0,50	0,25	0,81	0,36	0,18	0,58		
	P-66	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
	P-68	143	1,13	0,56		0,81	0,40			
J-19	P-16	55	0,43	0,22	1,91	0,31	0,16	1,37		
	P-84	250	1,97	0,98		1,41	0,71			
	P-85	180	1,42	0,71		1,02	0,51			
J-20	P-17	131	1,03	0,52	2,67	0,74	0,37	1,91		
	P-18	157	1,24	0,62		0,89	0,44			
	P-83	209	1,65	0,82		1,18	0,59			
	P-85	180	1,42	0,71		1,02	0,51			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 22^h à 24^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	22 ^h – 23 ^h				23 ^h – 24 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-21	P-20	125	0,007878	0,98	0,49	2,30	0,005652	0,71	0,35	1,65
	P-84	250		1,97	0,98			1,41	0,71	
	P-83	209		1,65	0,82			1,18	0,59	
J-22	P-18	157		1,24	0,62	2,43		0,89	0,44	1,74
	P-87	198		1,56	0,78			1,12	0,56	
	P-98	261		2,06	1,03			1,48	0,74	
J-23	P-59	323		2,54	1,27	2,80		1,83	0,91	2,01
	P-87	198		1,56	0,78			1,12	0,56	
	P-99	189		1,49	0,74			1,07	0,53	
J-24	P-17	131		1,03	0,52	2,26		0,74	0,37	1,62
	P-19	229		1,80	0,90			1,29	0,65	
	P-24	215		1,69	0,85			1,22	0,61	
J-25	P-19	229		1,80	0,90	1,75		1,29	0,65	1,25
	P-21	104		0,82	0,41			0,59	0,29	
	P-25	111		0,87	0,44			0,63	0,31	
J-26	P-20	125		0,98	0,49	1,39		0,71	0,35	0,99
	P-25	111		0,87	0,44			0,63	0,31	
	P-78	116		0,91	0,46			0,66	0,33	
J-27	P-21	104		0,82	0,41	2,76		0,59	0,29	1,98
	P-22	68		0,54	0,27			0,38	0,19	
	P-23	195		1,54	0,77			1,10	0,55	
	P-94	334		2,63	1,32			1,89	0,94	
J-28	P-22	68		0,54	0,27	0,72		0,38	0,19	0,52
	P-78	116		0,91	0,46			0,66	0,33	
J-29	P-23	195		1,54	0,77	0,77		1,10	0,55	0,55
J-30	P-58	84		0,66	0,33	2,33		0,47	0,24	1,67
	P-86	318		2,51	1,25			1,80	0,90	
	P-99	189		1,49	0,74			1,07	0,53	
J-31	P-86	318		2,51	1,25	3,16		1,80	0,90	2,27
	P-97	224		1,76	0,88			1,27	0,63	
	P-98	261		2,06	1,03			1,48	0,74	
J-32	P-24	215		1,69	0,85	4,22		1,22	0,61	3,03
	P-27	430		3,39	1,69			2,43	1,22	
	P-26	203	1,60	0,80	1,15		0,57			
	P-97	224	1,76	0,88	1,27		0,63			
J-33	P-26	203	1,60	0,80	0,80	1,15	0,57	0,57		
J-34	P-27	430	3,39	1,69	1,69	2,43	1,22	1,22		
J-35	P-28	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	P-76	0	0,00	0,00		0,00	0,00			
J-36	P-28	0	0,00	0,00	5,83	0,00	0,00	4,18		
	P-29	750	5,91	2,95		4,24	2,12			
	P-60	730	5,75	2,88		4,13	2,06			
J-37	P-29	750	5,91	2,95	6,26	4,24	2,12	4,49		
	P-31	217	1,71	0,85		1,23	0,61			
	P-92	621	4,89	2,45		3,51	1,75			

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 22^h à 24^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	22 ^h -23 ^h				23--24			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-38	P-30	263	0,007878	2,07	1,04	6,06	0,005652	1,49	0,74	4,35
	P-36	252		1,99	0,99			1,42	0,71	
	P-37	403		3,17	1,59			2,28	1,14	
	P-92	621		4,89	2,45			3,51	1,75	
J-39	P-30	263	0,007878	2,07	1,04	5,74	0,005652	1,49	0,74	4,11
	P-39	400		3,15	1,58			2,26	1,13	
	P-54	271		2,13	1,07			1,53	0,77	
	P-96	522		4,11	2,06			2,95	1,48	
J-40	P-31	217	0,007878	1,71	0,85	7,23	0,005652	1,23	0,61	5,19
	P-32	860		6,77	3,39			4,86	2,43	
	P-33	528		4,16	2,08			2,98	1,49	
	P-65	230		1,81	0,91			1,30	0,65	
J-41	P-32	860	0,007878	6,77	3,39	3,39	0,005652	4,86	2,43	2,43
J-42	P-33	528	0,007878	4,16	2,08	5,90	0,005652	2,98	1,49	4,24
	P-34	336		2,65	1,32			1,90	0,95	
	P-36	252		1,99	0,99			1,42	0,71	
	P-69	383		3,02	1,51			2,16	1,08	
J-43	P-38	205	0,007878	1,61	0,81	3,33	0,005652	1,16	0,58	2,39
	P-61	257		2,02	1,01			1,45	0,73	
	P-69	383		3,02	1,51			2,16	1,08	
J-44	P-34	336	0,007878	2,65	1,32	4,99	0,005652	1,90	0,95	3,58
	P-41	498		3,92	1,96			2,81	1,41	
	P-90	432		3,40	1,70			2,44	1,22	
J-45	P-90	432	0,007878	3,40	1,70	4,14	0,005652	2,44	1,22	2,97
	P-44	498		3,92	1,96			2,81	1,41	
	P-35	120		0,95	0,47			0,68	0,34	
J-46	P-35	120	0,007878	0,95	0,47	2,68	0,005652	0,68	0,34	1,92
	P-50	287		2,26	1,13			1,62	0,81	
	P-95	274		2,16	1,08			1,55	0,77	
J-47	P-40	271	0,007878	2,13	1,07	4,55	0,005652	1,53	0,77	3,26
	P-37	403		3,17	1,59			2,28	1,14	
	P-91	480		3,78	1,89			2,71	1,36	
J-48	P-38	205	0,007878	1,61	0,81	3,69	0,005652	1,16	0,58	2,65
	P-53	252		1,99	0,99			1,42	0,71	
	P-91	480		3,78	1,89			2,71	1,36	
J-49	P-39	400	0,007878	3,15	1,58	3,92	0,005652	2,26	1,13	2,81
	P-40	271		2,13	1,07			1,53	0,77	
	P-56	324		2,55	1,28			1,83	0,92	
J-50	P-41	498	0,007878	3,92	1,96	4,71	0,005652	2,81	1,41	3,38
	P-42	145		1,14	0,57			0,82	0,41	
	P-59	323		2,54	1,27			1,83	0,91	
	P-65	230		1,81	0,91			1,30	0,65	
J-51	P-42	145	0,007878	1,14	0,57	2,02	0,005652	0,82	0,41	1,45
	P-43	67		0,53	0,26			0,38	0,19	
	P-89	302		2,38	1,19			1,71	0,85	

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 22^h à 24^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	22 ^h - 23 ^h				23 ^h - 24 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-52	P-43	67	0,007878	0,53	0,26	2,65	0,005652	0,38	0,19	1,90
	P-44	498		3,92	1,96			2,81	1,41	
	P-45	108		0,85	0,43			0,61	0,31	
J-53	P-45	108		0,85	0,43	4,35		0,61	0,31	3,12
	P-73	700		5,51	2,76			3,96	1,98	
	P-88	296		2,33	1,17			1,67	0,84	
J-54	P-46	491		3,87	1,93	5,77		2,77	1,39	4,14
	P-73	700		5,51	2,76			3,96	1,98	
	P-95	274		2,16	1,08			1,55	0,77	
J-55	P-46	491		3,87	1,93	3,26		2,77	1,39	2,34
	P-47	81		0,64	0,32			0,46	0,23	
	P-51	255		2,01	1,00			1,44	0,72	
J-56	P-47	81		0,64	0,32	1,86		0,46	0,23	1,34
	P-48	81		0,64	0,32			0,46	0,23	
	P-52	311		2,45	1,23			1,76	0,88	
J-57	P-48	81		0,64	0,32	1,99		0,46	0,23	1,42
	P-49	171		1,35	0,67			0,97	0,48	
	P-53	252		1,99	0,99			1,42	0,71	
J-58	P-49	171		1,35	0,67	2,82		0,97	0,48	2,02
	P-50	287		2,26	1,13			1,62	0,81	
	P-61	257		2,02	1,01			1,45	0,73	
J-59	P-51	255	2,01	1,00	2,23	1,44	0,72	1,60		
	P-52	311	2,45	1,23		1,76	0,88			
J-60	P-54	271	2,13	1,07	4,59	1,53	0,77	3,29		
	P-55	165	1,30	0,65		0,93	0,47			
	P-60	730	5,75	2,88		4,13	2,06			
J-61	P-55	165	1,30	0,65	3,06	0,93	0,47	2,20		
	P-70	302	2,38	1,19		1,71	0,85			
	P-71	215	1,69	0,85		1,22	0,61			
	P-72	95	0,75	0,37		0,54	0,27			
J-62	P-71	215	1,69	0,85	0,85	1,22	0,61	0,61		
J-63	P-56	324	2,55	1,28	2,74	1,83	0,92	1,96		
	P-57	276	2,17	1,09		1,56	0,78			
	P-72	95	0,75	0,37		0,54	0,27			
J-64	P-70	302	2,38	1,19	1,19	1,71	0,85	0,85		
J-66	P-74	126	0,99	0,50	1,66	0,71	0,36	1,19		
	P-88	296	2,33	1,17		1,67	0,84			
J-67	P-74	126	0,99	0,50	2,02	0,71	0,36	1,45		
	P-58	84	0,66	0,33		0,47	0,24			
	P-89	302	2,38	1,19		1,71	0,85			
J-68	P-62	0	0,00	0,00	0,84	0,00	0,00	0,60		
	P-63	151	1,19	0,59		0,85	0,43			
	P-64	63	0,50	0,25		0,36	0,18			
J-69	P-63	151	1,19	0,59	0,59	0,85	0,43	0,43		

Annexe

Annexe -II- Débits nodaux de 22^h à 24^h (suite) :

Nœud	Tronçon	Longueur (m)	22 ^h -23 ^h				22 ^h -23 ^h			
			Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)	Qsp (l/s/m)	Qr (l/s)	0.5*Qr	Qn(l/s)
J-70	P-66	0	0,007878	0,00	0,00	6,26	0,005652	0,00	0,00	4,49
	P-67	709		5,59	2,79			4,01	2,00	
	P-79	880		6,93	3,47			4,97	2,49	
J-71	P-67	709		5,59	2,79	2,79		4,01	2,00	2,00
J-72	P-68	143		1,13	0,56	0,56		0,81	0,40	0,40
J-73	P-79	880		6,93	3,47	3,47		4,97	2,49	2,49
J-74	P-93	925		7,29	3,64	3,64		5,23	2,61	2,61
J-75	P-94	334		2,63	1,32	1,32		1,89	0,94	0,94
J-76	P-96	522		4,11	2,06	2,06		2,95	1,48	1,48
J-77	P-100	310		2,44	1,22	1,74		1,75	0,88	1,25
	P-101	66		0,52	0,26			0,37	0,19	
	P-102	65		0,51	0,26			0,37	0,18	
J-78	P-101	66		0,52	0,26	0,26		0,37	0,19	0,19
J-79	P-102	65		0,51	0,26	0,26		0,37	0,18	0,18
J-80	P-57	276		2,17	1,09	1,09		1,56	0,78	0,78