

وزارة الجامعات
Ministère aux Universitaires

2ex

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE ET DIMENSIONNEMENT
DES RESEAUX D'EAU
PAR LA METHODE
NEWTON-RAPHSON MODIFIEE

Proposé par : MERABTENE Tarek Etudié par : SAÏDI Wahiba

Dirigé par : M^r MERABTENE T

PROMOTION JUIN 1991

وزارة الجامعات

Ministère aux Universitaires

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة - BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE ET DIMENSIONNEMENT
DES RESEAUX D'EAU
PAR LA METHODE
NEWTON-RAPHSON MODIFIEE

Proposé par : MERABTENE Tarek Etudié par : SAÏDI Wahiba

Dirigé par : M^r MERABTENE T.

PROMOTION JUIN 1991

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إلى من تركني وذهب ، إلى من حرج ولن يعود ، إلى
أعز إخوتي : نجم رحمه الله .
إلى رمز العطاء والمحبة ، إلى من شاطرنى آلامي وأتقابي ،
إليك أمي ... إليك أبي . إلى من وقف إلى جانبي وشجعني ،
إليك أختي ، إليك أخي ...
إلى من أرشدني وأعانني ، إلى من ساندني وقدم لي المساعدات
التقنية القيمة ، ، إليكما أخي طارق ، وأخي عبد الملك .
إلى من عاش أفراحي وأتراحي ، إلى عائلتي الثانية ،
إليكم جميعاً أبناء الهيدروليك '5' .
إلى كل من يؤمن بقوله تعالى :

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ

ويقدّر العمل في سبيل الله وهذا الوطن الحبيب ...

Dedicaces

à mon très cher frère disparu Hadjim,
à ma mère,
à mon père,
à tous ceux que j'aime dans ce monde
ou dans l'autre.

Je dedie ce modeste travail
avec tout mon amour ...

Remerciements,

En premier lieu, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Je remercie également;

Mon promoteur Monsieur MERABTENE Tarek qui, durant tout mon travail n'a pas cessé de m'aider, de me conseiller et de m'encourager; je lui reitere tous mes remerciements et toute ma reconnaissance.

Messieurs DECHEMI N., BERMAD A. et mademoiselle AREGRADJ D. pour leur aide efficace.

Messieurs les membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

NOTATION

Les unités employées dans les formules sont exprimées en unités
M.K.S.A.

Symbole	Signification	Unités
Z	altitude	m
H	charge	m
P	pression	N/m ²
q	consommation au noeud	m ³ /sec
ΔH	perte de charge	m
L	longueur	m
D	diamètre	m
K	rugosité	m
S	aire	m ²
V	vitesse	m/sec
Q	débit dans les tronçons	m ³ /sec
ν	viscosité cinématique	m ² /sec
ρ	masse volumique	Kg/m ³
g	accélération de la pesanteur	m/sec ²

SOMMAIRE



INTRODUCTION

CHAPITRE 1: POSITION DU PROBLEME.

1. Introduction.	1
2. Données de base.	2
2.1 Le tracé.	2
2.2 Type du matériau.	2
2.3 Estimation des diamètres.	3
3. Equation de l'écoulement en charge.	5
3.1 Equation de Bernoulli.	5
3.2 Equation de continuité.	6
3.3 Perte de charge.	6
3.4 Loi des mailles.	10
3.5 Loi des noeuds.	11
4. Contraintes imposées.	12
4.1 Contraintes sur les vitesses.	12
4.2 Contraintes sur les pressions.	12
5. Synthèse.	13

CHAPITRE 2: ETUDE THEORIQUE DES METHODES PRINCIPALES.

1. Introduction.	15
2. La méthode de Hardy Cross.	15
2.1 La méthode des mailles.	16
2.2 La méthode des noeuds.	19
2.3 Cas de plusieurs réservoirs.	21
2.4 Conclusion.	23
3. Méthode de linéarisation de l'équation des pertes de charge.	24
3.1 Principe de la méthode.	24
3.2 Conclusion.	27

4. Conclusion	27
CHAPITRE 3: METHODE DE NEWTON RAPHSON MODIFIEE.	
1. Introduction.	28
2. Caractéristiques des éléments d'un réseau.	29
2.1 Réservoirs.	29
2.2 Les conduites simples.	29
2.3 Les pompes.	32
2.4 Les clapets anti-retour.	34
2.5 Les réducteurs de pression.	35
3. Résolution du système d'équations non linéaire.	38
3.1 Ecriture des équations.	38
3.2 La méthode de Newton Raphson modifiée.	39
3.3 Amélioration de la méthode de Newton Raphson	41
4. Construction de la matrice Jacobienne.	44
4.1 Forme générale des dérivées.	44
4.2 Calcul des dérivées pour les différents éléments du réseau.s du réseau.	46
4.2.1 Conduites simples.	47
4.2.2 Les pompes.	49
4.2.3 Les clapets anti-retour.	50
4.2.4 Les réducteurs de pression.	51
4.3 Propriété de la matrice Jacobienne.	53
5. Présentation du programme.	54
5.1 Organigramme.	55
5.2 Description du programme principal.	60
5.3 Description des sous programmes.	61
Exemples et applications numériques.	63
interprétation des résultats.	

CONCLUSION GENERALE.

BIBLIOGRAPHIE.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le besoin de confort a été de plus en plus prononcé depuis la fin du 19^{ème} siècle, le maintien de l'hygiène et de la salubrité publique, les développements économiques et techniques ont amené les autorités compétentes à assurer la distribution de l'eau aux consommateurs en quantités et en qualités suffisantes.

Vu la taille élevée de certaines agglomérations et le nombre, sans cesse croissant de consommateurs, la conception ainsi que la mise en place de réseaux capables d'en assurer la distribution, ont rapidement posé des problèmes assez complexes à résoudre; D'où notre thème de recherche qui a trouvé sa source dans la perpétuelle question qui se pose autour de la satisfaction des besoins de la population en eau potable.

L'objectif de cette étude est donc d'élaborer un nouveau modèle de calcul de dimensionnement des réseaux de distribution permettant d'apporter des améliorations au domaine de l'alimentation en eau potable, au point de vue pratique et économique.

De notre recherche bibliographique sur le sujet, il ressort clairement que le dimensionnement des réseaux de distribution d'eau a fait l'objet de diverses études et que trois méthodes de résolutions sont principalement utilisées:

La méthode de Hardy Cross, la méthode de linéarisation de l'équation des pertes de charge et la méthode de Newton Raphson.

Pour remédier aux inconvénients d'utilisation de ces trois

méthodes, l'accent a été mis sur la modification de la méthode de Newton Raphson. Cependant, l'objet de cette thèse est la méthode de Newton Raphson modifiée pour laquelle on a élaboré un logiciel de calcul.

Pour mener à terme notre projet, on a subdivisé l'étude suivant les étapes ci-dessous.

Chapitre I : Position du problème dans lequel un exposé clair et précis des données et paramètres intervenant dans les équations de base et calcul hydraulique, car la solution d'un problème de réseau de conduites est obtenu en faisant une bonne hypothèse de départ.

Chapitre II : Etude des méthodes principales du calcul et du dimensionnement des réseaux de distribution d'eau.

Cette partie du projet présente une description et critique des différentes méthodes connues et déjà étudiées; Citons la méthode de Hardy Cross et la méthode de linéarisation de l'équation des pertes de charges.

Chapitre III : Méthode de Newton Raphson modifiée : objet principal de ce projet car en exposant la méthode de Newton Raphson originale pour calcul et dimensionnement d'un réseau de distribution, on s'est rendu compte que bien qu'elle soit meilleure que toutes autres méthodes, elle n'en est pas moins exempte de tout inconvénient, c'est pourquoi on a élaboré un logiciel de calcul moyennant quelques modifications dans la méthode originale.

Chapitre I

POSITION DU PROBLEME

1-INTRODUCTION:

Il est très important avant d'entamer le calcul hydraulique et la formulation mathématique du problème, de faire une étude préliminaire sur tout paramètre et donnée intervenant dans l'étude des réseaux de distribution. Par définition, l'ensemble de conduites et d'organes hydrauliques reliés à un ou plusieurs réservoirs d'alimentation, destiné à satisfaire les besoins en eau d'une région est appelé réseau de distribution.

Les caractéristiques des conduites et les débits consommés en chaque noeud sont supposés connus, alors que les charges aux noeuds et les débits dans les conduites sont à déterminer.

2- DONNEES DE BASE:

La conception d'un nouveau réseau ou l'extension d'un réseau existant nécessite une bonne étude concernant les données de base qui se résume en :

- un choix de tracé.
- l'estimation des diamètres.
- un choix du type du matériau.

2-1 Le tracé:

Le tracé et le profil en long sont généralement imposés par les considérations topographiques et les obstacles rencontrés, car il faut considérer le relief, l'aménagement du site, les réserves en eau et les consommations à satisfaire. Cependant, le choix du tracé d'un réseau de distribution reste limité ou même fixé.

2-2 Type du matériau:

Suivant les diamètres, les pressions acceptables et les conditions d'installation, on est amené à réaliser les conduites en charges avec des tuyaux de nature et de type différents.

Il existe plusieurs types de matériau constituant les canalisations:

- a- tuyau métallique.

On distingue:

-tuyau en fonte.

-tuyau en acier.

b- tuyau à base de ciment:

Ce type de matériau est utilisé pour les grands diamètres.

c- tuyau en matière plastique:

On distingue surtout les tuyaux en "PVC" qui sont les plus utilisés.

Enfin, le choix entre les principaux types de matériaux dépend surtout de la fonction prix et installation.

2-3 L'estimation des diamètres:

Le choix du diamètre d'une conduite résulte d'un compromis entre les dépenses d'investissement et les dépenses d'énergie.

En effet, en augmentant les diamètres, on augmente les dépenses, alors que le coût d'énergie nécessaire pour véhiculer l'eau diminue suite à la diminution de la perte de charge.

La formule adoptée pour l'expression des pertes de charge, constitue une relation entre les divers paramètres du problème et permet d'exprimer en fonction du diamètre le prix d'énergie, une telle fonction de prix permet d'estimer le diamètre optimal en annulant sa dérivée par rapport au diamètre.

Aussi, plusieurs formules ont été proposées dans ce contexte pour l'estimation des diamètres telle que:

-La formule de Bresse : [1]

$$D_m = 1,5 \sqrt{Q} \quad (I.1)$$

D_m : Diamètre économique (m)

Q : débit dans la conduite (m^3/sec).

Cette formule conduit à une vitesse trop faible: $U_m=0,566$
m/sec

-La formule de Bonnin [1]

$$D_m = \sqrt{Q} \quad (I.2)$$

Cette formule donne une vitesse :

$$V_m = 1,27 \text{ m/sec.}$$

qui est plus conforme aux conditions d'écoulement.

-La formule de Vibert (1948) [1]

$$D_m = A \left[\frac{e}{f} \right]^{0,154} \cdot Q^{0,46} \quad (I.3)$$

D_m : diamètre économique.

A : dépend du nombre d'heures de pompage.

e : prix d'énergie dépensée.

f : prix du Kilogramme de fonte.

Cette formule est la substitution d'une formule qui tient compte de l'utilisation journalière de la station de pompage à la

formule de Bresse. Elle permet de tenir compte plus complètement des différents paramètres économique d'investissement et de fonctionnement.

3- EQUATION DE L'ECOULEMENT EN CHARGE EN REGIME PERMANENT:

3-1 Equation de Bernoulli: [3]

Figure I.1

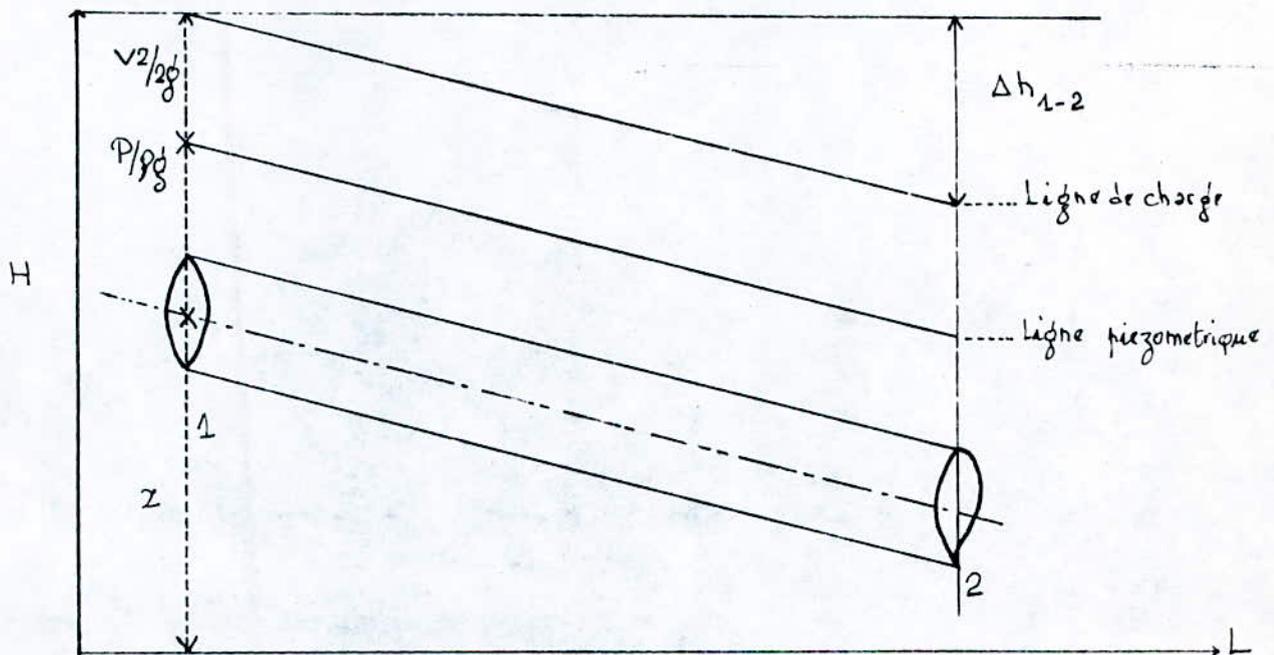


Figure (I-1)

L'équation de Bernoulli est un cas particulier du théorème de la conservation de l'énergie.

Appliquons l'équation de Bernoulli entre les sections 1-2.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2} \quad (I-4)$$

$$\text{Soit : } H_i = Z_i + \frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} .$$

$gZ_i, \frac{P_i}{\rho}, \frac{V_i^2}{2}$: Ce sont trois formes d'énergie hydraulique.

Les trois hauteurs représentatives sur la figure sont :

$$Z_i, \frac{P_i}{\rho g}, \frac{V_i^2}{2g}$$

Z_i : côte ou hauteur de position.

$\frac{V_i^2}{2g}$: hauteur dynamique.

$\frac{P_i}{\rho g}$: hauteur piézométrique.

H_i : charge totale du liquide.

H_i : donne la ligne de charge.

$Z_i + \frac{P_i}{\rho g}$: donne la ligne piézométrique.

3-2 Equation de continuité:

Dans une conduite quelconque, le débit circulant entre deux ou plusieurs sections:

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q = \text{constante} \Rightarrow V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 = \dots = V \cdot S = \text{constante} .$$

Pour une section constante:

$$V_1 = V_2$$

3-3 Perte de charge:

La détermination des pertes de charge est le problème

essentiel des calculs hydrauliques si on définit par:

Δh_{1-2} : la perte de charge entre deux sections 1-2.

$$\Delta h_{1-2} = \Delta H_L + \Delta H_s$$

ΔH_L : perte de charge linéaire

ΔH_s : perte de charge singulière

- Perte de charge linéaire

Formule de Darcy [3]

$$\Delta H_L = \frac{\lambda \cdot L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \quad (I.5)$$

λ : coefficient de perte de charge linéaire.

$$\lambda = f \left(Re, \frac{K}{D} \right).$$

avec ΔH : la perte de charge dans la conduite (m)

V : la vitesse de l'eau (m^2/sec)

L : la longueur (m)

D : le diamètre (m)

K : rugosité (m)

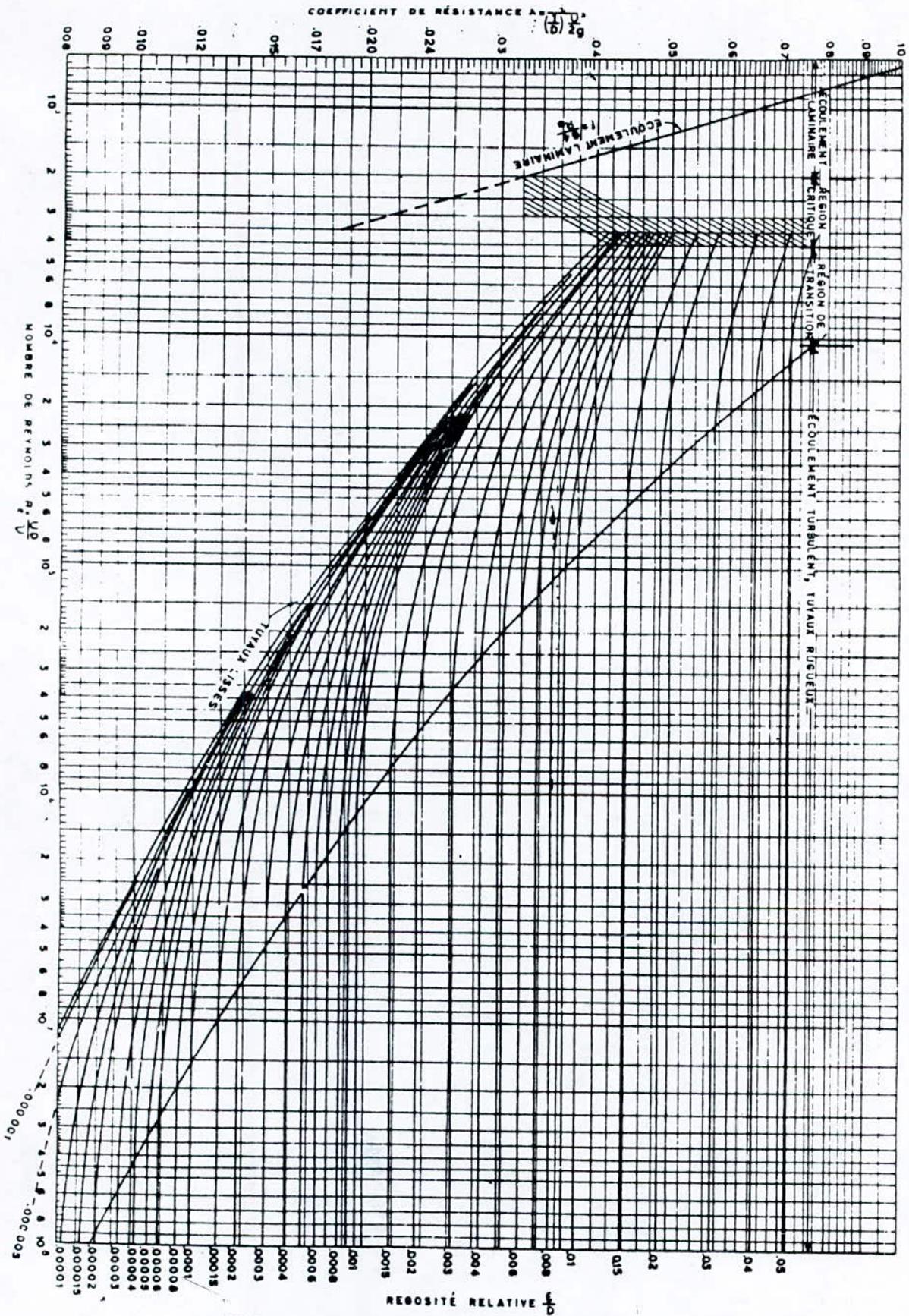
g : l'accélération de la pesanteur ($9,81 m/s^2$)

$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$ le nombre de Reynolds

où: ν : la viscosité cinématique de l'eau

$$[\nu] : m^2/sec.$$

Des recherches expérimentales ont conduit au diagramme de Moody (figure I.2) qui donne la variation de λ en fonction des rapports $\frac{K}{D}$ et $\frac{VD}{Re}$



- Diagramme de Moody -

On peut faire deux hypothèses :

1/ En saturation de turbulence (à droite de la courbe C), le nombre de Reynolds n'influence plus la fonction λ , Fig. I-2.

Cette fonction ne dépend plus que de la rugosité et du diamètre.

Dans ces conditions, la formule de Hazen Williams [11] donne la perte de charge:

$$\Delta H = 10,69 \frac{1}{C^{1,852}} \cdot L \cdot Q^{1,852} \cdot D^{-4,865} \quad (I.6)$$

Q : débit en m³/sec.

D : diamètre en m.

L : longueur en m.

C : coefficient de Hazen Williams (voir tableau 1).

2/ Juste avant la saturation de la turbulence (à gauche de la courbe C), la fonction λ dépend du nombre de Reynolds et de la rugosité.

D'où l'équation implicite de Colebrook-White [3] qui donne:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left[\frac{K}{3,71 \times D} + \frac{2,51}{R_e \sqrt{\lambda}} \right] \quad (I.7)$$

Tableau donnant le coefficient de Hazen-Williams C en fonction de la rugosité absolue K (Cemagref 1986):

K (mm)	2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,025
C	95	106	116	130	136	141	145

Tableau I.1

K : coefficient de rugosité absolue (mm).

Remarque:

On a négligé, ici, les pertes de charge locales qui restent très petites pour un réseau de distribution d'eau.

3-4 Loi des mailles:

Le long d'un parcours orienté et fermé la somme algébrique des pertes de charge est nulle.

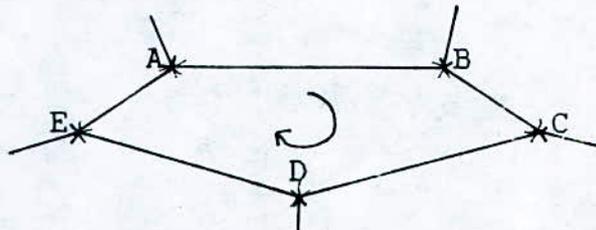


Figure I.3 : Maille d'un réseau

$$\Rightarrow J_{AB} + J_{BC} + J_{CD} + J_{DE} + J_{EA} = 0.$$

$$\sum_{i,j \in M} J_{ij} = 0$$

(I.8)

J_{ij} : perte de charge dans dans le tronçon ij .

3-5 Loi des noeuds:

En un noeud quelconque du réseau, la somme orientée des débits est nulle; C'est à dire la somme des débits qui arrivent au noeud est égale à la somme des débits qui le quittent.

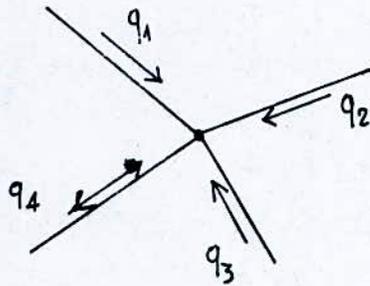


Figure I.4 : Noeud d'un réseau

$$q_1 + q_2 + q_3 = q_4$$

qui est généralisée par:

$$\sum Q_j + q_i = 0. \quad (I.9)$$

Q_j : débit circulant dans une conduite ij .

q_i : débit de consommation ou injection au noeud i .

Les équations (I.8) et (I.9) représentent les deux lois de Kirchoff.

4- CONTRAINTES IMPOSEES:

Pour être physiquement acceptable, un réseau doit respecter deux critères:

La vitesse en chaque noeud et la pression dans chaque conduite ne peuvent théoriquement varier que dans un intervalle.

4-1 Contraintes sur les vitesses:

Elles sont imposées par des conditions de sécurité dans le réseau pour tout tronçon; La contrainte s'exprime par:

$$V_{\min} < V < V_{\max}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi} D^{-2} \quad (I.10)$$

avec: V_{\min} : la vitesse minimum nécessaire pour éviter la stagnation de l'eau et donc la formation de dépôt et prolifération de bactéries qui le rendra impropre à l'alimentation.

V_{\max} : la vitesse au delà de laquelle l'érosion dans les conduites se développe trop rapidement, ainsi que l'apparition des sous-pressions.

4-2 Contraintes sur les pressions:

Dans chaque noeud du réseau, la pression P doit satisfaire la condition.

$$P_{\min} < P < P_{\max}$$

P_{\min} et P_{\max} dépendent des conditions de satisfaction de l'utilisation et de la nature du matériau utilisé.

P_{\min} : la pression minimum résiduelle qui doit régner partout dans le réseau pour que les besoins en eau puissent être satisfaits.

P_{\max} : la pression au delà de laquelle les fuites deviennent trop importantes, dépasser cette valeur pourrait provoquer une rupture brutale du réseau.

5- SYNTHESE:

CALCUL D'UN RESEAU D'EAU

DONNEES

1. imposées par le site

Relief : altitude des noeuds.

Besoins en eau : consommation au noeud.

Eau : caractéristiques de l'eau : viscosité et
masse volumique.

2. choisies pour le dimensionnement

Réseau (géométrie, tracé) : agencement, longueur des
éléments, position des noeuds.
(Réservoirs) : position et charge.
Matériau (caractéristiques) : diamètre, rugosité des
conduites.

INCONNUES

- 1.- dans les conduites: Débit.
Vitesse
2.- aux noeuds : Charge.
Pression.

Remarque:

De nos recherches bibliographiques, on a remarqué que les méthodes de résolution des réseaux de distribution utilisent soit la formule de Hazen Williams (I.6), soit la formule de Colebrook-White (I.7). C'est pourquoi, dans notre calcul avec la méthode de Newton Raphson modifiée, on emploiera les deux formules pour pouvoir comparer les résultats que donne chacune d'elles.

Chapitre II

**ETUDE THEORIQUE
DES
METHODES PRINCIPALES**

1- INTRODUCTION:

Le présent chapitre est une étude théorique des deux principales méthodes de dimensionnement des réseaux de distribution à savoir la méthode de Hardy cross et la méthode de linéarisation de l'équation de pertes de charge, ces deux méthodes consistent en une application directe des deux lois de Kirchoff: la loi des noeuds et la loi des mailles.

2- LA METHODE DE HARDY CROSS:

Deux formulations de la méthode de Hardy Cross seront décrites si dessous, à savoir la méthode des mailles et la méthode des noeuds.

2-1 La méthode des mailles:

C'est la formulation originale de la méthode de Hardy Cross (1936), il s'agit là d'un calcul par approximations successives à partir d'une répartition initiale des débits dans les branches de façon à satisfaire l'équation de continuité en chaque noeud.

$$\sum_{\substack{j \\ \neq i}}^n Q_j + q_i \quad i = 1, n \quad (II.1)$$

Q_j : débit véhiculé par les différents tronçons.

q_i : débit au noeud (de consommation ou d'injection).

Ayant défini un sens positif pour chaque maille on calcule:

$$\sum_{i,j \in M} J_{ij} = \sum_{i,j \in M} R_{ij} \cdot Q_{ij}^\alpha \quad (II.2)$$

"L'exposant α est une constante qui ne dépend que des canalisations, il est généralement voisin de 2". [7]

Le principe d'équilibre des pertes de charge le long de chaque maille du réseau se traduit par la relation suivante:

$$\sum_{i,j \in M} J_{ij} = R_{ij} Q_{ij}^\alpha = 0.$$

avec : Q_{ij} : débit dans le tronçon ij .

R_{ij} : Résistance hydraulique correspondant au tronçon ij .

$$\alpha \in (1.8, 2)$$

Si l'estimation initiale n'est pas correcte, on applique une correction ΔQ qui permet de se rapprocher de la solution exacte:

$$Q_{ij} = Q_{ij} + \Delta Q \quad (\text{II.3})$$

$$\text{avec} \quad \Delta Q = \frac{-\sum R_{ij} Q_{ij}^\alpha}{\alpha \sum_{ij \in M} R_{ij} Q_{ij}^{\alpha-1}} \quad (\text{II.4})$$

ΔQ : correction à apporter au débit estimé, elle est déduite par un développement en série de Taylor de l'équation (II.3) au voisinage de la solution.

$$\text{Soit} \quad Q'_{ij} = Q_{ij} + \Delta Q$$

tel que Q_{ij} : débit estimé.

Q'_{ij} : débit corrigé ou réel.

On a donc pour une maille:

$$\sum R_{ij} Q'_{ij}^\alpha = 0.$$

$$\sum R_{ij} (Q_{ij} + \Delta Q)^\alpha = 0.$$

En développant $(Q_{ij} + \Delta Q)^\alpha$ en série de Taylor au voisinage de la solution et en négligeant tous les termes infiniment petits dont la puissance est supérieure ou égale à 2.

$$\sum_{ij \in M} R_{ij} (Q_{ij} + \Delta Q)^\alpha = \sum_{ij \in M} R_{ij} (Q_{ij} + \alpha \Delta Q Q_{ij}^{\alpha-1}) = \sum_{ij \in M} R_{ij}^\alpha Q_{ij} + \alpha \Delta Q \sum_{ij \in M} R_{ij} Q_{ij} = 0.$$

D'où :

$$\Delta Q = \frac{-\sum R_{ij} Q_{ij}^\alpha}{\alpha \sum_{ij \in M} R_{ij} Q_{ij}^{\alpha-1}}$$

ΔQ est le même pour tous les tronçons de la maille considérée.

Remarque:

- Si un tronçon ij n'appartient qu'à une seule maille, la correction du débit sera ΔQ calculée pour cette maille.

- Si le tronçon ij appartient à deux mailles adjacentes, la correction à apporter au débit sera égale à la somme algébrique des deux corrections calculées, pour ces deux mailles auxquelles fait partie le tronçon ij .

- En général, l'algorithme de résolution est le suivant pour un premier pas, on donne une répartition de débit dans chaque tronçon du réseau.

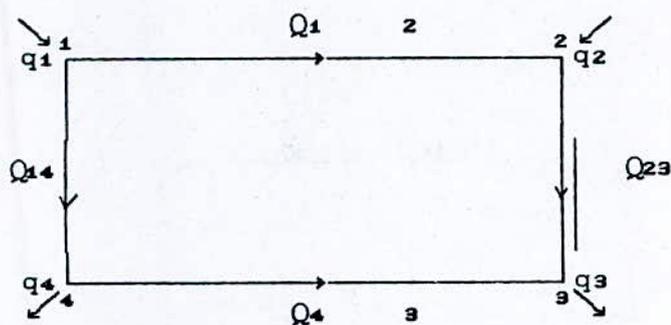


Figure II-1

Soit Q_{12} , Q_{23} , Q_{14} , Q_{34} .

Cette répartition initiale doit vérifier la loi des noeuds.

$$\sum_{i,j \in M} Q_{ij}^0 + q_i = 0$$

et puisque les débits ont été choisis arbitrairement (sens et intensité) la relation:

$$\sum_{i,j \in M} J_{ij} = 0$$

pour chaque maille ne sera pas vérifiée.

Donc, on procède à la correction des débits :

$$Q_{ij}^1 = Q_{ij}^0 + \Delta Q$$

et on suivra le processus itératif:

$$Q_{ij}^{m+1} = Q_{ij}^m + \Delta Q^m \quad (II.5)$$

jusqu'à ce que:

$$\text{Max } |\Delta Q^m| \leq \xi \quad (II.6)$$

ξ : tolérance donnée.

m : numéro de l'itération.

2-2 La Méthode des noeuds:

On adopte pour cette méthode le même principe de calcul que celui de la méthode des mailles sauf qu'on estime les charges h_i en chaque noeud i du réseau. En respectant la loi

des mailles (I.2) :

$$\sum_{i,j \in M} J_{ij} = 0$$

A partir de ces estimations, on calcule le débit en chaque trançon:

$$Q_j = R_{ij}^{-1/\alpha} J_{ij}^{1/\alpha} \quad (II.7)$$

$$\text{avec } J_{ij} = |H_i - H_j|^{1/\alpha} \quad (II.8)$$

Si le choix initial est correcte, on doit avoir en chaque noeud i :

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Q_j + q_i = 0$$

j : est l'ensemble des noeuds connectés à i dans le cas contraire, on passe à l'itération.

$$H_i^{(1)} = \Delta H_i^{(0)} + H_i^{(0)} \quad (II.9)$$

avec ΔH_i : correction à apporter à la charge H_i initiale.

ΔH_i est pris en valeur algébrique, cette correction est obtenue par le développement en série de Taylor de:

$$(\Delta H_i + H_i - H_j)^{1/\alpha}$$

Remplaçons dans $\sum Q_j + q_i = 0$, on aura:

$$\sum R_{ij} (H_i + \Delta H_i - H_j)^{1/\alpha} + q_i = 0 \quad (II.10)$$

D'où:

$$\Delta H_i = \frac{\alpha \sum_{i,j \in M} Q_{ij} + q_i}{\sum_{j=1}^n (Q_{ij}/J_{ij})} \quad i = 1, n. \quad (II.11)$$

En général:

$$H_i^{m+1} = H_i^m + \Delta H_i^m \quad (II.12)$$

On arrête les calculs quand:

$$|H_i^{m+1} - H_i^m| \leq \xi \quad (II.13)$$

ξ : est une tolérance fixée.

m : le numéro d'itération.

2-3 Cas de plusieurs réservoirs:

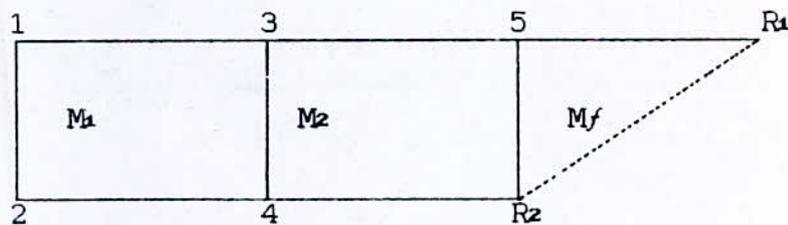


Figure II-2

M_1, M_2 : mailles réelles.

M_f : maille fictive.

R_1, R_2 : réservoirs.

R_1-R_2 : conduite fictive.

Dans le cas où le réseau à calculer est alimenté par plusieurs réservoirs, on devra les relier entre eux deux à deux afin de créer des mailles dites fictives.

Donc pour n_R réservoirs, on doit avoir n_{R-1} mailles fictives et n_{R-1} conduites fictives. A noter que pour une telle maille, la loi des pertes de charge devient:

$$\sum_{ij \in M} J_{ij} = \sum_{ij \in M} R_{ij} Q_{ij}^\alpha = \Delta H_{ij} \quad (\text{II.14})$$

ΔH_{ij} est la différence entre les charges des deux réservoirs.

Par exemple, pour la maille fictive de la figure II-2, on a:

$$\sum J_{ij} = R_{5R1} Q_{5R1}^\alpha + R_{5R2} Q_{5R2}^\alpha = \Delta H_{R1R2}$$

Donc, dans un tel cas, on aura plus de n équations aux noeuds et des m équations aux mailles, n_{R-1} équations aux mailles fictives.

Remarques:

Le diamètre et la longueur d'une conduite fictive sont nuls.

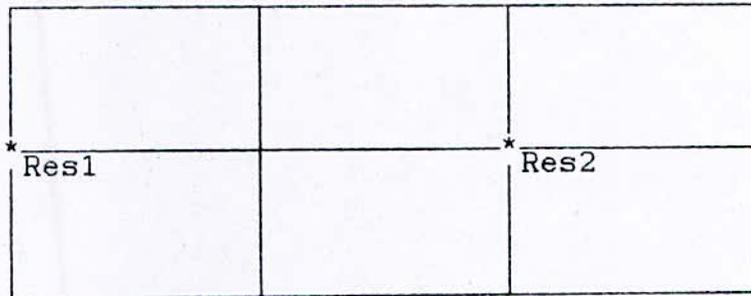
Un réservoir est à charge fixe.

2-4 Conclusion:

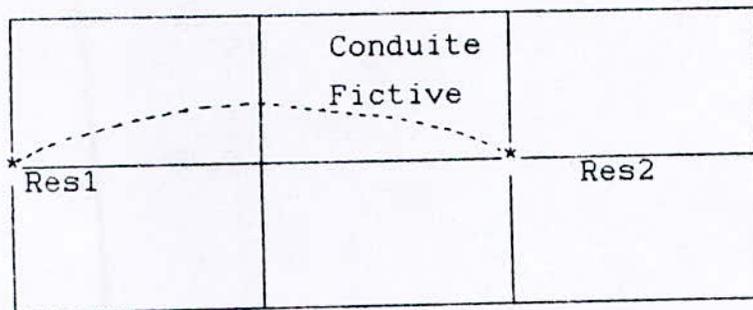
Pour la méthode classique de Hardy Cross (méthode des mailles), le plus grand avantage réside dans sa simplicité d'où son utilisation très répandue, par contre elle présente plusieurs inconvénients, le plus marquant est qu'elle ne converge rapidement que si la répartition initiale des débits est choisie d'une façon adéquate. Donc répartition qui est proche de la solution finale. A ceci vient s'ajouter le fait qu'elle ne s'applique que pour les réseaux maillés, ce dernier inconvénient est résolu par l'application de la méthode des noeuds (Mérabtène, 1990).

"Dans le cas où le réseau est alimenté par plusieurs réservoirs, les praticiens ont souvent constaté que pour des réseaux importants à plusieurs réservoirs, la méthode classique de Hardy Cross, soit ne converge pas du tout (cas d'un réseau non planaire, après constitution de conduites fictives, figure); Soit converge très lentement (on envisage une modification du type relaxation pour remédier à cela". (Mahdjoub, 1983).

On rappellera ici que la solution d'un tel problème par Hardy Cross est obtenue en utilisant la méthode des noeuds ou bien d'autres méthodes d'équilibrage et de dimensionnement des réseaux.



-Réseau planaire-



-Réseau non planaire-

Figure II.3

3- METHODE DE LINEARISATION DE L'EQUATION DES PERTES DE CHARGE:

3-1 Principe de la méthode:

Cette méthode comme son nom l'indique est basée sur la linéarisation de l'équation des pertes de charge.

L'équation:

$$\sum_{ij \in M} J_{ij} = \sum R_{ij} Q_{ij}^2$$

devient :

$$\sum_{ij \in M} J_{ij} = R_{ij} Q_{ij} \quad (\text{II.15})$$

qui traduit le régime laminaire dans les conduites.

La détermination de la répartition initiale du débit est obtenue en résolvant un système d'équations linéaires formé par les équations aux noeuds et aux mailles.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Q_j + q_i = 0. \quad i=1, n.$$

j est l'ensemble des noeuds connectés au noeud i .

$$\sum_{ij \in M} R_{ij} Q_{ij} = 0$$

en notation vectorielle :

$$K_0 \vec{Q} = \vec{W} \quad (\text{II.16})$$

K_0 : étant la matrice des données aux m rangées relatives aux équations des mailles qui renseignent sur les valeurs des résistances hydrauliques R_{ij} et $n-1$ lignes relatives aux équations de continuité qui renseignent sur les éléments de valeur $(+1, -1)$.

Q : vecteur solution qui donne les débits Q_{ij} correspondant aux tronçons ij .

W : un vecteur dont les valeurs sont soit zéro (0) s'il s'agit d'une équation aux mailles, soit q_i s'il s'agit d'une équation aux noeuds.

$$Q_0 = K_0^{-1} \cdot W \quad (\text{II.17})$$

Comme la première répartition est plus ou moins proche de la solution réelle, on portera des corrections grâce au calcul itératif suivant:

$$Q_1 = K_1^{-1} \cdot W$$

K_1 : est la nouvelle matrice dont les éléments R_{ij} sont recalculés en fonction du débit par la formulation:

$$(R_{ij})_1 = (R_{ij})_0 \cdot (Q_j)_0 \quad (\text{II.18})$$

Les relations se poursuivent jusqu'à ce que:

$$|(Q_j)_{K+1} - (Q_j)_K| \leq \xi \quad (\text{II.19})$$

ξ : est une tolérance donnée.

En général, on adopte:

$$(Q_j)_K = (K_{ij})_K^{-1} \cdot W \quad (\text{II.20})$$

$$(R_{ij})_K = (R_{ij})_0 \cdot Q_{K-1} \quad (\text{II.21})$$

K : numéro d'itération.

Remarque:

Pour économiser de la place mémoire et accélérer le processus de convergence, on cherche toujours à avoir une matrice bande en soignant la numérotation des divers noeuds et mailles du réseau.

3-2 Conclusion:

Cette méthode converge plus rapidement que la méthode de Hardy Cross, sa limitation est qu'elle ne peut être appliquée que pour les réseaux maillés ou mailles portant une ramification.

Dans le cas de plusieurs réservoirs, le principe est celui adopté par la méthode de Hardy Cross, la conclusion évoquée pour ce cas reste toujours valable.

4- Conclusion:

Le calcul du problème d'équilibrage des réseaux maillés de distribution d'eau potable par la méthode de Hardy Cross, utilise comme répartition initiale des débits dans les branches, les résultats obtenus par résolution du système d'équations linéarisées.

"Cette estimation très proche de la solution finale a permis de minimiser le nombre d'itération nécessaire pour équilibrer le réseau, de diminuer le risque de divergence quand la taille augmente et de faciliter la prise en considération des divers organes hydrauliques (clapets, réducteurs de pression, etc...) avec plusieurs réservoirs." (MERABTENE, 91)

Bien que l'application de cette estimation a permis de simplifier la prise en considération des différents organes hydrauliques. Ce problème reste néanmoins très complexe.

C'est pourquoi, on a considéré la méthode de Newton Raphson modifiée (objet de cette thèse), dont l'introduction des formulations des organes hydrauliques est beaucoup plus simple.

Chapitre III

**METHODE DE
NEWTON RAPHSON MODIFIEE**

1- INTRODUCTION:

L'avènement des ordinateurs a permis de recourir à des méthodes de calcul numérique (plus pratiques que celles étudiées dans le chapitre précédent) pour résoudre le système d'équation non linéaire du problème d'équilibrage des réseaux de distribution d'eau potable.

Dans ce qui suit, on présentera la méthode de Newton Raphson modifiée qui consiste à calculer les corrections des charges aux noeuds (méthode des noeuds) et les corrections des débits dans les tronçons (méthode des mailles).

A noter que pour cette méthode, on a choisit la méthode des noeuds afin de généraliser l'utilisation du logiciel de calcul pour les réseaux ramifiés.

2- CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS D'UN RESEAU:

Les réseaux d'alimentation en eau potable sont des complexes hydrauliques composés de réservoirs de distribution, de conduites et d'organes de contrôle et de régulation : pompes, clapets anti-retour, réducteurs de pression.

Les équations caractéristiques de ces éléments sont décrites ci-dessous:

2-1 Réservoirs:

Un réservoir est caractérisé par :

- sa hauteur du niveau d'eau.
- sa pression.
- son volume maximum disponible.

Un réservoir constitue donc une condition de noeud à charge constante, c'est à dire qu'on néglige la variation du plan d'eau dans le réservoir; On cherche le débit sortant de ce dernier. On notera que la somme des débits distribués par l'ensemble des réservoirs du réseau est égale à la somme des consommations.

2-2 Les conduites simples:

Un tronçon de conduite est caractérisé par sa longueur, son diamètre, et sa rugosité. Il connecte dans le réseau deux noeuds I, J d'altitude donnée. En chacun de ces noeuds, la consommation est connue.

On cherche les charges au noeud extrême, ce qui permet de

calculer le débit par l'expression suivante:

$$Q_j = Y_j (H_i - H_j)^{1/\alpha} \quad (\text{III.1})$$

$$Y_j = (1/R_{tj})^{1/\alpha} \quad (\text{III.2})$$

Y_j : admittance

Y_j est calculé par deux formules:

1/ Formule de Colbrook White

$$\text{Comme } R_{tj} = \frac{8 \lambda L_{tj}}{\pi^2 g D_{tj}} \quad (\text{III.3})$$

Pour $\alpha = 2$

$Y_j = (1/R_{tj})^{0,5}$ en remplaçant λ par la formule de Colbrook White.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left[\frac{K}{3,71 D_{tj}} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (\text{III.4})$$

$$Y_j = -\pi \left[\frac{g D_{tj}^5}{2 L_{tj}} \right]^{0,5} \log_{10} \left[\frac{K}{3,71 D_{tj}} + \frac{2,51 \nu L_{tj}^{0,5}}{(2g D_{tj}^3)^{0,5} |H_i - H_j|^{0,5}} \right] \quad (\text{III.5})$$

D_{tj} : Diamètre (m).

L_{tj} : longueur (m).

K : rugosité (m).

ν : viscosité (m^2/sec).

g : accélération de la pesanteur (m/s^2).

En posant :

$$CA_{ij} = -\pi \sqrt{\frac{g D_{ij}^5}{2 L_{ij}}} \quad (\text{III.6})$$

$$CB_{ij} = \frac{K_{ij}}{3,71 D_{ij}} \quad (\text{III.7})$$

$$CC_{ij} = \frac{2,31 \nu \sqrt{L_{ij}}}{(2g D_{ij})^{0,5}} \quad (\text{III.8})$$

$$Q_j = CA_{ij} \log_{10} \left[CB_{ij} + \frac{CC_{ij}}{|H_i - H_j|^{0,5}} \right] |H_i - H_j|^{-0,5} (H_i - H_j) \quad (\text{III.9})$$

2/ Formule de Hazen Williams :

$$R_{ij} = (10,69 \cdot L_{ij}) / C_{ij}^{1,85} \cdot D_{ij}^{4,865} \quad (\text{III.10})$$

Pour $\alpha = 1,85$.

$$Y_{ij} = (1/R_{ij})^{0,54}$$

$$Y_{ij} = \frac{C_{ij} \cdot D_{ij}^{2,63}}{3,594 \cdot L_{ij}^{0,54}} \quad (\text{III.11})$$

C_{ij} : coefficient de Hazen Williams.

$$Q_j = \frac{C_{ij} D_{ij}^{2,63}}{3,594 L_{ij}^{0,54}} |H_i - H_j|^{0,46} (H_i - H_j) \quad (\text{III.12})$$

Que l'on peut exprimer analytiquement sous la forme.

$$\Delta H_p = A Q^2 + B Q + C \quad (\text{III.13})$$

avec A, B, C des constantes données.

Q : le débit en m³/sec

ΔH_p : en m.

On peut écrire le débit Q que l'on cherche en fonction de ΔH_p
(racine d'une équation de second degré):

$$Q = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 A (C - \Delta H_p)}}{2 A}$$

Pour savoir laquelle de ces deux expressions est physiquement acceptable, on a fait une étude de signe d'après laquelle, on a montré qu'il faut choisir.

$$Q_{ij} = - \left[\frac{B_{ij} + \sqrt{B_{ij}^2 - 4 A_{ij} (C_{ij} - (H_j - H_i))}}{2 A_{ij}} \right] \quad (\text{III.14})$$

Pour $0 \leq \Delta H_p \leq C$.

Cette expression est écrite pour une pompe qui débiterait de I vers J, et la hauteur manométrique vaut :

$$\Delta H_p = \Delta H_{ji} = H_j - H_i$$

$$Q_j = 0 \text{ pour } \Delta H_{ji} \leq 0 \text{ ou } \Delta H_{ji} > C.$$

donnée			
I	(pompe)		J
Z_i	A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}	Z_j	
q_i			q_j

Résultats			
I	(pompe)		J
H_i	Q_{ij}	H_j	
p_i			p_j

2-4 Les clapets anti-retour:

Un élément muni d'un clapet anti-retour possède les mêmes caractéristiques qu'une conduite simple. Si ce n'est que le clapet ne laisse passer le débit que dans un sens.

Le clapet peut fonctionner de deux façons différentes par rapport à la conduite. Il ne peut autoriser le débit que de I vers J ou de J vers I.

On prend la convention suivante: on donne

$\varphi_c = +1$ si le sens d'écoulement est de I vers J.

$\varphi_c = -1$ si le sens d'écoulement est de J vers I.

On a donc quatre cas:

$H_i > H_j$	$\varphi_c = +1$ $Q_{ij} = \dots$ Formule (III.9) ou (III.12)
	$\varphi_c = -1$ $Q_{ij} = 0$
$H_i < H_j$	$\varphi_c = +1$ $Q_{ij} = 0$
	$\varphi_c = -1$ $Q_{ij} = \dots$ Formule (III.9) ou (III.12)

On remarque d'après ce tableau que le clapet fonctionne si :

$$\Delta H \cdot \varphi_c < 0$$

et qu'il ne fonctionne pas si :

$$\Delta H \cdot \varphi_c > 0$$

données		
I—(clapet)—J		
Zi		Zj
Kij (ou Cij),		
qi	Dij, Lij	qj

Résultat		
I—(clapet)—J		
Hi	ΔH_{ij}	Hj
	Qij	
pi	Vij	pj

2-5 Les réducteurs de pression:

Le réducteur de pression dans un élément sert à ramener une pression d'entrée trop élevée à une pression de sortie donnée.

Il est donc caractérisé par sa position dans l'élément et par sa pression de réduction.

Si la pression d'entrée est inférieure à la pression de réduction, le réducteur ne fonctionne pas.

Dans les calculs, on ramène cette modification de pression à une modification de charge; En effet, si on néglige la vitesse de l'eau dans la conduite.

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z$$

avec $\gamma = \rho g$ et ρ masse volumique de l'eau en Kg/m^3 .

La position du réducteur dans l'élément est matérialisée par le coefficient φ_R :

$\varphi_R = +1$ si le réducteur est placé en I.

$\varphi_R = -1$ si le réducteur est placé en J.

Quatre cas peuvent se présenter :

$\varphi_R = +1$, le réducteur est en I et H_R est la charge dans le réducteur.

Soit $\Delta H_R = H_i - H_R$

Si $\Delta H_R > 0$, le réducteur fonctionne et on remplace dans la formule (III.9) ou (III.12) $H_i = H_R$, ce qui donne :

$$Q_{ij} = CA_{ij} \text{Log} \left[CB_{ij} + \frac{CC_{ij}}{|H_R - H_j|^{0,5}} \right] \times |H_R - H_j|^{0,5} (H_R - H_j) \quad (\text{III.15})$$

$$Q_{ij} = \frac{C_{ij} D_{ij}^{2,63}}{3,594 L_{ij}^{0,54}} |H_R - H_j|^{-0,46} (H_R - H_j) \quad (\text{III.16})$$

Si $\Delta H_R \leq 0$, le réducteur ne fonctionne pas et on emploie les formules (III.9) et (III.12).

$\varphi_R = -1$, le réducteur est en J, il faut tester $H_j - H_R = \Delta H_R$.

Si $\Delta H_R > 0$, le réducteur fonctionne et on remplace dans les équations (III.9) et (III.12).

$$H_j = H_R$$

$$Q_j = CA_{ij} \log_{10} \left[CB_{ij} + \frac{CC_{ij}}{|H_i - H_R|^{0,5}} \right] \cdot |H_i - H_R|^{-0,5} (H_i - H_R) \quad (III.17)$$

$$Q_j = \frac{C_{ij} D_{ij}^{2,69}}{3,594 L_{ij}^{0,54}} |H_i - H_R|^{-0,46} (H_i - H_R) \quad (III.18)$$

Si $\Delta H_R \leq 0$, le réducteur ne fonctionne pas et on emploie les formules (III.9) et (III.12).

Réducteur en I :

Données		
I (Réducteur) —	J	
HR		
Zi	Lij, Dij	Zj
qi	Cij ou Kij	qj

Résultats		
I (Reducteur) —	J	
ΔH_{ij}		
Hi		Hj
	Qij	
Pi		Pj
	Vij	

Réducteur en J :

Données		
I — (Reducteur) J		
HR		
Zi	Lij, Dij	Zj
qi	Cij ou Kij	qj

Résultats		
I — (Reducteur) J		
ΔH_{ij}		
Hi		Hj
	Qij	
Pi		Pj
	Vij	

3- RESOLUTION DU SYSTEME D'EQUATION NON LINEAIRE:

3-1 Ecriture des équations:

Pour chaque conduite du réseau, on a la relation $Q = f(\Delta H)$.

Il reste à écrire les équations sous les hypothèses suivantes:

- 1/ On se place en régime permanent.
- 2/ On concentre les consommations aux noeuds.
- 3/ On doit avoir dans le réseau au moins un réservoir, c'est à dire qu'il faut connaître au moins une des charges.

Soit un réseau à n noeuds pour lequel on doit déterminer n inconnues:

- La consommation en chaque réservoir.
- La charge en chaque noeud.

Pour résoudre ce problème, on dispose de n équations: la loi des noeuds en chaque noeud.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j=i}}^n Q_j + q_i = 0 \quad i=1, n \quad (\text{III.19})$$

q_i : consommation au noeud (m^3/sec).

Q_j : le débit dans le tronçon I-J.

Et comme $Q_j = f(H_i - H_j)$, l'expression (III.19) devient:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ i=j}}^n f(H_i - H_j) + q_i = 0 \quad i=1, n \quad (\text{III.20})$$

3-2 La méthode de Newton Raphson modifiée:

Avant de parler des modifications apportées à la méthode originale de Newton Raphson. Une présentation du principe général de résolution de celle-ci est faite.

Soit donc à déterminer les racines du système $F(X)$.

$$F(X) = 0 \quad (\text{III.21})$$

$$F_1 (X_1, X_2, X_3, \dots X_n) = 0$$

$$F_2 (X_1, X_2, X_3, \dots X_n) = 0$$

$$\vdots$$

$$F_n (X_1, X_2, X_3, \dots X_n) = 0$$

Les $F_i(X_i)$ sont supposées continues et dérivables. La méthode consiste à fixer une valeur initiale X , si cette dernière ne satisfait pas le système d'équation (III.21), il faut apporter à X une correction ΔX telle que:

$$F(X + \Delta X) = 0$$

L'expression de ΔX est obtenue par un développement en série de Taylor de la fonction F évaluée au point X , en négligeant les termes d'ordres supérieurs.

$$F(X + \Delta X) = F(X) + J \Delta X + \dots = 0 \quad (\text{III.22})$$

$$F(X) + J \Delta X = 0$$

D'où:

$$F(X) = -J \Delta X \quad (\text{III.23})$$

J est la matrice Jacobienne définie par:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial H_1} & \frac{\partial f_1}{\partial H_2} & \frac{\partial f_1}{\partial H_3} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial H_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial H_1} & \frac{\partial f_2}{\partial H_2} & \frac{\partial f_2}{\partial H_3} & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial H_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial H_1} & \frac{\partial f_n}{\partial H_2} & \frac{\partial f_n}{\partial H_3} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial H_n} \end{bmatrix}$$

Il s'agit d'un système d'équations linéaires d'ordre n .

La solution du système (III.23) est obtenue par la méthode de Croot Cholesky [2] dont le principe général est de décomposer la matrice Jacobienne J en L.U.

En général, la valeur X choisie au départ est trop éloignée de la solution du système (III.23), la correction ne conduit donc pas à la solution, et par conséquent, il faut procéder par approximations successives.

Les itérations portent sur les relations suivantes:

$$\Delta X_i J = F(X_i) \quad (\text{III.24})$$

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_i \quad (\text{III.25})$$

jusqu'à ce qu'une précision suffisante sera atteinte, c'est à dire l'évolution des équations (III.24), (III.25) respecte le niveau de précision ϵ que l'on s'est fixé.

3-3 Modification de la méthode de Newton Raphson:

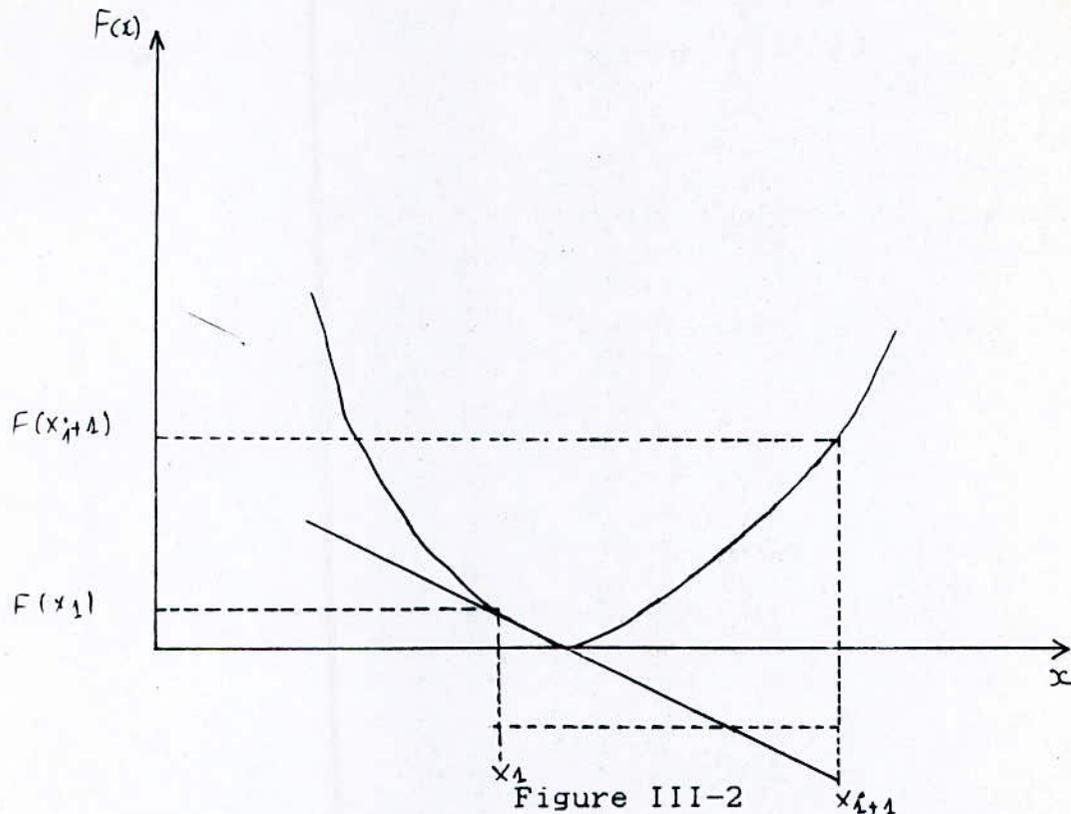
On constate qu'en appliquant la méthode de Newton Raphson telle qu'elle a été exposée présente deux inconvénients. D'une part, elle requiert l'inversion d'une matrice Jacobienne à chaque itération et d'autre part elle ne converge pas rapidement à condition de choisir des valeurs proches de la solution, sinon la convergence vers celle-ci est très lente et parfois inexistante.

Une explication qualitative de ce phénomène peut être émise et permettant de remédier à ce problème.

On peut montrer que la direction de ΔX obtenue par la résolution du système (III.23) est bonne, c'est à dire qu'elle tend à corriger le vecteur X de telle manière que $F(X) = 0$ mais on ne peut rien affirmer quant à sa norme.

La Méthode de Newton Raphson fait l'approximation F par sa dérivée première. Donc plus le vecteur X avec lequel, on calcule $F(X)$ est éloigné de la solution du système (23), plus cette approximation est mauvaise, autrement dit les termes d'ordre supérieur ne sont plus négligeables dans le développement en série de Taylor (III.22), ceci conduit à des corrections ΔX trop grandes.

Soit:



On voit sur la figure III-2 que la correction ΔX_i conduit à $F(X_{i+1}) > F(X_i)$, ce qui est le contraire de ce que l'on cherche.

Il faut donc réduire cette correction ΔX_i , c'est à dire procéder à une sous relaxation de la méthode de Newton Raphson.

Dans notre modèle de calcul, la méthode de Newton Raphson a été modifiée en introduisant deux améliorations au logiciel de calcul.

1-Nous utiliserons à chaque itération la matrice Jacobienne obtenue pour la première estimation des charges et si cette dernière est proche de la solution.

$$J^0 \simeq J^m$$

J_0 : Matrice Jacobienne de la première itération.

J_m : Matrice Jacobienne de la m ème itération.

2-Au cours des itérations, on a observé une oscillation autour de la solution sans jamais l'atteindre donc au lieu de corriger le vecteur X_i comme mentionné donc l'équation (III.25), on diminuera le poids de la correction en introduisant un coefficient de sous-relaxation qui restera constant au cours des itérations.

En général l'algorithme de résolution de la méthode de Newton Raphson modifiée s'écrit:

$$\Delta X_i^m J_0 = - F(X_i^m) \quad (\text{III.28})$$

J_0 est la matrice Jacobienne calculée pour la première itération et qui restera la même au cours des autres itérations.

ΔX_i^m : correction à l'itération m obtenue par la résolution du système (III.28).

$F(X)$: Fonction de continuité au noeud i à l'itération m .

Pour chaque itération:

$$X_{i+1}^m = X_i^{m-1} + t \Delta X_i^{m-1} \quad (\text{III.29})$$

t est le coefficient de sous relaxation, $t \in [0,1]$

$t \in (0,1)$.

La vérification de la précision se fait en prenant la norme infinie du vecteur indépendant $F(X_i)$ qui doit être inférieur à une tolérance donnée.

$$\| F \|_{\infty} = \max_i |F(X_i)| < \xi$$

Comme dans le modèle de calcul, le réseau peut être alimenté par un ou plusieurs réservoirs, on a préféré faire la vérification sur les corrections ΔX_i calculées aux noeuds réservoirs c'est à dire:

$$\max_i |\Delta X_i| < \xi$$

avec:

ΔX_i : correction au noeud réservoir.

ξ : tolérance fixé.

4- CONSTRUCTION DE LA MATRICE JACOBIENNE:

Avant d'entamer le calcul hydraulique, il faut évaluer les termes de la matrice Jacobienne J de l'équation (III.28).

$$J_0 \Delta(X_i) = - F(X_i)$$

4-1 Forme générale des dérivées:

L'élément général de cette matrice Jacobienne est notée:

$$A_{IJ} (I, J) = \frac{\partial F_i}{\partial X_j} \quad (III.30)$$

avec:

A_{IJ} : La matrice Jacobienne.

I : L'indice parcourant les lignes de la matrice.

J : L'indice parcourant les colonnes de la matrice.

F_i : L'équation de continuité (III.20) au noeud I.

X_j : L'inconnue correspondant au noeud J.

Deux cas peuvent se présenter:

1/ I et J sont des noeuds où la charge est inconnue.

$$X(I) = H(I)$$

$$X(J) = H(J)$$

Le terme diagonal correspondant vaut:

$$A_{IJ} (I, J) = \frac{\partial F_i}{\partial H(I)} = \frac{\partial}{\partial H(I)} \sum_{K=1}^N Q (I, K) \quad (III.30)$$

En effet, tous les débits de l'équation de continuité relative au noeud I comportent le terme $H(I)$.

En dehors de la diagonale principale, les éléments deviennent:

$$A_{IJ} (I, J) = \frac{\partial F_i}{\partial H(J)} = \frac{\partial}{\partial H(J)} Q(I, J) \quad (III.31)$$

$$A_{IJ}(I, J) = \frac{\partial F_i}{\partial H(I)} = \frac{\partial}{\partial H(I)} Q(I, J) \quad (\text{III.32})$$

Seul le terme $Q(I, J)$ contient $H(J)$ dans (III.32).

2/ I correspond à un réservoir de consommation inconnue et J un noeud où la charge est inconnue.

$$X(I) = q(I)$$

$$X(J) = H(J)$$

Le terme diagonal vaut:

$$A_{IJ}(I, J) = \frac{\partial F_i}{\partial q(I)} = \frac{\partial q(I)}{\partial q(I)} = 1 \quad (\text{III.33})$$

En dehors de la diagonale principale, les éléments deviennent:

$$A_{IJ}(I, J) = \frac{\partial F_i}{\partial H(J)} = \frac{\partial}{\partial H(J)} Q(I, J) \quad (\text{III.34})$$

$$A_{IJ}(I, J) = \frac{\partial F_i}{\partial q(I)} = 0 \quad (\text{III.35})$$

Car la consommation au noeud I n'intervient pas dans l'équation de continuité au noeud J.

4-2 Calcul des dérivées pour les différents éléments du réseau :

Nous venons de voir que les termes de la matrice Jacobienne

sont en fait les dérivées de l'expression $Q = f(\Delta H)$ par rapport aux différentes inconnues, charges ou consommations. Nous allons calculer ces dérivées pour les différents éléments du réseau.

4-2-1. Conduites simples:

En reprenant les équations (III.9) et (III.12),

$$Q_j = CA_{ij} \log \left[CB_{ij} + \frac{CC_{ij}}{|H_i - H_j|^{0,5}} \right] |H_i - H_j|^{-0,5} (H_i - H_j)$$

$$Q_j = \frac{C_{ij} D_{ij}^{2,63}}{3,594 L_{ij}^{0,54}} |H_i - H_j|^{-0,46} (H_i - H_j)$$

Pour lesquelles, on calculera:

$$\frac{\partial Q_j}{\partial H_i} \text{ et } \frac{\partial Q_j}{\partial H_j}$$

pour cela nous évaluerons:

$$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial (\Delta H)} \tag{III.36}$$

avec

$$\Delta H = H_i - H_j \tag{III.37}$$

sachant que

$$\frac{\partial Q_j}{\partial H_i} = \frac{\partial Q_{ij}}{\partial (\Delta H)} \frac{\partial (\Delta H)}{\partial H_i} \tag{III.38}$$

$$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial H_j} = \frac{\partial Q_{ij}}{\partial \Delta H} \frac{\partial (\Delta H)}{\partial H_j} \quad (\text{III.39})$$

et que
$$\frac{\partial (\Delta H)}{\partial H_i} = 1 \quad (\text{III.40})$$

$$\frac{\partial (\Delta H)}{\partial H_j} = -1 \quad (\text{III.41})$$

Donc pour (III.9):

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)} = & -0,5 CA_{ij} \log_{10} e \left[\frac{CC_{ij} |\Delta H|^{-1}}{CB_{ij} + CC_{ij} |\Delta H|^{0,5}} \right] + (CA \log_{10} CB + \\ & + \frac{CC}{|\Delta H|^{0,5}}) (0,5 |\Delta H|^{-0,5}). \end{aligned} \quad (\text{III.42})$$

avec: $\Delta H = H_i - H_j$

et pour (III.12):

$$\frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)} = 0,54 Y_{ij} |\Delta H|^{-0,46} \quad (\text{III.43})$$

$\Delta H = H_i - H_j \quad i \neq j$

- Termes de la matrice Jacobienne relatifs à une conduite simple:

Pour une conduite simple I-J, nous avons quatre éléments de la matrice Jacobienne à évaluer : $A_{ij}(I,J)$, $A_{ij}(J,I)$, $A_{ij}(I,I)$,

A_{JJ} .

avec :

$$Q(I, J) = - Q(I, J) \quad (\text{III.44})$$

En tenant compte des relations (III.37), (III.40), (III.41):

$$A_{IJ}(I, J) = \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(J)} = - \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)} \quad (\text{III.45})$$

$$A_{IJ}(J, I) = \frac{\partial Q(J, I)}{\partial H(I)} = - \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(I)} = - \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)} \quad (\text{III.46})$$

$$A_{IJ}(I, I) = \frac{\partial Q(I, I)}{\partial H(I)} = \frac{\partial Q(I, I)}{\partial H(I)} = \frac{\partial Q}{\partial H(J)} \quad (\text{III.47})$$

$$A_{IJ}(J, J) = \frac{\partial Q(J, J)}{\partial H(J)} = - \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(J)} = \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)} \quad (\text{III.48})$$

ou $\frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$ est donné par les relations (III.42) et (III.43).

4-2.2. Les pompes:

Pour les pompes, la relation $Q = f(\Delta H)$ est donnée par (III.14).

$$Q_{ij} = - \left[\frac{B_{ij} + \sqrt{B_{ij}^2 - 4 A_{ij} (C_{ij} - (H_j - H_i))}}{2 A_{ij}} \right]$$

Le calcul de la dérivée vaut:

$$\frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)} = \frac{1}{\sqrt{B_{ij}^2 - 4 A_{ij} (C - (H_j - H_i))}} \quad (\text{III.49})$$

Les quatre éléments de la matrice Jacobienne correspondant à une pompe I-J ont les même expressions que ceux d'une conduites simple.

$$A_J(I, J) = A_J(J, I) = - \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

$$A_J(I, I) = A_J(J, J) = \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

ou $\frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$ est donnée par l'expression (III.49).

4-2-3 Les clapets anti-retour:

Pour les clapets anti-retour, les formules des dérivées (III.42) et (III.43) restent exactes si le débit est autorisé.

L'élément muni d'un clapet se comporte alors comme une conduite simple.

Dans le cas contraire, le débit est nul. Cependant pour ne pas introduire de terme nul dans la matrice Jacobienne, on prend le débit de la conduite correspondante que l'on divise par 1000000, ceci permet de garder une différence d'ordre de grandeur aussi réduite que possible entre les termes.

On a donc, pour un clapet situé dans un élément I.J :

Si le clapet ne fonctionne pas :

$$A_J(I, J) = A_J(J, I) = - \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

$$A_{JJ}(I, I) = A_{JJ}(J, J) = \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

Si le clapet fonctionne :

$$A_{JJ}(I, J) = A_{JJ}(J, I) = - \frac{1}{1000000} \cdot \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

$$A_{JJ}(I, I) = A_{JJ}(J, J) = \frac{1}{1000000} \cdot \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

avec $\frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$ est donnée par l'expression (III.49).

4-2-4. Les réducteurs de pression:

Si un élément contient un réducteur de pression, nous avons vu que quatre cas peuvent se présenter:

Le réducteur est en I:

* Il ne fonctionne pas: les formules à utiliser sont celles des conduites simples.

* Il fonctionne et donc:

$$H(I) = H_R, H_R \text{ est constante.}$$

$$A_{JJ}(I, J) = \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(J)} = - \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

$$A_{JJ}(I, J) = \frac{\partial Q(J, I)}{\partial H(I)} = - \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H_R} = 0$$

$$A_{JJ}(I, I) = \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(I)} = \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H_R} = 0$$

$$A_J(J, J) = \frac{\partial Q(J, I)}{\partial H(J)} = \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

avec $\frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$ donné par la formule (III.49) en prenant :

$$\Delta H = H_R - H(J)$$

Le réducteur est en J :

Il ne fonctionne pas : On prend alors les formules des conduites simples.

Il fonctionne et donc :

$H(J) = H_R$ avec H_R constante.

$$A_J(I, J) = \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(J)} = \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H_R} = 0.$$

$$A_J(J, I) = \frac{\partial Q(J, I)}{\partial H(I)} = - \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(I)} = - \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

$$A_J(I, I) = \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H(I)} = \frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$$

$$A_J(J, J) = \frac{\partial Q(J, I)}{\partial H(J)} = - \frac{\partial Q(I, J)}{\partial H_R} = 0$$

avec $\frac{\partial Q}{\partial (\Delta H)}$ donné par la formule (49) en prenant :

$$\Delta H = H(I) - H_R$$

Résumé :

1/ Pour les éléments symétriques :

- conduites simples.
- pompes.

- clapet anti-retour.

Les termes en dehors de la diagonale principale $A_{ij}(I, J)$ et $A_{ij}(J, I)$ sont égaux et les termes diagonaux s'obtiennent en prenant l'opposé de la somme des termes situés sur la colonne correspondante.

2/ Pour les éléments non symétriques:

-Réducteurs de pressions qui fonctionnent. Il faut évaluer les deux termes en dehors de la diagonale principale puisqu'ils ne sont pas égaux.

Pour les termes diagonaux, on prend l'opposé de la somme des termes situés sur la colonne correspondante.

Remarque:

S'il y a un réservoir au noeud I:

$$A_{ij}(I, I) = 1$$

$$A_{ij}(J, I) = 0 \text{ pour tout } J$$

ce qui présente alors une dissymétrie dans la matrice.

4-3. Propriété de la matrice Jacobienne:

Cette matrice Jacobienne jouit de plusieurs propriétés qu'il faudra exploiter par la suite.

1/Elle est carrée, d'ordre N.

2/ Seuls les éléments correspondant à des liaisons I-J du réseau sont non nuls. La matrice comporte donc beaucoup de zéro.

3/ Elle est du type "bande", c'est à dire que les termes non

- clapet anti-retour.

Les termes en dehors de la diagonale principale $A_{IJ}(I, J)$ et $A_{IJ}(J, I)$ sont égaux et les termes diagonaux s'obtiennent en prenant l'opposé de la somme des termes situés sur la colonne correspondante.

2/ Pour les éléments non symétriques:

-Réducteurs de pressions qui fonctionnent. Il faut évaluer les deux termes en dehors de la diagonale principale puisqu'ils ne sont pas égaux.

Pour les termes diagonaux, on prend l'opposé de la somme des termes situés sur la colonne correspondante.

Remarque:

S'il y a un réservoir au noeud I:

$$A_{IJ}(I, I) = 1$$

$$A_{IJ}(J, I) = 0 \text{ pour tout } J$$

ce qui présente alors une dissymétrie dans la matrice.

4-3. Propriété de la matrice Jacobienne:

Cette matrice Jacobienne jouit de plusieurs propriétés qu'il faudra exploiter par la suite.

1/ Elle est carrée, d'ordre N.

2/ Seuls les éléments correspondant à des liaisons I-J du réseau sont non nuls. La matrice comporte donc beaucoup de zéro.

3/ Elle est du type "bande", c'est à dire que les termes non

nuls sont regroupés autour de la diagonale principale.

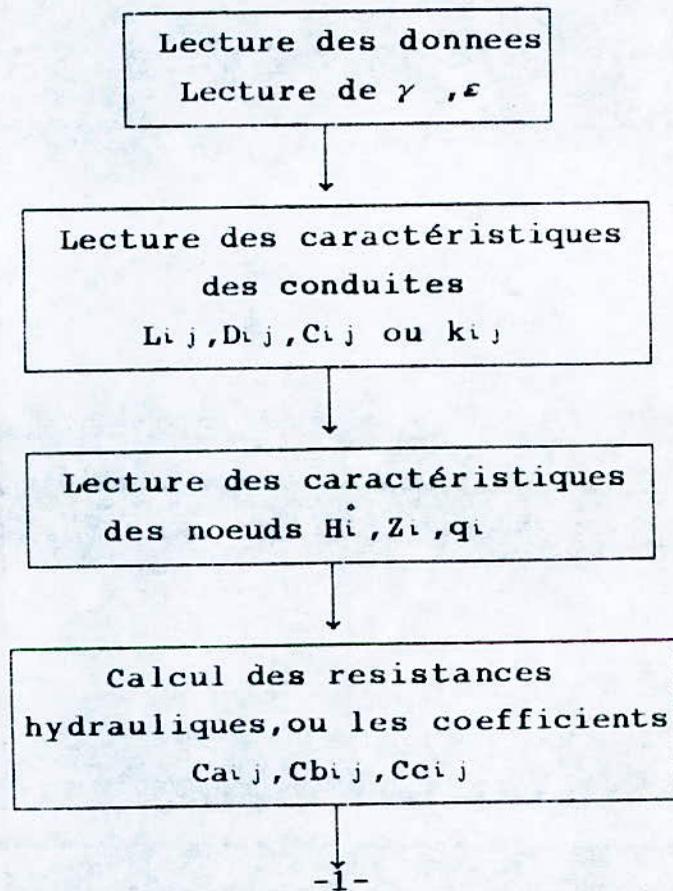
5- PRESENTATION DU PROGRAMME:

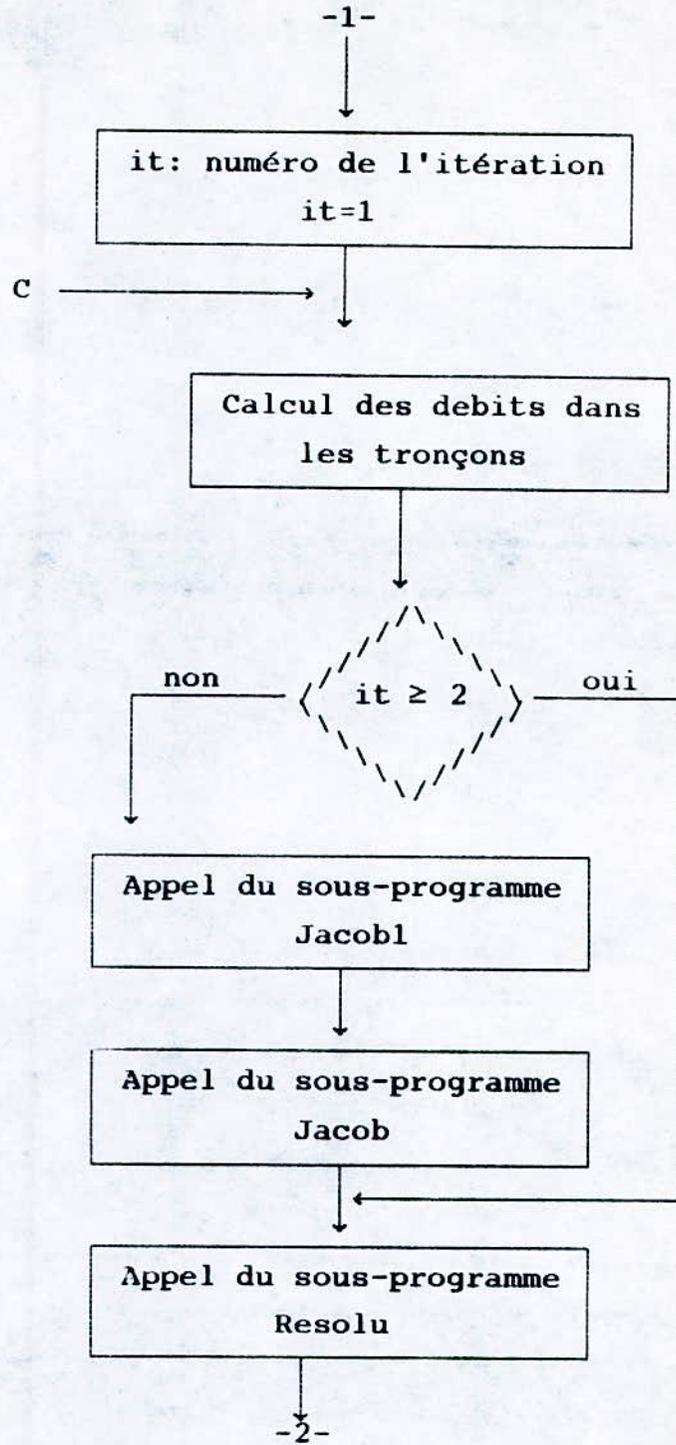
Ce travail consiste en une partie à vérifier les résultats que donne chacune des formules de Hazen Williams et Colbrook White, on a élaboré pour cela deux programmes en langage FORTRAN 77.

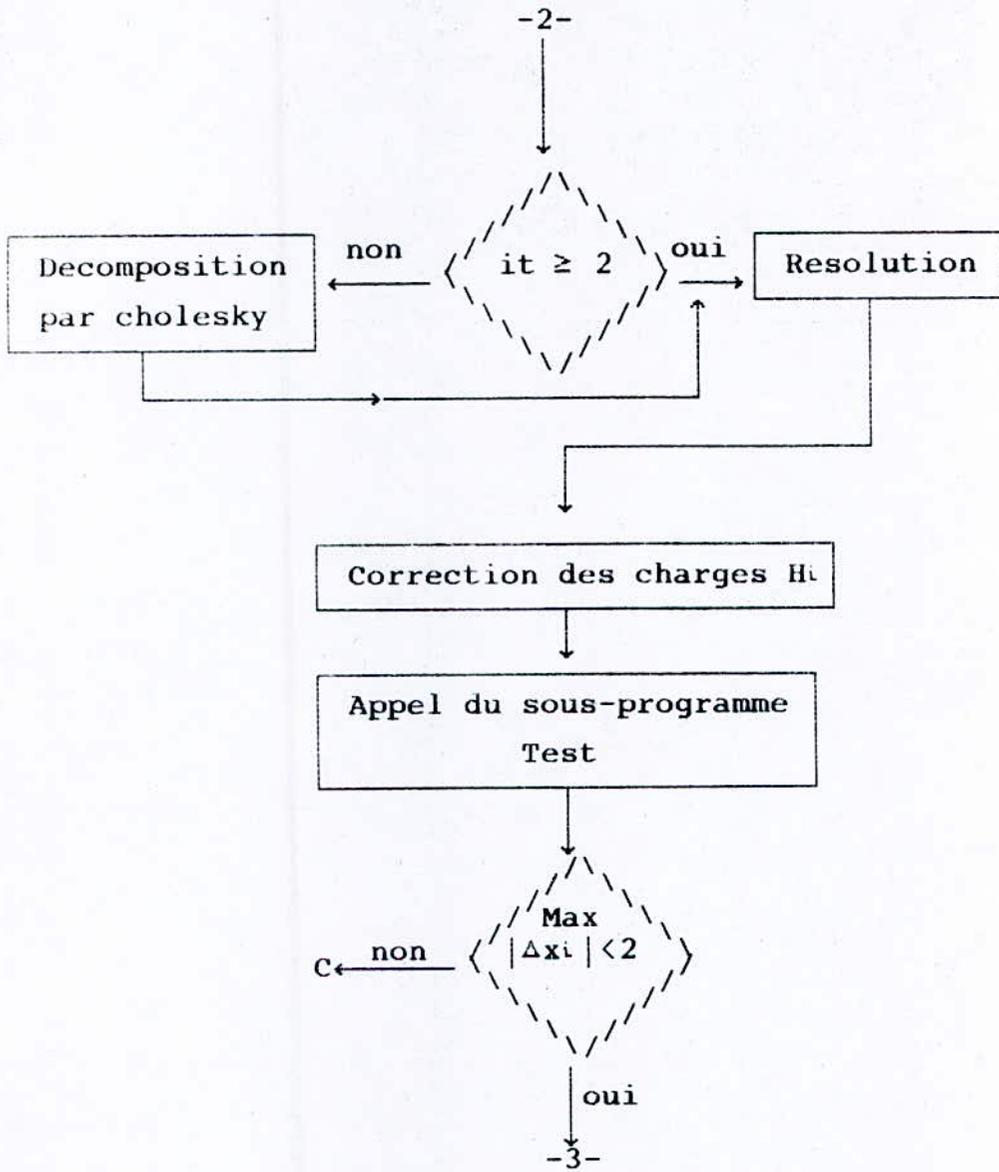
Dans ce qui suit , on présentera l'organisation générale qui est constituée d'un programme principal faisant appel à plusieurs sous-programmes.

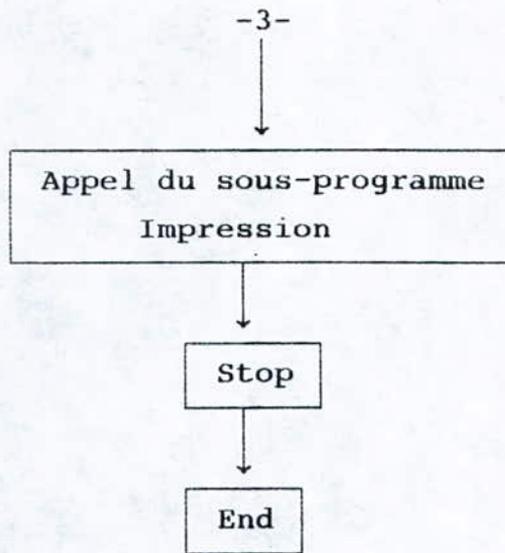
5-1 ORGANIGRAMME

ORGANIGRAMME

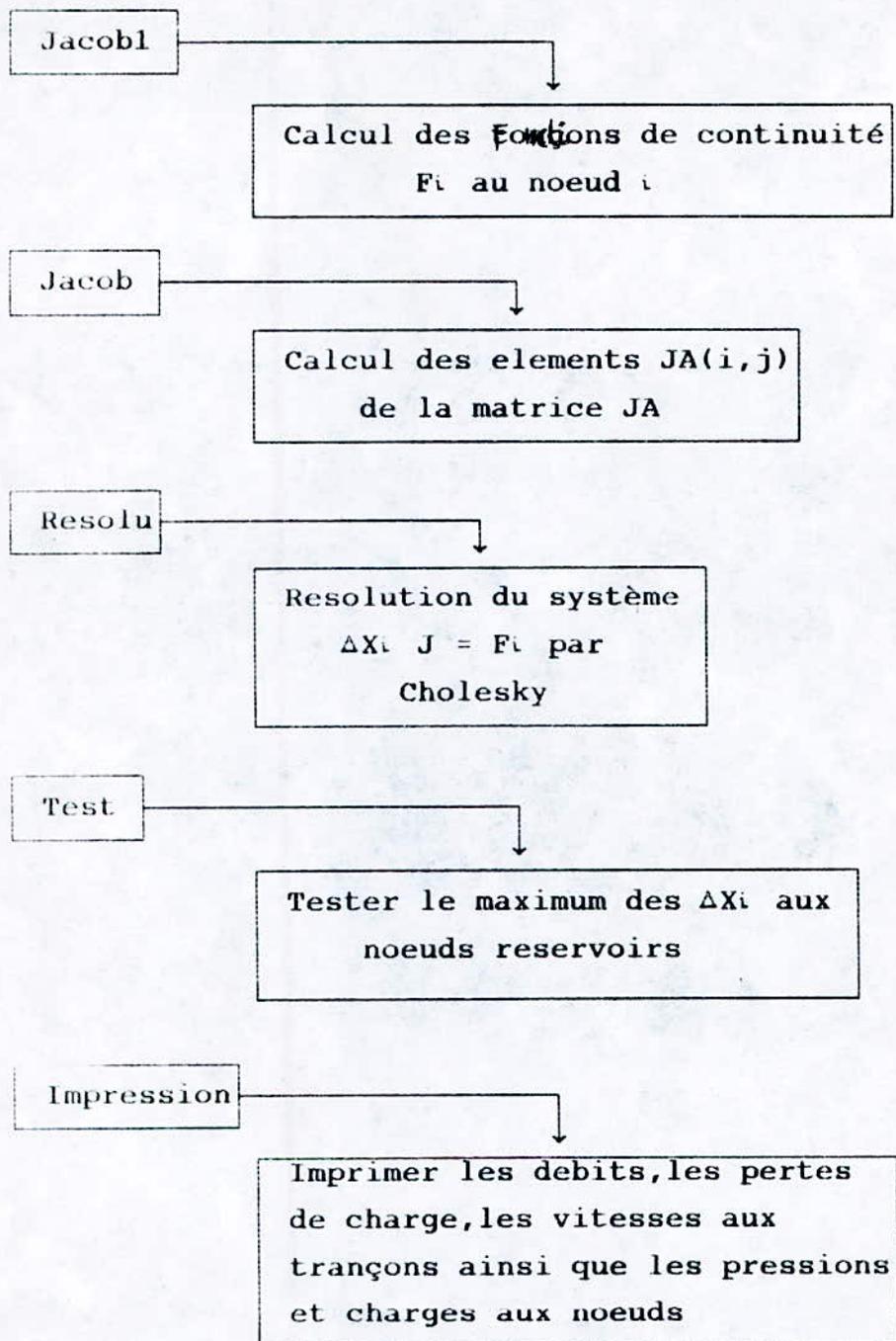
a - Programme principal







b-Sous-programmes



5-2. Description du programme principal:

Le programme principal commence par l'introduction des données nécessaires à savoir, les caractéristiques de chaque conduite, les caractéristiques des noeuds et les caractéristiques du réseau.

1/ Les caractéristiques générales du réseau:

Ces caractéristiques sont:

- Le nombre total de noeuds.
- le nombre total des tronçons.
- Le niveau de précision souhaité dans les calculs.
- La viscosité de l'eau.

2/ Les caractéristiques des conduites:

Pour chaque tronçon on doit connaître:

- * I, le noeud initial.
- * J, le noeud final.
- * Le type d'organe hydraulique qu'il y a dans les liaisons I-J.
- * Le diamètre, la longueur, les coefficients de Hazen Williams ou la rugosité.

Après cette lecture, on pourra calculer les résistances hydrauliques par Hazen Williams, ou les coefficients de l'équation de Colbrook White et dans les deux cas les débits aux tronçons I-J.

3/ Les caractéristiques des noeuds:

Pour chaque noeud on doit lire:

- La consommation.
- L'altitude.
- La charge initiale.

Il faut savoir le noeud où est situé le réservoir, et la charge du réducteur de pression s'il en existe.

Après il y a l'appel des sous-programme et donc chacun effectuera une fonction particulière.

5-3. Description des sous-programmes:

1/ Sous-programme Jacob 1:

Il permet de calculer la somme algébrique des débits entrant et sortant au noeud i ce qui permet d'évaluer le vecteur $F(i)$.

2/ Sous-programme Jacob:

Il permet de calculer les éléments $A_{ij}(I, J)$ de la matrice Jacobienne A_{ij} en évaluant les dérivées $\frac{\partial F_i}{\partial H_j}$, $\frac{\partial F_j}{\partial H_i}$, $\frac{\partial F_i}{\partial H_k}$, $\frac{\partial F_j}{\partial H_l}$ d'après le type d'élément et le sens d'écoulement.

$$\rightarrow \begin{bmatrix} A_{ij}(I, I) & A_{ij}(I, J) \\ A_{ij}(J, I) & A_{ij}(J, J) \end{bmatrix}$$

et en introduisant les réservoirs en posant l'élément $A_{ij}(I, J)$ égale à :

$$0 \text{ si } I \neq J.$$

$$1 \text{ si } I = J.$$

3/ Sous-programme résolu:

Il permet de décomposer la matrice Jacobienne A_j en deux matrices L.U par la méthode de Cholesky [2] et de résoudre le système $\Delta X_i L.U = - F(i)$, ce qui permet donc d'évaluer les corrections ΔX_i et corriger les charges H_i estimées.

4/ Sous-programme TEST:

Il permet de vérifier la précision fixée auparavant, c'est à dire voir si le max $\|\Delta X_i\|$ est inférieur ou égale à ϵ et donc arrêter le calcul itératif.

ΔX_i est la correction du noeud réservoir.

5/ Sous-programme impression:

Il permet de calculer la vitesse et la perte de charge en chaque tronçon I, J.

$$\Delta H_{ij} = H_i - H_j$$

$$V_{ij} = 4 \cdot Q_{ij} / \pi D^2$$

la pression en chaque noeud I.

$$P_i = H_i - Z_i$$

Il permet aussi d'imprimer à la fin le débit, la vitesse, la perte de charge en chaque tronçon I, J, la charge, la pression en chaque noeud et le nombre d'itérations.

**APPLICATIONS
NUMERIQUES**

L'application numérique du modèle de calcul a été faite sur cinq réseaux tests et réels.

* Caractéristiques des réseaux:

Réseaux d'essai:

Réseau 1 (Réseau maillé)

Nombre de maille : 2

Nombre de noeuds : 6

Nombre de tronçons : 7

Nombre de réservoirs : 1

Réseau 2 (Réseau maillé)

Nombre de maille : 4

Nombre de noeuds : 9

Nombre de tronçons : 12

Nombre de réservoirs : 3

Nombre de clapets anti-retour : 2

Réseau 3 (Réseau maillé avec une ramification)

Nombre de maille : 5

Nombre de noeuds : 18

Nombre de tronçons : 22

Nombre de réservoirs : 3

Nombre de pompes : 1

Réseaux d'application réels

Réseaux 4 : (Réseau maillé de BOUMEHRH à Guelma)

Nombre de maille : 11

Nombre de noeuds : 26

Nombre de tronçons : 36

Nombre de réservoirs : 1

Réseau 5: (Réseau ramifié de DIKHIL à Djibouti)

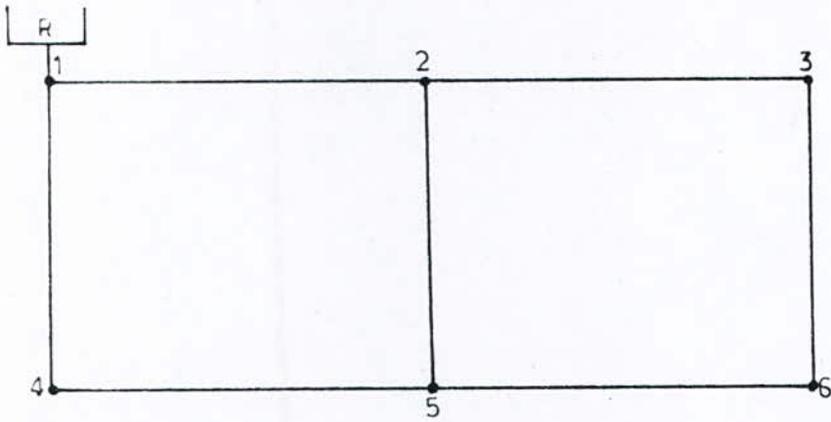
Nombre de maille : 0

Nombre de noeuds : 62

Nombre de tronçons : 61

Nombre de réservoirs : 2

Reseau N° 1



RESEAU N°1			
TABLEAU DES DONNEES			
Caractéristiques des tronçons			
Tronçon	D (m)	L (m)	C
1 - 2	.200	300.00	110.
1 - 4	.200	230.00	110.
2 - 5	.100	350.00	110.
4 - 5	.100	200.00	110.
2 - 3	.150	430.00	110.
3 - 6	.080	340.00	110.
5 - 6	.080	230.00	110.

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	q (l/s)	Z (m)	H(m)
1	-57.00	65.00	100.00
2	11.00	42.80	97.00
3	9.00	40.70	95.00
4	10.00	39.50	99.00
5	12.00	38.60	93.00
6	15.00	41.40	84.00

Resultat par la methode de hardy-cross
(HAZEN-WILLIAMS)

R E S E A U N°1			
T A B L E A U D E S R E S U L T A T S			
Caractéristiques des tronçons			
Tronçon	Q [m ³ /s]	Dh[m]	v[m/s]
1 - 2	34.810	2.03	1.100
1 - 4	22.180	0.678	.706
2 - 3	16.030	2.82	.917
2 - 5	7.784	4.35	.980
3 - 6	7.034	10.30	1.298
4 - 5	12.185	8.84	1.453
5 - 6	7.965	11.49	1.576

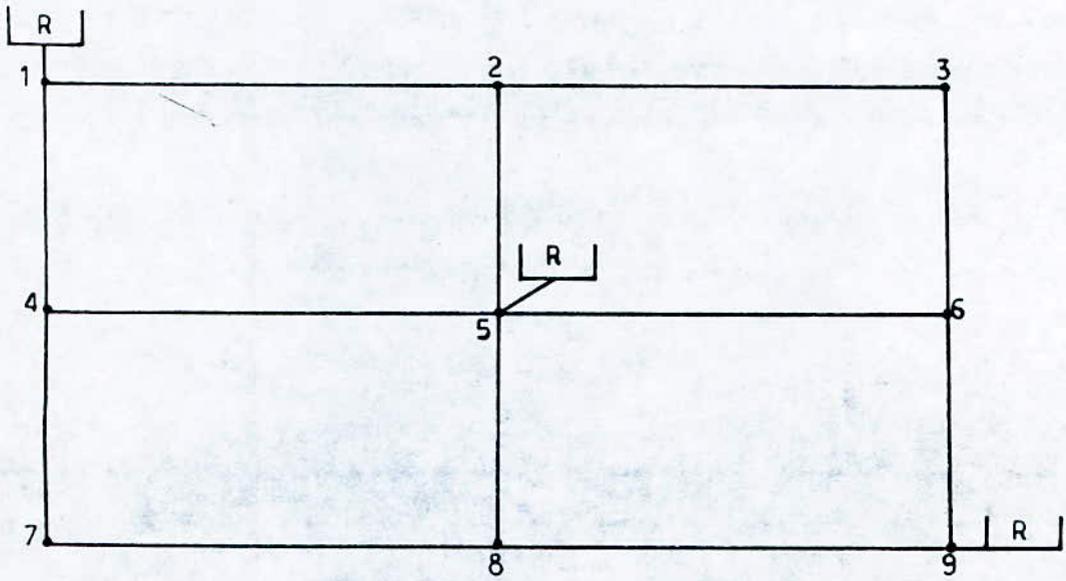
Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	100.00	65.00	35.00
2	97.96	42.80	55.10
3	95.13	40.70	54.40
4	99.30	39.50	59.80
5	93.59	38.60	54.90
6	84.74	41.40	43.30

Resultat par Newton-R modifiée
(formule de Hazen-Williams)

RESEAU N°1			
TABLEAU DES RESULTATS			
Caractéristiques des tronçons			
Tronçon	Q [m ³ /s]	Dh[m]	v[m/s]
1 - 2	34.805	2.66	1.108
1 - 4	22.195	.89	.706
2 - 3	16.028	3.68	.907
2 - 5	7.777	5.64	.990
3 - 6	7.028	13.46	1.398
4 - 5	12.195	7.42	1.553
5 - 6	7.972	11.49	1.586

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	100.00	65.00	35.00
2	97.34	42.80	54.54
3	93.66	40.70	52.96
4	99.11	39.50	59.61
5	91.70	38.60	53.10
6	80.20	41.40	38.80

Reseau N° 2



RESEAU N°2				
TABLEAU DES DONNEES				
Caractéristiques des tronçons				
Tronçon	D (m)	L (m)	C	k(mm)
1 - 2	.200	300.00	141.	0.05
2 - 3	.150	430.00	141.	0.05
1 - 4	.200	230.00	141.	0.05
5 - 2	.100	350.00	141.	0.05
3 - 6	.080	340.00	141.	0.05
5 - 4	.100	200.00	141.	0.05
5 - 6	.080	230.00	141.	0.05
7 - 4	.100	210.00	141.	0.05
5 - 8	.100	310.00	141.	0.05
9 - 6	.080	400.00	141.	0.05
8 - 7	.080	460.00	141.	0.05
9 - 8	.100	360.00	141.	0.05

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	q (l/s)	Z (m)	H(m)
1	.00	100.00	100.00
2	5.50	42.80	96.00
3	4.50	40.70	95.00
4	6.00	49.50	97.50
5	.00	100.00	100.00
6	7.50	41.40	90.00
7	6.00	38.6	97.00
8	7.50	37.6	98.00
9	0.00	100.0	100.00

Resultat par la methode de Newton-R
(la formule de Colbrook-white)

RESEAU N°2			
TABLEAU DES RESULTATS			
Caractéristiques des tronçons			
Tronçon	Q (m3/s)	Dh(m)	v(m)
1 - 2	12.050	0.03	.365
1 - 4	10.979	0.21	.363
2 - 3	6.266	0.62	.379
3 - 6	1.792	0.72	.379
5 - 2	0.000	----	.000
5 - 4	1.889	0.21	.245
5 - 6	3.321	1.37	.642
5 - 8	6.526	2.45	.834
4 - 7	7.013	1.12	.669
7 - 8	1.123	0.57	.213
9 - 6	2.328	1.37	.462
9 - 8	0.000	----	.000

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	100.00	65.00	35.00
2	99.97	42.80	56.17
3	99.35	40.70	58.65
4	99.79	49.50	50.29
5	100.00	65.00	35.00
6	98.63	41.40	57.23
7	98.12	38.60	59.52
8	97.55	37.60	59.95
9	100.00	65.00	35.00

Resultat par la methode de Newton-R
(la formule de Hazen-williams)

RESEAU N°2			
TABLEAU DES RESULTATS			
Caractéristiques des tronçons			
Tronçon	Q (m ³ /s)	Dh(m)	v(m)
1 - 2	11.856	0.23	.377
1 - 4	11.084	0.15	.353
2 - 3	6.356	0.42	.359
3 - 6	1.856	0.42	.369
5 - 2	0.000	----	.000
5 - 4	1.935	0.16	.246
5 - 6	3.240	1.37	.644
5 - 8	6.476	2.25	.824
4 - 7	7.023	1.77	.639
7 - 8	1.023	0.32	.203
9 - 6	2.403	1.92	.478
9 - 8	0.000	----	.000

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	100.00	65.00	35.00
2	99.77	42.80	56.97
3	99.35	40.70	58.65
4	99.84	49.50	50.34
5	100.00	65.00	35.00
6	98.63	41.40	57.23
7	98.07	38.60	60.03
8	97.75	37.60	59.15
9	100.00	65.00	35.00

Resultat par la methode de Newton-R modifiee
(la formule de Hazen-williams)

RESEAU N°2			
TABLEAU DES RESULTATS			
Caractéristiques des tronçons			
Tronçon	Q (m ³ /s)	Dh(m)	v(m)
1 - 2	11.858	0.23	.378
1 - 4	11.097	0.15	.353
2 - 3	6.356	0.42	.359
3 - 6	1.765	0.42	.359
5 - 2	0.000	----	.000
5 - 4	1.937	0.16	.246
5 - 6	3.240	1.37	.634
5 - 8	6.449	2.25	.824
4 - 7	6.965	1.77	.639
7 - 8	1.038	0.32	.202
9 - 6	2.403	1.92	.478
9 - 8	0.000	----	.000

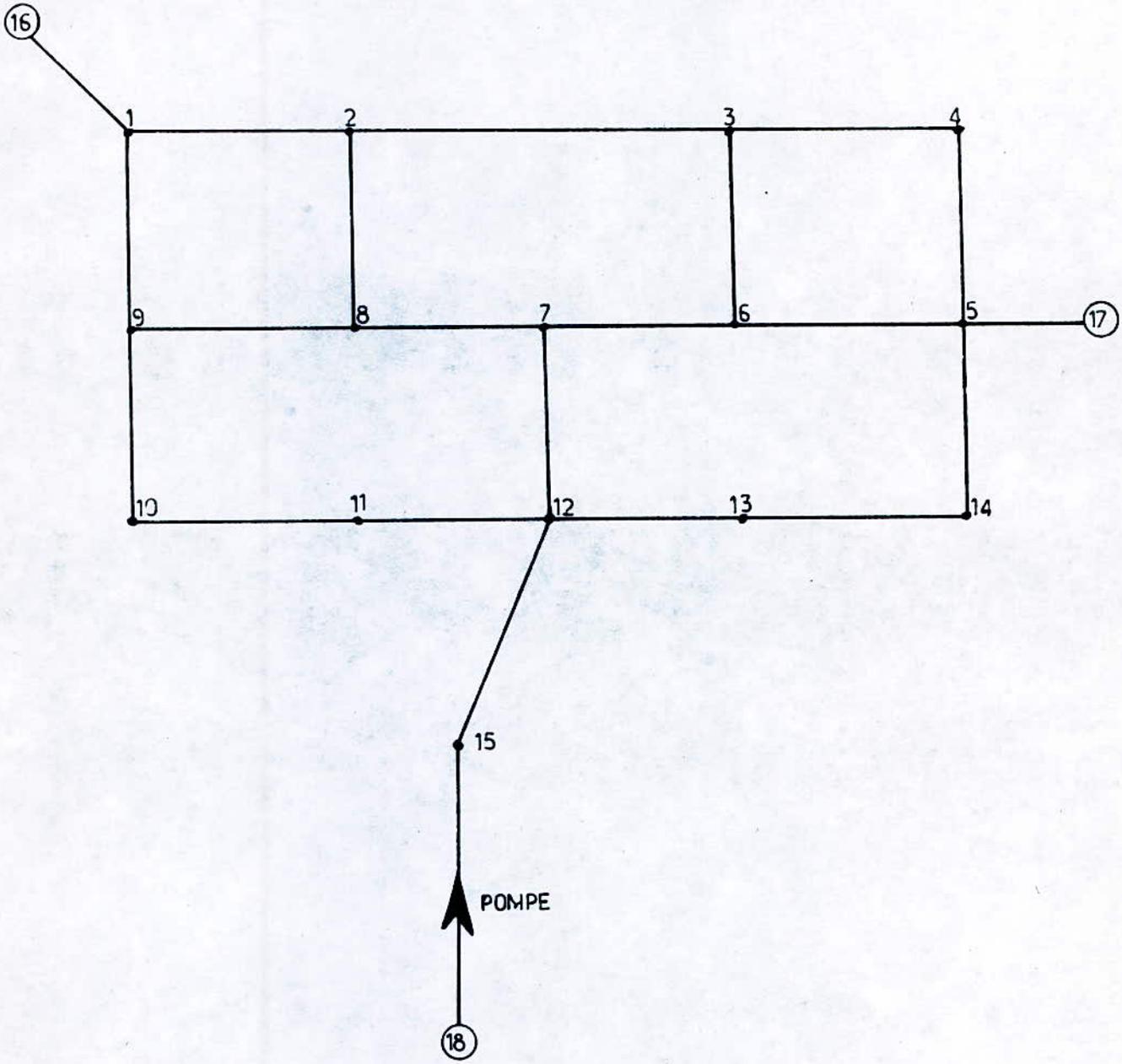
Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	100.00	65.00	35.00
2	99.77	42.80	56.97
3	99.35	40.70	58.65
4	99.84	49.50	50.34
5	100.00	65.00	35.00
6	98.62	41.40	57.23
7	98.10	38.60	60.03
8	97.77	37.60	60.17
9	100.00	65.00	35.00

Resultat par la methode de Newton-R modifiee
(la formule de Colbrook-white)

RESEAU N°2			
TABLEAU DES RESULTATS			
Caractéristiques des tronçons			
Tronçon	Q (m ³ /s)	Dh(m)	v(m)
1 - 2	12.052	0.04	.364
1 - 4	10.978	0.21	.361
2 - 3	6.366	0.61	.377
3 - 6	1.772	0.72	.379
5 - 2	0.000	----	.000
5 - 4	1.899	0.21	.245
5 - 6	3.331	1.37	.643
5 - 8	6.527	2.55	.834
4 - 7	7.009	1.12	.668
7 - 8	1.133	0.64	.211
9 - 6	2.318	1.37	.463
9 - 8	0.000	----	.000

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	100.00	65.00	35.00
2	99.96	42.80	56.16
3	99.35	40.70	58.65
4	99.79	49.50	50.29
5	100.00	65.00	35.00
6	98.63	41.40	57.23
7	98.09	38.60	59.49
8	97.45	37.60	59.85
9	100.00	65.00	35.00

Reseau N° 3



RESEAU N° 3				
TABLEAU DES DONNEES				
Caractéristiques des tronçons				
Tronçon	D (m)	L (m)	C H-W	k (mm)
1 - 2	.610	609.60	141	0.05
2 - 3	.305	762.00	141	0.05
3 - 4	.305	914.40	141	0.05
4 - 5	.610	1219.20	141	0.05
5 - 6	.610	1219.20	141	0.05
6 - 7	.305	914.40	141	0.05
7 - 8	.305	1219.20	141	0.05
8 - 9	.610	914.40	141	0.05
9 -10	.610	1219.20	141	0.05
10 -11	.610	914.40	141	0.05
11 -12	.610	914.40	141	0.05
12 -13	.610	609.60	141	0.05
13 -14	.457	914.40	141	0.05
1 - 9	.610	762.00	141	0.05
2 - 8	.305	914.40	141	0.05
3 - 6	.305	914.40	141	0.05
7 -12	.610	1524.00	141	0.05
5 -14	.610	1524.00	141	0.05
18 -15	-225.650	136.78	141	0.05
12 -15	.914	2438.40	141	0.05
5 -17	.914	3657.60	141	0.05
1 -16	1.524	6096.00	141	0.05

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	q (l/s)	Z (m)	H(m)
1	.00	.00	149.00
2	378.84	.00	145.00
3	378.84	.00	132.00
4	189.42	.00	141.00
5	.00	.00	144.00
6	227.30	.00	142.00
7	189.42	.00	143.00
8	227.30	.00	143.80
9	189.42	.00	144.50
10	189.42	.00	143.40
11	256.19	.00	143.20
12	.00	.00	146.00
13	189.42	.00	143.90
14	378.84	.00	142.80
15	.00	.00	147.22
16	.00	152.40	152.40
17	.00	152.40	152.40
18	.00	106.68	106.68

Resultat par la methode de Newton-R modifiee
(formule de Colbrook-White)

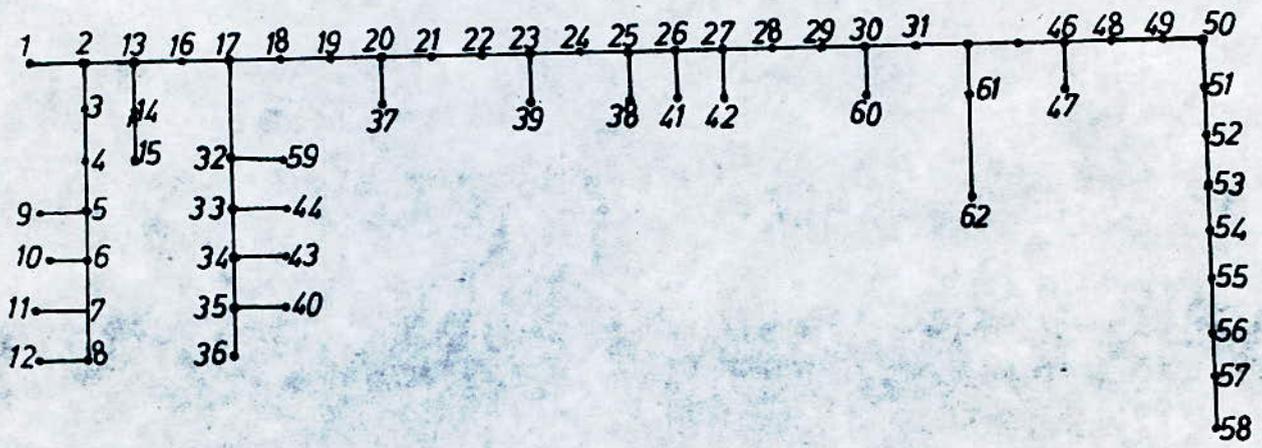
R E S E A U N° 3		
TABLEAU DE RESULTAT		
Caractéristiques des tronçons		
Tronçon	Q (L/s)	dh(m)
1 - 2	588.05	2.71
2 - 3	152.10	8.31
4 - 3	115.24	5.82
5 - 4	306.42	1.57
5 - 6	307.73	1.58
7 - 6	354.04	0.63
8 - 7	254.41	0.46
9 - 8	199.47	0.52
9 -10	213.89	0.79
10 -11	262.13	0.01
12 -11	233.47	0.70
12 -13	300.15	0.75
13 -14	109.57	0.70
1 - 9	601.56	3.55
2 - 8	530.33	1.36
6 - 3	115.15	5.85
12 - 7	200.61	0.88
5 -14	306.43	1.52
18 -15	710.42	-43.02
15 -12	711.56	2.06
17 - 5	887.61	4.69
16 - 1	119.74	1.08

Caractéristiques des noeuds		
Tronçon	h(m)	pr(m)
1	151.31	151.31
2	148.59	148.59
3	140.27	140.27
4	146.14	146.14
5	147.70	147.70
6	146.13	146.13
7	146.76	146.76
8	147.23	147.23
9	147.75	147.75
10	146.95	146.95
11	146.94	146.94
12	147.64	147.64
13	146.89	146.89
14	146.18	146.18
15	149.71	149.71
16	152.40	0.00
17	152.40	0.00
18	106.68	0.00

Resultat par la methode de Newton-R modifiee
(formule de Colbrook-White)

R E S E A U N° 3		
TABLEAU DE RESULTAT		
Caractéristiques des tronçons		
Tronçon	Q (L/s)	dh(m)
1 - 2	589.67	2.84
2 - 3	153.84	8.61
4 - 3	114.43	5.97
5 - 4	305.64	1.68
5 - 6	305.67	1.68
7 - 6	375.89	0.69
8 - 7	260.04	0.51
9 - 8	199.73	0.57
9 -10	214.14	0.87
10 -11	269.83	0.01
12 -11	233.58	0.77
12 -13	301.84	0.82
13 -14	110.42	0.78
1 - 9	602.53	3.71
2 - 8	529.09	1.43
6 - 3	114.42	5.97
12 - 7	200.97	0.90
5 -14	307.03	1.66
18 -15	711.32	-42.89
15 -12	710.96	2.22
17 - 5	884.43	5.03
16 - 1	120.24	1.23

Caractéristiques des noeuds		
Tronçon	h(m)	pr(m)
1	151.16	151.16
2	148.31	148.31
3	139.69	139.69
4	145.68	145.68
5	147.36	147.36
6	145.67	145.67
7	146.37	146.37
8	146.88	146.88
9	147.46	147.46
10	146.58	146.58
11	146.57	146.57
12	147.34	147.34
13	146.52	146.52
14	145.75	146.75
15	149.56	149.56
16	152.40	0.00
17	152.40	0.00
18	106.68	0.00



RESEAU N°4				
TABLEAU DES DONNEES				
Caractéristiques des tronçons				
Tronçon	D (m)	L (m)	C	k (mm)
1 - 4	.125	195.00	141.	0.05
2 - 1	.125	190.00	141.	0.05
2 - 3	.150	238.00	141.	0.05
3 - 4	.100	185.00	141.	0.05
5 - 2	.200	197.00	141.	0.05
5 - 6	.150	369.00	141.	0.05
6 - 7	.080	266.00	141.	0.05
3 - 7	.150	150.00	141.	0.05
8 - 5	.250	237.00	141.	0.05
8 - 9	.150	447.00	141.	0.05
9 - 6	.100	220.00	141.	0.05
10 - 8	.300	130.00	141.	0.05
10 -11	.200	423.00	141.	0.05
11 - 9	.150	129.00	141.	0.05
10 -12	.100	88.00	141.	0.05
12 -13	.080	281.00	141.	0.05
13 -14	.200	142.00	141.	0.05
26 -14	.100	42.00	141.	0.05
11 -26	.100	46.00	141.	0.05
13 -16	.200	247.00	141.	0.05
16 -15	.080	173.00	141.	0.05
14 -15	.150	447.00	141.	0.05
16 -17	.200	176.00	141.	0.05
17 -18	.200	244.00	141.	0.05
15 -18	.250	275.00	141.	0.05
17 -19	.080	190.00	141.	0.05
20 -19	.200	255.00	141.	0.05
18 -20	.150	130.00	141.	0.05
6 -22	.150	222.00	141.	0.05
22 -21	.125	270.00	141.	0.05
7 -21	.150	231.00	141.	0.05
23 -22	.150	241.00	141.	0.05
9 -23	.125	216.00	141.	0.05
24 -23	.100	95.00	141.	0.05
25 -24	.100	65.00	141.	0.05
26 -25	.125	152.00	141.	0.05

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	q (l/s)	Z (m)	H(m)
1	1.72	88.21	120.04
2	1.82	94.55	120.73
3	4.51	94.11	120.28
4	4.82	88.51	121.28
5	4.28	107.60	120.33
6	11.45	101.30	120.10
7	6.35	93.61	120.00
8	8.20	125.30	120.18
9	4.28	100.60	120.89
10	.00	122.90	122.90
11	8.10	101.00	121.75
12	4.80	117.50	121.99
13	.00	104.00	121.37
14	9.38	100.10	120.03
15	2.47	97.42	122.85
16	2.89	97.70	121.27
17	2.75	109.90	121.26
18	2.81	104.40	122.73
19	2.00	101.31	121.80
20	4.63	107.60	122.50
21	5.44	94.50	116.89
22	5.43	94.50	116.84
23	3.88	96.36	115.20
24	4.26	94.12	115.70
25	2.70	96.18	115.25
26	7.75	101.00	115.50

Resultat parla metode de newton-r modifiee
(hazen-williams)

R E S E A U N° 4

T A B L E A U D E S R E S U L T A T S

Caracteristiques des tronçons

Tronçon	Q (m3/s)	Dh(m)	v(m/s)
1 - 4	6.150	.43	.503
2 - 1	7.861	14.23	.643
2 - 3	15.247	1.18	.872
3 - 4	-1.333	-.08	-.172
3 - 7	12.079	.48	.694
5 - 2	24.950	.58	.800
5 - 6	16.585	2.13	.947
6 - 7	0.782	.12	.149
6 -22	8.719	.39	.500
7 -21	6.548	.24	.377
8 - 5	45.620	.72	.939
8 - 9	14.996	2.11	.851
9 - 6	4.243	.74	.543
9 -23	10.235	1.26	.847
10 - 8	69.220	.35	.982
10 -11	35.433	2.41	1.132
10 -12	11.870	1.97	1.491
11 - 9	3.738	.05	.220
11 -26	23.723	3.95	3.004
12 -13	6.900	7.04	1.368
13 -14	-6.012	-.03	-.202
13 -16	11.621	.19	.389
14 -15	5.948	.31	.300
15 -18	4.092	.01	.074
16 -15	0.742	.08	.158
16 -17	7.729	.07	.269
17 -18	3.676	.02	.117
17 -19	1.123	.17	.223
18 -20	5.496	.10	.313

20 -19	5.801	.05	.180
22 -21	-1.134	-.03	-.100
23 -22	-4.368	-.13	-.262
24 -23	-10.812	-1.93	-1.417
25 -24	-6.594	-.53	-.876
26 -14	19.847	2.63	2.550
26 -25	-3.878	-.17	-.341

Caractéristiques des noeuds			
Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	120.54	88.21	32.33
2	121.20	94.55	26.65
3	120.03	94.11	25.92
4	120.10	88.51	31.59
5	121.80	107.60	14.20
6	119.67	101.30	18.37
7	119.55	93.61	25.94
8	122.54	125.30	-2.76
9	120.40	100.60	19.80
10	122.90	122.90	.00
11	120.45	101.00	19.45
12	120.94	117.50	3.44
13	114.15	104.00	10.15
14	114.33	100.10	14.23
15	113.95	97.42	16.53
16	113.97	97.70	16.27
17	113.91	109.90	4.01
18	113.94	104.40	9.54
19	113.75	101.31	12.44
20	113.84	107.60	6.24
21	119.31	94.50	24.81
22	119.29	94.50	24.79
23	119.17	96.36	22.81
24	117.39	94.12	23.27
25	116.90	96.18	20.72
26	116.76	101.00	15.76

Resultat parla metode de newton-r modifiee
(colbrook-white)

R E S E A U N° 4

T A B L E A U D E S R E S U L T A T S

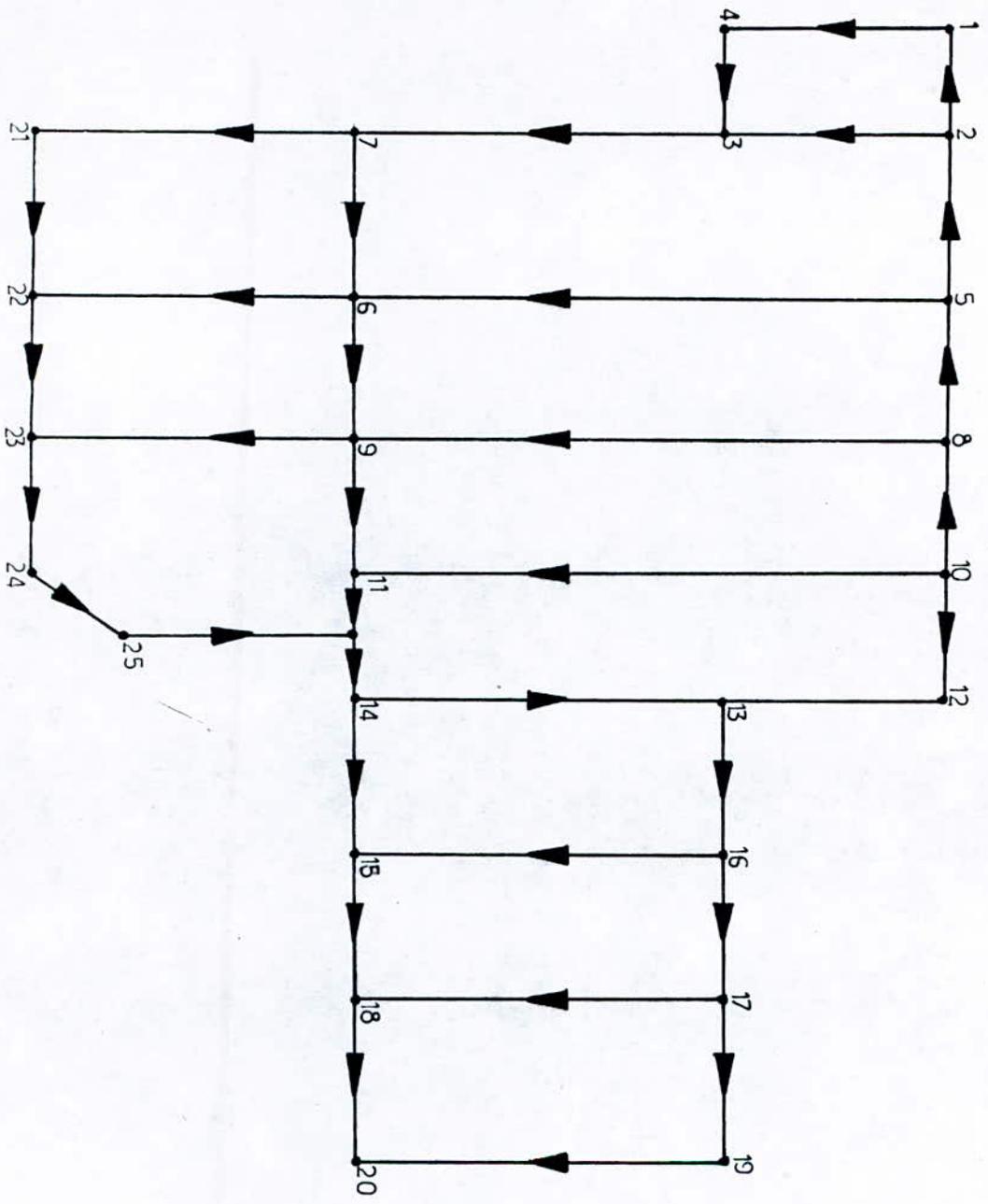
Caracteristiques des tronçons

Tronçon	Q (m3/s)	Dh(m)	v(m/s)
1 - 4	6.169	.43	.503
2 - 1	7.887	14.23	.643
2 - 3	15.418	1.18	.872
3 - 4	-1.350	-.08	-.172
3 - 7	12.259	.48	.694
5 - 2	25.130	.58	.800
5 - 6	16.735	2.13	.947
6 - 7	.749	.12	.149
6 -22	8.833	.39	.500
7 -21	6.663	.24	.377
8 - 5	46.104	.72	.939
8 - 9	15.030	2.11	.851
9 - 6	4.262	.74	.543
9 -23	10.389	1.26	.847
10 - 8	69.426	.35	.982
10 -11	35.559	2.41	1.132
10 -12	11.712	1.97	1.491
11 - 9	3.890	.05	.220
11 -26	23.594	3.95	3.004
12 -13	6.879	7.04	1.368
13 -14	-6.347	-.03	-.202
13 -16	12.220	.19	.389
14 -15	5.305	.31	.300
15 -18	3.632	.01	.074
16 -15	.795	.08	.158
16 -17	8.442	.07	.269
17 -18	3.676	.02	.117
17 -19	1.119	.17	.223

18 -20	5.532	.10	.313
20 -19	5.664	.05	.180
22 -21	-1.224	-.03	-.100
23 -22	-4.624	-.13	-.262
24 -23	-11.132	-1.93	-1.417
25 -24	-6.883	-.53	-.876
26 -14	20.025	2.63	2.550
26 -25	-4.181	-.17	-.341

Caractéristiques des noeuds

Tronçon	H (m)	Z (m)	pr(m)
1	120.58	88.21	32.37
2	121.25	94.55	26.70
3	120.07	94.11	25.96
4	120.15	88.51	31.64
5	121.83	107.60	14.23
6	119.70	101.30	18.40
7	119.58	93.61	25.97
8	122.55	125.30	-2.75
9	120.44	100.60	19.84
10	122.90	122.90	.00
11	120.49	101.00	19.49
12	120.93	117.50	3.43
13	113.88	104.00	9.88
14	113.92	100.10	13.82
15	113.61	97.42	16.19
16	113.69	97.70	15.99
17	113.62	109.90	3.72
18	113.60	104.40	9.20
19	113.45	101.31	12.14
20	113.50	107.60	5.90
21	119.34	94.50	24.84
22	119.31	94.50	24.81
23	119.18	96.36	22.82
24	117.25	94.12	23.13
25	116.71	96.18	20.53
26	116.54	101.00	15.54



Reseau N° 5

Tronçon	Z(m)	q(l/s)
1	510.90	-9.99
2	481.70	0.00
3	485.00	0.00
4	485.00	0.00
5	486.00	0.41
6	487.50	0.41
7	492.00	0.41
8	492.00	0.41
9	486.00	0.41
10	487.50	0.41
11	492.00	0.41
12	498.00	0.41
13	481.00	0.16
14	483.00	0.17
15	483.00	0.17
16	476.00	0.16
17	477.00	0.00
18	477.00	0.18
19	474.00	0.21
20	474.00	0.28
21	473.50	0.29
22	470.50	0.34
23	473.00	0.24
24	474.00	0.14
25	478.00	0.46
26	482.00	0.25
27	482.00	0.28
28	490.00	0.25
29	491.00	0.17
30	496.50	0.22
31	496.50	0.24
32	478.50	0.11
33	495.00	0.80
34	481.00	0.75
35	478.50	0.48
36	474.00	0.21
37	475.50	0.39
38	473.50	0.29
39	473.50	0.39
40	478.00	0.46

41	482.00	0.39
42	483.50	0.39
43	490.00	0.25
44	496.50	0.24
45	501.00	0.35
46	498.00	0.42
47	491.00	0.17
48	500.00	0.54
49	485.50	0.28
50	485.00	0.00
51	480.00	0.39
52	475.50	0.39
53	473.00	0.00
54	475.00	0.39
55	475.00	0.39
56	475.00	0.00
57	472.00	0.39
58	474.00	0.14
59	485.00	0.17
60	494.50	0.39
61	504.00	0.00
62	510.90	-7.25

Reseau N°5

Tronçon	D[mm]	L[m]	C haz-w	k(mm)
1 — 2	200	410	141	0.05
2 — 3	150	285	141	0.05
2 — 13	150	260	141	0.05
3 — 4	150	100	141	0.05
4 — 5	150	125	141	0.05
5 — 6	150	120	141	0.05
5 — 9	100	150	141	0.05
6 — 7	100	125	141	0.05
6 — 10	100	150	141	0.05
7 — 8	100	120	141	0.05
7 — 11	100	150	141	0.05
8 — 12	100	150	141	0.05
13 — 14	80	45	141	0.05
13 — 16	200	100	141	0.05
14 — 15	80	70	141	0.05
16 — 17	200	95	141	0.05
17 — 18	150	160	141	0.05
17 — 32	150	110	141	0.05
18 — 19	150	100	141	0.05
19 — 20	100	90	141	0.05
20 — 21	80	85	141	0.05
20 — 37	80	60	141	0.05
21 — 22	80	110	141	0.05
22 — 23	80	100	141	0.05
23 — 24	80	50	141	0.05
23 — 39	80	15	141	0.05
24 — 25	80	120	141	0.05
25 — 38	80	165	141	0.05
26 — 25	80	140	141	0.05
26 — 41	80	55	141	0.05
27 — 26	80	15	141	0.05
27 — 42	100	85	141	0.05
28 — 27	100	160	141	0.05
29 — 28	100	45	141	0.05
30 — 29	100	85	141	0.05
30 — 60	100	25	141	0.05
31 — 30	100	55	141	0.05
32 — 33	150	70	141	0.05
32 — 59	100	290	141	0.05
33 — 34	100	280	141	0.05

33 — 44	100	150	141	0.05
34 — 35	100	80	141	0.05
34 — 43	100	110	141	0.05
35 — 36	80	70	141	0.05
35 — 40	80	150	141	0.05
45 — 31	100	90	141	0.05
45 — 46	100	130	141	0.05
46 — 47	100	85	141	0.05
46 — 48	100	50	141	0.05
48 — 49	100	175	141	0.05
49 — 50	100	90	141	0.05
50 — 51	100	85	141	0.05
51 — 52	100	60	141	0.05
52 — 53	100	55	141	0.05
53 — 54	100	65	141	0.05
54 — 55	100	75	141	0.05
55 — 56	100	50	141	0.05
56 — 57	100	30	141	0.05
57 — 58	100	340	141	0.05
61 — 45	150	185	141	0.05
62 — 61	150	125	141	0.05

Resultat par Newton-R modifiée
(la formule de Hazen-Williams)

Reseau N°5

Tronçon	q(l/s)	dh(m)	v(m/s)
1 — 2	9.67	0.3204	0.29
2 — 3	3.28	0.1152	0.17
2 — 13	6.69	0.4963	0.36
3 — 4	3.28	0.0404	0.17
4 — 5	3.28	0.0504	0.16
5 — 6	2.46	0.0285	0.14
5 — 9	0.41	0.0093	0.05
6 — 7	1.64	0.1007	0.19
6 — 10	0.41	0.4100	0.05
7 — 8	0.82	0.0267	0.10
7 — 11	0.41	0.0092	0.05
8 — 12	0.41	0.0093	0.05
13 — 14	0.34	0.0058	0.06
13 — 16	6.19	0.0323	0.21
14 — 15	0.17	0.0025	0.03
16 — 17	6.03	0.0293	0.17
17 — 18	2.56	0.0410	0.13
17 — 32	3.47	0.0493	0.21
18 — 19	2.40	0.0227	0.13
19 — 20	2.19	0.1243	0.27
20 — 21	1.52	0.1768	0.30
20 — 37	0.39	0.0100	0.07
21 — 22	1.23	0.1548	0.24
22 — 23	0.89	0.0776	0.17
23 — 24	0.26	0.0040	0.06
23 — 39	0.39	0.0025	0.08
24 — 25	0.12	0.0024	0.03
25 — 38	0.29	0.0159	0.06
26 — 25	0.62	0.0562	0.13
26 — 41	0.39	0.0092	0.08
27 — 26	1.26	0.0222	0.24
27 — 42	0.39	0.0050	0.05

28 — 27	1.93	0.1752	0.23
29 — 28	2.18	0.0617	0.27
30 — 29	2.35	0.1339	0.29
30 — 60	0.39	0.0014	0.06
31 — 30	2.96	0.1327	0.38
32 — 33	3.19	0.0269	0.19
32 — 59	0.17	0.0036	0.03
33 — 34	2.15	0.3722	0.25
33 — 44	0.24	0.0035	0.03
34 — 35	1.15	0.0334	0.03
34 — 43	0.25	0.0027	0.03
35 — 36	0.21	0.0037	0.04
35 — 40	0.46	0.0339	0.08
45 — 31	3.20	0.2508	0.39
45 — 46	3.70	0.4745	0.47
46 — 47	0.17	0.0010	0.02
46 — 48	3.12	0.1324	0.39
48 — 49	2.36	0.2786	0.30
49 — 50	2.09	0.1135	0.28
50 — 51	2.09	0.1072	0.26
51 — 52	1.69	0.0516	0.21
52 — 53	1.31	0.0292	0.17
53 — 54	1.31	0.0345	0.17
54 — 55	0.92	0.0207	0.12
55 — 56	0.53	0.0050	0.06
56 — 57	0.53	0.0030	0.06
57 — 58	0.14	0.0028	0.02
61 — 45	7.26	0.3262	0.40
62 — 61	7.26	0.2204	0.40

Résultat par Newton-R modifiée
(formule de Hazen-Williams)

Reseau N° 5

Tronçon	Charge[m]	p[m]
1	510.90	0.00
2	510.57	28.92
3	510.46	25.52
4	510.42	25.48
5	510.37	24.44
6	510.34	22.91
7	510.24	18.32
8	510.22	13.29
9	510.36	24.43
10	510.34	22.90
11	510.23	18.31
12	510.21	12.29
13	510.19	29.26
14	510.18	27.25
15	510.17	27.25
16	510.15	34.23
17	510.12	33.20
18	510.08	33.17
19	510.06	36.15
20	509.93	36.03
21	509.76	36.35
22	509.60	39.20
23	509.53	36.62
24	509.52	35.62
25	509.52	31.61
26	509.52	27.66
27	509.60	27.68
28	509.77	19.85
29	509.84	18.90
30	509.97	13.53
31	510.10	13.66
32	510.07	31.66
33	510.05	15.14
34	509.70	28.78
35	509.64	31.25

36	509.64	35.75
37	509.93	34.52
38	509.50	36.10
39	509.52	36.12
40	509.61	31.72
41	509.57	27.65
42	509.60	26.18
43	509.67	19.78
44	510.04	13.63
45	510.35	9.40
46	509.87	11.93
47	509.87	18.93
48	509.74	9.80
49	509.47	23.04
50	509.35	24.43
51	509.25	29.33
52	509.19	33.78
53	509.16	36.25
54	509.13	34.22
55	509.11	34.20
56	509.11	34.20
57	509.10	37.19
58	509.10	35.19
59	510.07	25.16
60	509.97	15.53
61	510.68	6.70
62	510.90	0.00

Resultat par Newton-R modifiée
(la formule de Colbrook-White)

Reseau N°5

Tronçon	q(l/s)	dh(m)	v(m/s)
1 — 2	9.99	0.2810	0.32
2 — 3	3.28	0.1012	0.19
2 — 13	6.71	0.3626	0.38
3 — 4	3.28	0.0355	0.19
4 — 5	3.28	0.0444	0.19
5 — 6	2.46	0.0248	0.14
5 — 9	0.41	0.0087	0.05
6 — 7	1.64	0.0938	0.21
6 — 10	0.41	0.0087	0.05
7 — 8	0.82	0.0246	0.10
7 — 11	0.41	0.0087	0.05
8 — 12	0.41	0.0087	0.05
13 — 14	0.34	0.0056	0.06
13 — 16	6.21	0.0277	0.21
14 — 15	0.17	0.0025	0.03
16 — 17	6.05	0.0250	0.19
17 — 18	2.58	0.0362	0.15
17 — 32	3.47	0.0435	0.20
18 — 19	2.42	0.0201	0.13
19 — 20	2.21	0.1191	0.21
20 — 21	1.54	0.1774	0.30
20 — 37	0.39	0.0096	0.07
21 — 22	1.25	0.1541	0.24
22 — 23	0.91	0.0768	0.18
23 — 24	0.28	0.0044	0.06
23 — 39	0.39	0.0024	0.08
24 — 25	0.14	0.0031	0.03
25 — 38	0.29	0.0154	0.06
26 — 25	0.61	0.0508	0.12
26 — 41	0.39	0.0088	0.08
27 — 26	1.25	0.0210	0.25
27 — 42	0.39	0.0045	0.05
28 — 27	1.92	0.1619	0.24
29 — 28	2.17	0.0575	0.28

30 — 29	2.34	0.1255	0.30
30 — 60	0.39	0.0013	0.05
31 — 30	2.95	0.1267	0.38
32 — 33	3.19	0.0236	0.18
32 — 59	0.17	0.0036	0.02
33 — 34	2.15	0.3519	0.27
33 — 44	0.24	0.0034	0.03
34 — 35	1.15	0.0334	0.03
34 — 43	0.25	0.0027	0.03
35 — 36	0.21	0.0037	0.04
35 — 40	0.46	0.0323	0.09
45 — 31	3.19	0.2413	0.41
45 — 46	3.71	0.4675	0.47
46 — 47	0.17	0.0011	0.02
46 — 48	3.12	0.1286	0.40
48 — 49	2.37	0.2651	0.30
49 — 50	2.09	0.1071	0.27
50 — 51	2.09	0.1012	0.27
51 — 52	1.70	0.0482	0.21
52 — 53	1.31	0.0270	0.17
53 — 54	1.31	0.0319	0.17
54 — 55	0.92	0.0190	0.12
55 — 56	0.53	0.0046	0.06
56 — 57	0.53	0.0028	0.06
57 — 58	0.14	0.0030	0.02
61 — 45	7.25	0.2999	0.41
62 — 61	7.26	0.2028	0.41

Resultat par la Methode de Newton-R modifiee
(Colbrook-white)

Reseau N° 5

Tronçon	Charge[m]	p[m]
1	510.90	0.00
2	510.62	28.87
3	510.52	25.46
4	510.48	25.48
5	510.44	24.37
6	510.41	22.84
7	510.32	18.24
8	510.29	13.22
9	510.43	24.36
10	510.40	22.84
11	510.31	18.23
12	510.29	12.21
13	510.29	29.19
14	510.25	27.18
15	510.25	27.17
16	510.23	34.15
17	510.20	33.12
18	510.17	33.08
19	510.15	36.06
20	510.93	35.93
21	509.85	36.26
22	509.70	39.10
23	509.62	36.53
24	509.62	35.52
25	509.61	31.52
26	509.66	27.52
27	509.68	27.60
28	509.85	19.77
29	509.90	18.84
30	510.03	13.47
31	510.16	13.60
32	510.16	31.57
33	510.14	15.05
34	509.78	28.70
35	509.75	31.14

36	509.75	35.64
37	510.02	34.43
38	509.60	36.00
39	509.62	36.02
40	509.72	31.61
41	509.65	27.57
42	509.68	26.10
43	509.78	19.67
44	510.13	13.54
45	510.40	9.35
46	509.94	11.87
47	509.94	18.87
48	509.80	9.74
49	509.55	23.97
50	509.45	24.35
51	509.33	29.25
52	509.21	33.69
53	509.18	36.16
54	509.22	34.13
55	509.20	34.11
56	509.20	34.11
57	509.19	37.10
58	509.19	35.10
59	510.16	25.07
60	510.05	15.47
61	510.68	6.68
62	510.90	0.00

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Le dimensionnement et le calcul des réseaux de distribution d'eau potable ont toujours été un sujet d'études et de recherche, plusieurs méthodes ont été utilisées dans ce contexte pour résoudre un tel problème. Pour cela nous avons élaboré un nouveau modèle de calcul traitant la méthode de Newton Raphson modifiée qui a permis efficacement de calculer la répartition des pressions et des débits dans un réseau quelque soit sa complexité et sa taille.

Cette méthode a permis aussi d'apporter quelques améliorations techniques tels que, minimiser le temps de calcul, converger plus rapidement vers la solution finale du processus itératif, introduire la formulation des organes hydrauliques, et dimensionner plus simplement un réseau à plusieurs réservoirs.

Pour le calcul de vérification entre la formule de Hazen-Williams et Colbrook-White, on a pu observer une grande similitude des résultats obtenus par les deux; ce qui a permis de constater que la viscosité n'influence pas les calculs.

En effet, pour un réseau de distribution d'eau, l'écoulement se trouve toujours en saturation de turbulence et le nombre de Reynolds devient donc trop grand pour influencer le coefficient de frottement λ de l'équation de Colbrook-White, donc il est plus convenable d'utiliser des formules qui tiennent compte que de la rugosité.

Cependant il faut trouver une relation qui pourra lier entre le coefficient de Hazen-Williams et la rugosité des conduites.

Ce qu'on peut suggérer à la fin de ce travail, c'est de trouver un moyen de faire une bonne numérotation de telle manière à obtenir une matrice jacobienne creuse et de redresser cette dernière pour pouvoir économiser de la place mémoire, et de rendre le modèle de calcul compatible à la résolution de problèmes de dimensionnement des réseaux de distribution d'eau potable.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BONNIN.J
Hydraulique urbaine
Edition Eyrolles (1977).
- [2] BOUMAH RAT
Méthode numérique appliquée (1983).
- [3] CARLIER.M
Hydraulique générale et appliquée
Edition Eyrolles (1980).
- [4] DEMIDOVITCH.B
Elément de calcul numérique.
- [5] DUPONT.A
Hydraulique urbaine Tome II
Edition Eyrolles (1979).
- [6] HUG.M
Mécanique des fluides appliquée
Edition Eyrolles (1975).
- [7] LEBDI.F
Recherche d'une méthode d'optimisation des réseaux
maillés sous pression
Thèse de doctorat -Institut National Polytechnique de
Toulouse (1985).

- [8] LEMIEUX.A
Efficient algorithm for distribution net works journal
of the hydraulics division (1972).
- [9] LEKAN.T
Model de calcul de l'écoulement en régime permanent dans
un réseau d'eau maillé
Journal Hydraulic Research (1979).
- [10] MAHDJOUR.Z
Contribution à l'étude de l'optimisation des réseaux
maillés
Thèse de doctorat d'état
Ecole Nationale Polytechnique de Toulouse (1983).
- [11] MERABTENE.T
Contribution à l'étude du dimensionnement des réseaux
maillés de distribution d'eau potable
Thèse de Magister
Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (1990).
- [12] OURACH.Y
Ecoulement Forcés en hydraulique (2^{ème} partie)
Collection des cours hydraulique (1990).
- [13] RICHARD.L
Numerical analysis (1981).

