

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**  
**DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة الفنون  
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة الفنون  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

*Projet de fin d'études*  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
en Hydraulique

**Thème**

***Contribution à la gestion des  
réseaux maillés de distribution  
d'eau potable***

Proposé et dirigé par :

M<sup>r</sup> N. DECHEMI  
M<sup>r</sup> A. BERMAD

Etudié par :

M<sup>r</sup> Y. AKBAL  
M<sup>r</sup> H. KHALDI

**Promotion: juin 2000**

E.N.P 10, Avenue Hassen-Badi, B.P.182 EL HARRACH, ALGER

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**  
**DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

*Projet de fin d'études*  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
en Hydraulique

**Thème**

***Contribution à la gestion des  
réseaux maillés de distribution  
d'eau potable***

**Proposé et dirigé par :**

**M<sup>r</sup> N. DECHEMI  
M<sup>r</sup> A. BERMAD**

**Etudié par :**

**M<sup>r</sup> Y. AKBAL  
M<sup>r</sup> H. KHALDI**

**Promotion : juin 2000**

**E.N.P 10, Avenue Hassen-Badi, B.P.182 EL HARRACH, ALGER**

## ملخص

موضوع هذا العمل هو دراسة تأثير التسربات على شبكة توزيع المياه الصالحة للشرب وتأثير مواقع هذه التسربات على الضغوط في العقد و صلاحية إمكانية كشفها بدلالة هذه تغيرات الضغوط في شبكة التوزيع.

كلمات مفتاحيه : شبكة التوزيع، الضغوط، التسربات، العقد.

## Résumé

L'objet de cette thèse est l'étude de l'influence des fuites sur le réseau maillé de distribution d'eau potable et l'effet de différentes positions de fuites sur les pressions aux nœuds, et la validité de la possibilité de la détecté en fonction de la variation des pressions des réseaux d'alimentation.

**Mots clés :** réseau de distribution, pressions, fuites, nœuds

## Abstract

The object of this study is the supervision of the flight influence on sticking network of drinking water distribution and the effect of different position of flight on pressures to nœud , and the validity of the possibility of detected it according to the variation of pressure of the distribution network .

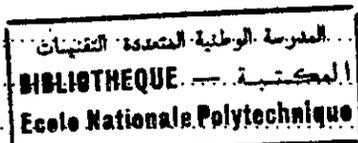
**Keys words:** distribution network, pressures, flight, nœud.

# Sommaire



INTRODUCTION .....	1
<b>Chapitre I</b> .....	
<b>GENERALITES</b> .....	
I-1 Introduction .....	2
I-2 Historique .....	3
I-2-1 Evolution des matériaux constituant d'un réseau d'AEP dans l'histoire .....	3
I-2-2 Réservoirs .....	4
I-2-3 Réseau extérieur de distribution .....	4
I-3 Economie de l'eau pourquoi ? .....	4
I-4 Principe de gestion des réseaux .....	5
I-5 Sécurité de l'alimentation en eau potable .....	6
I-5-1 Mesures de protection et de sécurisation .....	6
I-5-2 La validation des mesures des débits .....	6
I-5-3 Causes des fuites .....	7
I-6 Définitions concernant les réseaux .....	7
I-6-1 Demande instantanée .....	7
I-6-2 L'eau potable .....	7
I-6-3 caractéristiques du réseau .....	7
I-7 Les volumes caractérisants la distribution .....	10
I-8 Entretien du réseau .....	10
Conclusion .....	11
<b>Chapitre II</b> .....	
<b>METHODES DE DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX MAILLES</b> .....	
II-1 Introduction .....	12
II-2 Méthode d'HARDY-CROSS .....	13
II-2-1 Méthode des mailles .....	13
II-2-2 Méthode des nœuds .....	15
II-2-3 Conclusion .....	17
II-3 Méthode de NEWTON-RAPHSON .....	17
II-3-1 Introduction .....	17
II-3-2 Principe de la méthode .....	17
II-3-3 Application aux réseaux maillés .....	20
II-3-3-1 Méthode des mailles .....	20
II-3-3-2 Méthode des nœuds .....	21
II-3-4 Amélioration de la méthode de NEWTON-RAPHSON .....	22
Conclusion .....	22

<b>Chapitre III</b>	<b>METHODE DE LINEARISATION DE L'EQUATION DE PERTE DE CHARGE</b>	
III-1-Introduction.....		23
III-2 Formulation mathématique de la méthode linéaire .....		24
III-3 Amélioration de la méthode .....		27
III-3-1 Numérotation du réseau.....		27
III-3-2 Correction de la répartition initiale des diamètres .....		27
III-3-3 Amélioration de la convergence .....		27
III-3-4 détermination des débits de pointe .....		28
III-3-4-1 Méthodes empiriques .....		28
III-4 Organigramme de la méthode .....		29
III-5 Description des sous programmes.....		30
III-6 Exemple d'application .....		31
III-7 Amélioration numérique proposée à la méthode.....		38
Conclusion .....		44
<b>Chapitre IV</b>	<b>ENTRETIEN DES RESEAUX D'AEP</b>	
IV-1 Introduction .....		45
IV-2 Dois-je renouveler les canalisations ?.....		46
IV-2-1 Connaissances du réseau .....		46
IV-2-2 Entretien des réseaux .....		46
IV-3 Les quelles dois-je renouveler ?.....		47
IV-3-1 Les facteurs de désordre .....		47
IV-3-1-1 Facteurs de désordre internes .....		47
IV-3-1-2 Facteurs de désordre externes .....		48
IV-3-1-3 Facteurs de désordre liés à la conduite.....		48
IV-3-2 Critères de renouvellement .....		48
IV-4 Que dois-je envisager comme travaux ? .....		49
IV-4-1 Réparation proprement dite .....		50
IV-4-2 Chemisage par une gaine souple .....		51
IV-4-3 Réhabilitation sans tranchée .....		53
Conclusion .....		54
<b>Chapitre V</b>	<b>Approche à la détection des fuites dans les réseaux d'AEP</b>	
V-1 Introduction.....		55
V-2 Méthodologie.....		56
V-3 Problématique.....		56
V-4 Présentation du logiciel de simulation.....		57
V-4-1 Dimensionnement .....		57
V-4-2 Simulation.....		57
V-4-3 Organigramme général de simulation .....		58
V-5 Application.....		59
V-5-1 Diagramme journalier de la consommation d'eau.....		59
V-5-2 Schéma du réseau de distribution.....		60



V-5-3 Partie dimensionnement.....	61
V-5-3-1 Résultats de dimensionnement.....	61
V-5-4 Partie simulation.....	64
V-5-4-1 Détermination des pressions à toutes les heures de consommation.....	64
V-5-4-2 Effet de fuites sur le réseau.....	66
V-5-4-2-1 Cas d'une fuite dans le réseau.....	66
V-5-4-2-2 Variation de pression en fonction de débit de fuite.....	69
V-5-4-2-3 Variation de pression en fonction de nombre de fuite dans le réseau.....	72
V-5-4-2-4 Effet de la position de la fuite sur les pressions.....	73
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>74</b>



## REMERCIEMENT

*Nous aimerons remercier ici tous ce qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail.*

*En particulier nos promoteurs monsieur N.DECHEMI et monsieur A.BERMAD.*

*Ainsi qu'à nos parents et nos familles qu'ils trouvent dans ce modeste travail toute notre reconnaissance et nos remerciements pour leur aide, encouragement et dévouement.*

*Nos remerciements s'adressent aussi a nos camarades et amis de la promotion.*

## Introduction

De tout temps, l'alimentation des agglomérations en eau potable a posé un certain nombre de problèmes. Depuis quelques années, certaines localités ont essayé de faire face à tous ces problèmes, mais on a constaté des coûts de travaux et d'entretien de plus en plus élevés, et difficiles à réaliser sous des aspects de plus en plus ambrés par des réseaux divers. Par conséquent, les améliorations et les réparations périodiques sont indispensables.

La durée de vie d'un réseau d'alimentation en eau potable peut se trouver ainsi considérablement prolongée ou diminuée tout dépend de l'entretien du réseau, parce que les ouvrages de celui-ci peuvent se trouver menacés du fait de facteurs aussi divers. Pour prolonger la durée de vie du réseau, on doit déterminer d'une façon bien justifier les travaux d'améliorations répondant aux insuffisances actuelles et les travaux de renforcement, et d'extension permettant de répondre au besoin futur. Pour réaliser des économies en énergie, il convient donc de rechercher une nouvelle approche qui tien suffisamment des problèmes de gestion, d'entretien, d'exploitation des réseaux et des installations.

Comme la fuite est la source de la plupart des problèmes des réseaux, et dans le but d'étudier l'influence des fuites sur le comportement du réseau, pour cela nous avons élaborer un modèle de simulation qui peut contribuer à déterminer l'effet de différente position de fuite sur les pressions aux nœuds, et la validité de l'idée de la possibilité de la détectée en fonction de la variation de pression, qui est l'objet de notre thèse, avec une synthèse des problèmes liés aux réseaux, avec quelques méthodes d'entretien modernes in-situ.

Une conclusion générale mettra l'accent sur l'intérêt pratique d'une telle étude.

# Chapitre I

## Généralités

### I-1 Introduction

*Le citoyen a besoin, pour vivre comme pour jouer son rôle d'agent économique producteur, d'être raccordé à des réseaux de service (énergie, eau potable, télécommunication, monétique, etc.) Or ces réseaux sont vulnérables par leur étendue et par leurs ramifications, bien que leur maillage puisse apporter un élément de sécurité.*

*Pour cela la gestion est très importante dans tous les domaines, y compris le domaine de l'alimentation de l'eau potable due à l'importance de la ressource (l'eau).*

*Pour vulgariser les notions utilisées dans cette thèse, on propose dans ce chapitre quelques définitions concernant les mots utilisés dans le domaine d'alimentation d'eau potable.*

## I-2 Historique [MIAZGA.1987]

A Rome, à l'époque antique, on créa un poste de fontainier, chargé de la surveillance des adductions d'eau et du niveau du réservoir. Il gérait la totalité du service des eaux qui était alors un service d'état.

C'est au même endroit à Rome (au 1<sup>er</sup> siècles avant J-C) que l'on doit l'âge d'or de la distribution d'eau avec un réseau extérieur de distribution constitué des tuyaux en terre ou en plomb équipés de joints en bronze, amenant l'eau des réservoirs à des fontaines ou à des vasques.

Du moyen âge au XIX<sup>e</sup> siècle, le réseau sera toujours conçu à la romaine. Il faut attendre NAPOLEON II pour l'apparition du réseau interne de distribution. Chaque abonné est alors alimenté par un piquage sur la conduite publique.

### I-2-1 Evolution des matériaux des éléments constituant d'un réseau d'AEP dans l'histoire.

Date	Lieu	Matériau
≅ 4000	Vallée de l'indus	?
≅ 2000-1500	Crête, Grèce	poterie
≅ 700	Babylone	?
≅ 600	Carthage	aqueducs en pierre conduites poteries et plomb
≅ 100	Rome	Réseau public Aqueducs en pierre Conduites poteries et plomb Joint en bronze
100	Gaule-France	Réseau public
1850 ...	France	"à la romaine" réseau privé

**I-2-2 Réservoirs**

Date	Matériau
Avant 1850	Maçonnerie
1850	Fonte-acier
1890	Béton
1950	Béton précontraint
après 1950	Protection du matériau par: Matériaux hydrauliques minéraux Matériaux organiques Matériaux plastiques

**I-2-3 Réseau extérieur de distribution**

Date	Matériau
1850	Fonte grise - acier Puit protection du matériau par : Matériaux hydrauliques : ciment Matériaux organiques Matériaux plastiques
1893	Apparition du béton armé
1913	Apparition de l'amiante ciment
1950	Utilisation du PVC
1960	Utilisation de PE

**I-3 Economie de l'eau pourquoi ?**

Qui dit gestion dit économie, et l'économie de l'eau a une grande importance parce que :

- ◆ Les Ressources sont limitées, et les besoins croissent régulièrement.
- ◆ Le coût de la mobilisation, et du traitement est élevé.
- ◆ Les fuites, et les gaspillages entraînent un coût de production élevé et par conséquent augmente le tarif de l'eau.

Le gaspillage provient de :

- ◆ Equipements d'eau et le manque d'entretien de ces derniers.
- ◆ Manque du suivi régulier de la consommation, comportement souvent inconséquent des utilisateurs pour remédier aux insuffisances constatées.

#### **1-4 Principes de gestion des réseaux d'AEP**

La gestion des réseaux d'alimentation en potable a pour principal but, d'assurer :

- ◆ L'entretien courant des réseaux et des ouvrages mécaniques par des interventions de nettoyage, de dépannage, et de maintenance.
- ◆ L'exploitation par la régulation des débits et la synchronisation, traitement, stockage distribution.

En plus des considérations techniques, et économiques:

- ◆ Les dépenses d'investissement, pour l'amélioration de l'état du réseau;
- ◆ Les dépenses d'entretien courants;
- ◆ Les dépenses d'exploitation qui ont des relations dépendantes entre elles.

L'objectif premier de la gestion est de satisfaire la demande, si l'on excepte les travaux et la maintenance, les deux préoccupations majeures de l'exploitant sont de produire l'eau en quantité suffisante pour satisfaire les besoins de consommation (quelques soient leurs modulations journalières), toute la difficulté réside dans la connaissance de cette demande et de sa modélisation temporelle.

Pour cela, il faut des mesures de la demande instantanée, à enrichir la base de données journalières, et à reconstituer à l'aide de celle-ci la demande sous forme prévisionnelle. Cette demande prévisionnelle est une "clé" qui permet de constituer des indicateurs d'exploitation, lesquels anticipent sur les types de défaillance des réseaux. [GAURIAU.1996]

## **I-5 Sécurité de l'alimentation en eau potable**

Assurer la continuité et la fiabilité de la distribution d'eau potable aux populations, c'est la préoccupation que relèvent au quotidien les distributeurs d'eau. Les réseaux modernes sont en général redondants, souvent interconnectés et permettent de limiter la portée des incidents, si bien que les défaillances passent généralement inaperçues pour le consommateur. Mais lorsque survient l'accident grave, c'est toute la population qui est directement menacée.

La vulnérabilité (ou sensibilité) d'un réseau d'alimentation en eau potable est fonction de ses composantes.

### **I-5-1 Mesures de protection et de sécurisation**

#### **a) Disposition de protection physique:**

- ◆ Des fermetures de sécurité et des alarmes anti-intrusion doivent équiper tous les accès aux surfaces libres d'eau potable (réservoir).
- ◆ Les branchements de distribution doivent être équipés de clapet anti-retour (normalement et obligatoirement pour les branchements industriels), afin d'éviter tout retour d'eau contaminée dans le réseau d'eau potable.

#### **b) Les solutions de secours:**

**Réseau de secours** : un réseau de secours, distinct du réseau principal, peut permettre d'assurer l'alimentation de certains usagers prioritaires, tels que les hôpitaux [*un tel réseau existe à Zurich*] c'est un réseau alimenté gravitairement par des sources, il dessert les hôpitaux et les abris, et des bornes fontaines pouvant être équipées de robinets (1 robinet pour 100 habitants).

Les dispositifs ou les solutions de secours ne doivent pas être établis pendant la crise, ils doivent exister effectivement en réserve et pouvoir être activés rapidement [MESNY 1997]

### **I-5-2 La validation des mesures des débits :**

La connaissance de la demande prévisionnelle d'un réseau permet le suivi en temps réel de nombreux paramètres d'exploitation. La première difficulté dans la valorisation des compteurs par des mesures de débits fiables.

Deux types de mesures physiques sont utilisés dans l'évaluation des débits :

- ◆ Les mesures de niveau (réservoirs).
- ◆ Les mesures directes des débits.

La première est maîtrisée. Les mesures de niveau peuvent valablement être utilisées pour évaluer les débits entrant et sortant d'un réservoir. par contre les mesures directes des débits sont souvent mal mesurées.

### **I-5-3 Causes des fuites**

Les principales causes de fuites, et qui doivent être évitées, lors de la mise en place du réseau, sont les suivantes:

- ◆ Conduites placées là où il y a risque de gel.
- ◆ Terrain agressif ou instable.
- ◆ Caractéristiques de la conduite non adaptées à la pression de distribution.
- ◆ Consommation anormale relevée aux compteurs généraux [B.SALAH 1992]

## **I-6 Définition concernant les réseaux**

### **I-6-1 Demande instantanée**

La demande d'un réseau à un instant "t" est la quantité d'eau effectivement consommée à cet instant par les usagers ou par les fuites de ce réseau. Cette demande peut être reconstituée par le suivi de ce qui entre et de ce qui sort du réseau à travers les ouvrages de production (usines de pompage, ouvrages de transfère, réservoirs ...)

### **I-6-2 L'eau potable**

Désigne celle qui circule dans le réseau de distribution. Cette désignation n'implique pas non plus, dans le présent document, la notion de qualité, bien que l'eau concernée induite par sa présence dans le réseau une forte présomption d'être apte à la consommation humaine.

### **I-6-3 Caractéristiques du réseau :**

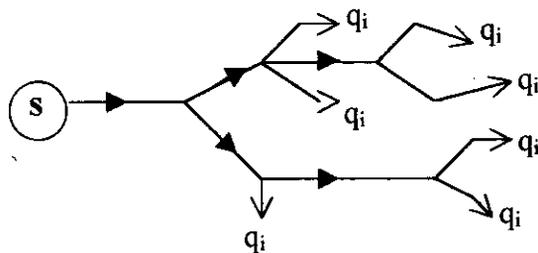
#### **1) Réseau de distribution**

Un réseau de distribution est un ensemble cohérent :

- ◆ De réservoir et d'équipement hydraulique;
- ◆ De conduites de transfert ou (feeders) ;
- ◆ De conduites de branchements ;
- ◆ De points de livraison ;
- ◆ De tous les appareils de robinetterie, et de régulation.

En amont du réseau de distribution, il y a les ouvrages de prélèvement, d'adduction, de traitement et de pompage qui ne font pas partie du réseau de distribution. En aval, il y a les appareils des abonnés. La limite du réseau est située au point de livraison du branchement.

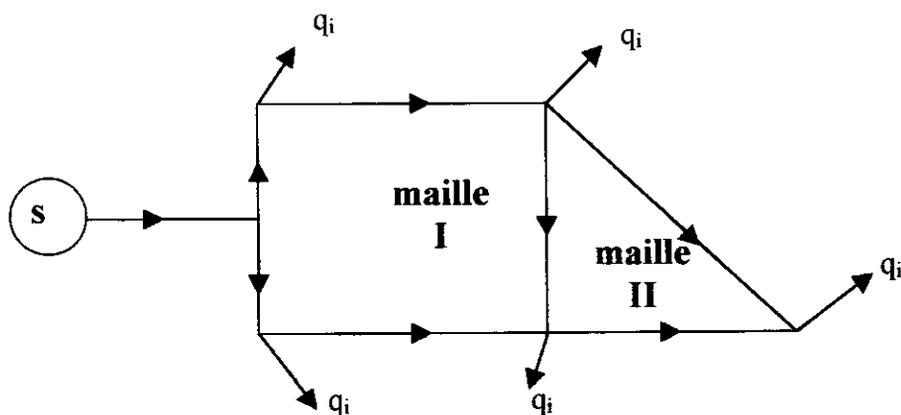
**a) Réseau ramifié :** Le réseau ramifié (ou en série) est constitué de telle manière qu'il soit impossible de décrire une boucle fermée en suivant le tracé des canalisations. Chaque nœud de consommation est relié à son point d'alimentation par un chemin unique. Le sens d'écoulement du fluide est de l'amont vers l'aval.



S : Point d'alimentation.

$q_i$ : Débits soutirés aux nœuds i.

**b) Réseau maillé :** Un réseau maillé est constitué d'une série de tronçons disposés de telle manière qu'il soit possible de décrire, une ou plusieurs boucles fermées en suivant son tracé, une telle boucle s'appelle une maille.



**c) Les nœuds:**

On a deux sortes de nœuds : des nœuds à charges fixes et des nœuds à débits fixes.

Les nœuds à charges fixes : c'est le cas des réservoirs, ils sont caractérisés par leurs cotes piézométriques.

Les nœuds à débits fixes : dans ce cas les débits de consommation sont connus.

**d) Conduite de transfert (ou feeder):** La conduite de transfert véhicule de l'eau potable sans branchement particulier d'un ouvrage ou d'un secteur à un autre. On la désigne aussi sous le nom de **feeder**.

Son rôle étant essentiellement de transporter de l'eau potable, normalement elle ne comporte pas de branchement de distribution, à l'exception parfois de l'alimentation de quelques abonnés isolés situés en dehors des zones urbanisées, mais par contre, elle peut comporter une ou plusieurs dérivations.

**e) Conduite de distribution** : Une conduite de distribution véhicule de l'eau potable et comporte des branchements.

**f) Point de livraison** : Le point de livraison est l'emplacement où est délivré l'eau potable à l'abonné, il est situé au raccord aval du compteur.

**j) Secteur de distribution** : Le secteur de distribution est constitué d'un ensemble de canalisations de distribution, et de branchements, dont le volume mis en distribution est mesuré en permanence. Pour des raisons de commodité de gestion, de topographie ou de géographie, un réseau de distribution peut être divisé de façon permanente en zone indépendante dont chacune est alimentée en un ou plusieurs points, et où l'introduction de l'eau est maîtrisée de façon constante. Ce sont ces zones qui sont dénommées secteurs de distribution.

**h) Service d'eau**

Un service d'eau est un ensemble cohérent :

- ◆ D'ouvrages de prélèvement ;
- ◆ D'ouvrages d'adduction ;
- ◆ D'ouvrages de production et traitement ;
- ◆ D'un réseau de distribution.

Le service d'eau, ou service d'eau potable regroupe l'ensemble des ouvrages qui permettent de prélever l'eau dans les sources, de l'amener à pied d'œuvre, de la mettre en pression et à la disposition de l'abonné.

### **I-7 Les volumes caractérisant la distribution**

1) **Volume de service** : Le volume de service du réseau est le volume utilisé pour l'exploitation du réseau.

2) **Volume de gaspillage** : Le volume gaspillé est le volume perdu en raison d'incident d'exploitation.

3) **Volume détourné** : C'est le volume utilisé frauduleusement (volume utilisé par les branchements clandestins, les piquages avant compteurs, l'utilisation illégale de poteaux d'incendie, etc.)

4) **Volume de fuite** : Le volume de fuite est le volume résultant des défauts d'étanchéité du réseau.

5) **Volume défaut de comptage** : C'est le volume résultant de l'imprécision, et du dysfonctionnement des organes de comptage, des oublis de relevée des erreurs d'évaluation et de lecture.

6) **Volume des pertes en distribution** : Le volume des pertes en distribution, est la somme algébrique des volumes de fuite gaspillé, détourné, et défaut de comptage.

### **I-8 Entretien du réseau**

1) **Remplacement** : Dans le domaine de l'AEP remplacer c'est poser une conduite nouvelle destinée à être substituée à un ouvrage ancien à abandonner.

2) **Réhabilitation** : Remise en état d'une conduite, dont certaines caractéristiques se sont dégradées, mais dont la qualité permet d'en continuer l'exploitation.

3) **Rénovation** : Utilisation d'une installation ancienne pour la mise en place d'une canalisation neuve.

Ces trois opérations appliquées aux réseaux de distribution d'eau potable, ont un objectif commun la lutte contre la dégradation du réseau.

**Conclusion**

*La sécurité d'un réseau d'eau potable ne s'improvise pas, l'équipement des réseaux doit intégrer cet objectif de sécurisation, qui concrétise par une obligation de résultat, c'est-à-dire de niveau de service minimal en cas de crise (le service minimum qu'il est souhaitable de maintenir ou de rétablir rapidement pour assurer un niveau d'activité économique acceptable est de 100 l/jour et par habitant (selon les normes françaises)). Il appartient aux collectivités, et aux gestionnaires des réseaux de choisir les moyens optimaux pour assurer en toute circonstance le niveau de service nécessaire.*

# Chapitre II

## méthodes de Dimensionnement des réseaux maillés

### II-1 Introduction

Un nombre considérable de travaux a été consacré aux calculs, et à l'optimisation des réseaux de distribution d'eau depuis les années 1960.

Les méthodes d'analyses permettent de calculer les pressions et les débits dans les réseaux maillés où les diamètres et les conditions aux limites sont connus (demande aux nœuds, courbes caractéristiques de pompes)

Les méthodes du dimensionnement des réseaux consistent à rechercher les diamètres à mettre en place et les pressions aux nœuds qui conduisent au meilleur dimensionnement tout en satisfaisant les contraintes suivantes:

- *Pression :*

*La pression dans Le réseau doit être comprise entre (10 m et 100 m) ,et cela pour assurer un bon fonctionnement.*

- *Vitesse:*

*La vitesse dans le réseau est limitée entre (0.33m/s et 3m/s) pour éviter la stagnation des eaux, et le risque de détérioration de la conduite.*

Dans ce chapitre on présentera, les méthodes usuellement utilisées dans Le dimensionnement des réseaux maillés.

## II-2 Méthode d'HARDY-CROSS

La méthode d'HARDY CROSS a été pendant très longtemps le moyen le plus utilisé pour résoudre le problème de l'équilibrage des réseaux maillés d'alimentation en eau potable.

Deux formulations de la méthode, seront décrites ci dessous, à savoir la méthode des mailles et la méthode des nœuds.

### II-2-1 Méthodes des mailles :

C'est la formulation originale de la méthode d'HARDY-CROSS (1936), dite classique, il s'agit là d'un calcul par approximation successive à partir d'une répartition initiale des débits dans les branches de façon à satisfaire l'équation de continuité en chaque nœud:

$$\sum_{j=1}^n Q_{ij} + q_i \quad i = 1, n \quad (\text{II-1})$$

$Q_{ij}$  : Débit véhiculé par différents tronçons.

$q_i$  : Débit aux nœuds, (de consommation ou d'injection).

Pour chaque maille, on calcule la perte de charge  $J_{ij}$  tel que :

$$J_{ij} = R_{ij} Q_{ij}^\alpha \quad (\text{II-2})$$

$Q_{ij}$  : Débit dans le tronçon ij.

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

L'exposant  $\alpha$  est une constante qui ne dépend que des canalisations, il est généralement voisin de 2 ( $1,8 \leq \alpha \leq 2$ ).

Si l'estimation initiale est correcte on doit avoir pour chaque maille :

$$\sum_{j=1}^n J_{ij} = 0 \quad (\text{II-3})$$

Si l'équation (II-3) n'est pas vérifiée, on applique une correction ( $\Delta Q$ ) qui permet de se rapprocher de la bonne solution.

Afin de déterminer l'expression du débit correctif ( $\Delta Q$ ) considérant la maille de la figure(II-1) constituée de quatre tronçons(1-2,2-3,3-4 et 4-1) et quatre nœuds (1,2,3 et 4 )

la somme des pertes de charge le long de la maille (1234) est :

$$\sum R_{ij} Q_{ij} + (\sum \alpha R_{ij} Q_{ij}^{\alpha-1}) \Delta Q = 0 \quad (\text{II-4})$$

Cela permet de déduire l'expression de  $\Delta Q$

$$\Delta Q = - \frac{\sum R_{ij} Q_{ij}^{\alpha}}{\alpha \sum_{ij \in M} R_{ij} Q_{ij}^{\alpha-1}} \quad (\text{II-5})$$

$\Delta Q$  :est le même pour tous les tronçons de la maille considérée.

**remarque:**

- Si le tronçon ij n'appartient qu'à une seule maille, la correction du débit sera  $\Delta Q$  calculée pour cette maille.
- Si le tronçon ij appartient à deux mailles adjacentes, la correction a apporter au débit sera égale a la somme algébrique pour ces deux mailles auxquelles appartient le tronçon ij.

En général, l'algorithme de résolution est le suivant :

Pour un premier pas, on donne une répartition initiale de débit dans chaque tronçon du réseau soit:  $Q_{12}^0, Q_{23}^0, Q_{34}^0, Q_{41}^0$

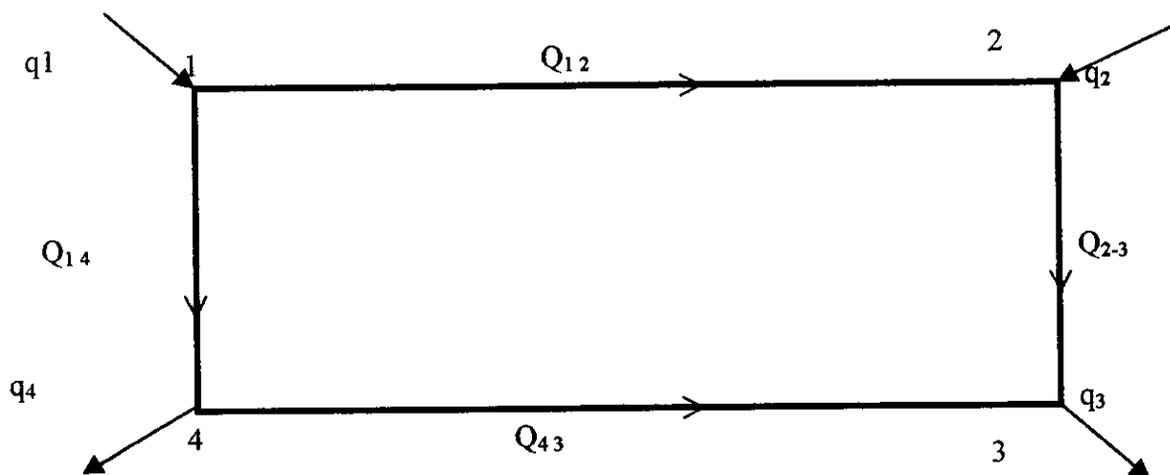


Figure II-1

Cette répartition initiale doit vérifier la loi des nœuds :

$$\sum Q_{ij}^0 + q_i = 0 \quad (\text{II-6})$$

Et puisque les débits ont été choisis arbitrairement (sens, valeurs ) la relation :

$$\sum_{ij \in M} J_{ij} = 0 \quad (\text{II-7})$$

ne sera pas vérifiée pour chaque maille donc, on procède à la correction des débits:

$$Q_{ij}^1 = Q_{ij}^0 + \Delta Q^0 \quad (\text{II-8})$$

et on poursuit le processus itératif :

$$Q_{ij}^{k+1} = Q_{ij}^k + \Delta Q^k \quad (\text{II-9})$$

jusqu'à ce que :

$$\max |\Delta Q^k| \leq \varepsilon \quad (\text{II-10})$$

$\varepsilon$  : Tolérance donnée  
k: Numéro de l'itération

### II-2-2-Méthode des nœuds :

Dans le cas où le réseau est alimenté par plusieurs réservoirs, les praticiens ont souvent constaté que pour des réseaux importants, la méthode classique de HARDY CROSS, soit ne converge pas du tout, soit converge très lentement, pour cela on adopte la méthode des nœuds, qui a le même principe de calcul que celui de la méthode des mailles, sauf qu'on estime les charges  $H_i$  en chaque nœud "i" du réseau, de façon à respecter la loi des mailles.

$$\sum J_{ij} = 0 \quad (\text{II-11})$$

on calcule le débit dans chaque tronçon d'après l'équation:

$$J_{ij} = R_{ij} Q_{ij}^n \quad (\text{II-12})$$

ce qui donne:

$$Q_{ij} = R_{ij}^{-1/\alpha} J_{ij}^{1/\alpha} = R_{ij}^{-1/\alpha} (H_i - H_j)^{1/\alpha} \quad (\text{II-13})$$

Si le choix initial est correct on doit avoir en chaque nœuds "i" :

$$\sum_{j=1}^n Q_{ij} + q_i = 0 \quad (\text{II-14})$$

"j": Ensemble des nœuds connecté à "i"

Dans le cas contraire ,on passe à l'itération suivante :

$$H_i^1 = H_i^0 + \Delta H_i^0 \quad (\text{II-15})$$

Avec  $\Delta H_i$  correction à apporter à chaque charge initiale  $H_i$  ;  $\Delta H_i$  est prise en valeur algébrique, cette correction est obtenue par le développement en série de Taylor de :

$$(\Delta H_i + H_i - H_j)^{1/\alpha} \quad (\text{II-15})$$

remplaçons dans l'équation (II-6), on aura :

$$\sum R_{ij}^{1/\alpha} (H_i + \Delta H_i - H_j)^{1/\alpha} + q_i = 0 \quad (\text{II-16})$$

$$\Delta H_i = \frac{\alpha \sum_{j \in M} Q_{ij} + q_i}{\sum_{j=1}^n Q_{ij} / J_{ij}} \quad (\text{II-17})$$

$$\text{En général } H_i^{k+1} = H_i^k + \Delta H_i^k \quad (\text{II-18})$$

On arrête le calcul quant :

$$\left| H_i^{k+1} - H_i^k \right| < \varepsilon \quad (\text{II-19})$$

$\varepsilon$  : Tolérance fixée

k: Le numéro de l'itération

### II-2-3 conclusion

L'inconvénient de l'application de la méthode d'HARDY CROSS, est que la distribution initiale des débits (méthode des mailles), et les charges (méthode des nœuds) se fait arbitrairement ce qui influe sur la convergence de la méthode, en outre :

- ◆ La répartition initiale des débits est difficile pour des grands réseaux.
- ◆ La méthodologie de dimensionnement augmente le nombre d'itérations
- ◆ (elle exige de travailler maille par maille).

## II-3 Méthode de NEWTON RAPHSON

### II-3-1 Introduction

L'avènement des ordinateurs a permis de mettre au point d'autres méthodes beaucoup plus pratique que celle d'HARDY CROSS, pour la résolution du système d'équation non linéaire du problème d'équilibrage des réseaux maillés de distribution d'eau potable.

### II-3-2 Principe de la méthode

Soit à déterminer les racines du polynôme  $f(x) = 0$ .

Supposé continu au voisinage de  $X^*$  alors Le développement en série de TAYLOR autour d'un estimé  $X^{(n)}$  s'écrit :

$$f(X^*) = f(X^{(n)}) + f'(X^{(n)}) (X^* - X^{(n)}) + \frac{(X^* - X^{(n)})^2}{2!} f''(X^{(n)}) + \dots \quad (\text{II-21})$$

Si  $X^{(n)}$  est un estimé proche de la solution  $X^*$  de  $f(x) = 0$ , alors Le carrée  $\varepsilon^{(n)}$  (ou  $\varepsilon^{(n)} = (X^* - X^{(n)})$ ) de l'erreur, et les termes de degré supérieur sont négligeables.

Sachant que  $f(X^*) = 0$ , on obtient alors la relation approximative :

$$f(X^{(n)}) + f'(X^{(n)}) (X^* - X^{(n)}) = 0 \quad (\text{II-22})$$

et une approximation de l'erreur:

$$\varepsilon^{(n)} = - \frac{f(X^{(n)})}{f'(X^{(n)})} \dots \quad (\text{II-23})$$

On peut donc considérer qu'un meilleur estimé de  $X^*$  sera :

$$X^{(n+1)} = X^{(n)} + \varepsilon^{(n)} \dots \quad (\text{II-24})$$

Des équations (II-23) et (II-24), on obtient l'algorithme de NEWTON RAPHSON:

$$X^{(n+1)} = X^{(n)} - \frac{f(X^{(n)})}{f'(X^{(n)})} \quad (n = 0, 1, \dots, n_{\max}) \quad (\text{II-25})$$

La figure (II-2) montre la convergence de la méthode vers la solution finale.

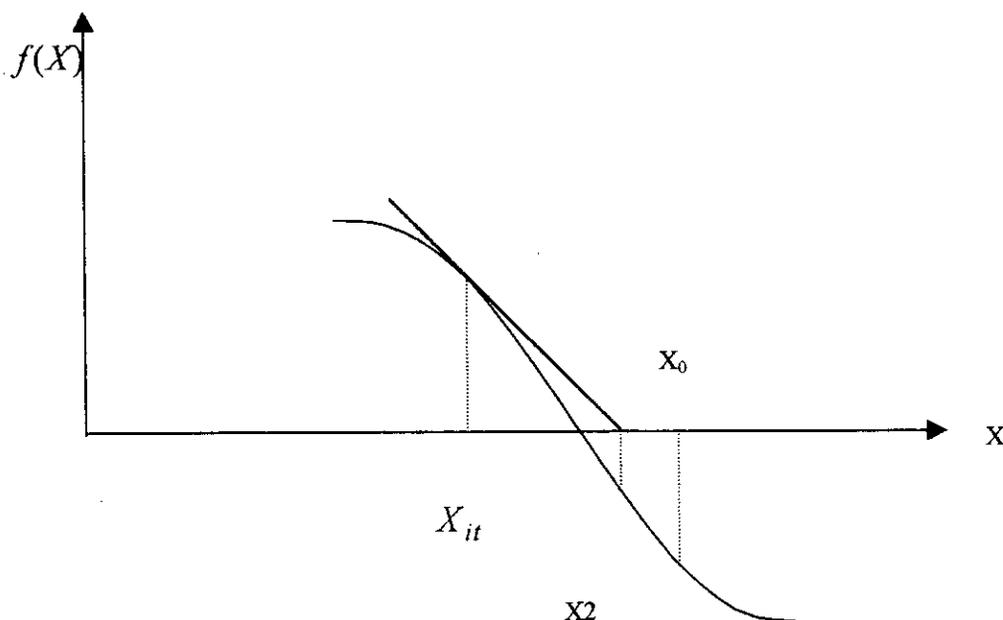


Figure (II-2)

L'équation de la droite, tangente à la courbe  $y = f(x)$  au point  $X_{it}$  quant  $y = 0$  est donné par:

$$f(x_{it}) / (x_{it} + x_{it+1}) = f'_{it}(x) \quad (\text{II-26})$$

$$x_{it+1} = x_{it} - \frac{f(x_{it})}{f'_{it}(x_{it})} \quad (\text{II-27})$$

Cette méthode est extensible à un système de  $n$  équations non linéaires de la forme:

$$f_i(x_i) = 0$$

Ou encore :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ \dots\dots\dots &\dots\dots\dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned}$$

Dans ce cas, les valeurs des inconnues  $X_i^{(it+1)}$ , à l'itération  $(it+1)$ , sont calculées par la relation:

$$x_i^{it+1} = x_i^{it} + \Delta x_i^{it} \quad (\text{II-28})$$

Le vecteur de correction  $\Delta X_i$  est obtenu par le système d'équations linéaires:

$$J_a(x_{it}) \times \Delta x_{it} = -f(x_{it}) \quad (\text{II-29})$$

avec  $J_a(x_{it})$ : La matrice Jacobienne, ou matrice des dérivées premières du système calculées à l'itération "it".

$$J_a = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial X_1} & \frac{\partial f_1}{\partial X_2} & \frac{\partial f_1}{\partial X_3} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial X_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial X_1} & \frac{\partial f_2}{\partial X_2} & \frac{\partial f_2}{\partial X_3} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial X_n} \\ \vdots & & & & \\ \frac{\partial f_n}{\partial X_1} & \frac{\partial f_n}{\partial X_2} & \frac{\partial f_n}{\partial X_3} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial X_n} \end{bmatrix} \quad (\text{II-30})$$

Les éléments  $\partial f_n / \partial x_n$  de la matrice jacobienne sont calculés analytiquement en dérivant les fonctions  $f_n(x)$  par rapport à  $x$ .

### II-3-3 Application aux réseaux maillés

#### II-3-3-1 méthode des mailles

Soit un réseau de distribution à (m) mailles, après avoir effectué une répartition initiale de telle sorte à vérifier la loi de continuité à chaque nœud, le système sera constitué de (m) équations de la forme :

$$f_i(Q) = \sum R_{ij} Q_{ij}^2 = 0 \quad (\text{II-31})$$

La solution du problème est obtenue en calculant à chaque itération :

$$J_{a_{it-1}} \Delta Q_{it} = -F(Q_{(it-1)}) \quad (\text{II-32})$$

Avec  $\Delta Q_{it}$  la correction à apporter au débit à l'itération (it+1), le système d'équation

$$\text{s'écrit : } \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial f_1}{\partial Q_2} & \frac{\partial f_1}{\partial Q_3} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial Q_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial Q_1} & \frac{\partial f_2}{\partial Q_2} & \frac{\partial f_2}{\partial Q_3} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial Q_n} \\ \vdots & & & & \\ \frac{\partial f_n}{\partial Q_1} & \frac{\partial f_n}{\partial Q_2} & \frac{\partial f_n}{\partial Q_3} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial Q_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (\text{II-33})$$

Notons que:

- $\partial f_i / \partial Q_j$  ( $i \neq j$ ) est la dérivée de l'équation de perte de charge par rapport au tronçon "j", cette dérivée est nulle si "j" n'est pas commun avec une autre maille.
- Dans l'équation aux dérivées partielles  $\partial f_n / \partial Q_n$ , le débit  $Q_n$  représente l'ensemble des débits de la maille m.
- La plupart des éléments hors de la diagonale principale sont nuls.

### II-3-3-2 Méthode des nœuds

Dans ce cas le système à résoudre par la méthode de NEWTON RAPHSON sera formulé à partir des équations de continuité (équations aux nœuds).

$$F(H_i) = \sum Q_{ij} + q_i = 0 \quad (\text{II-33})$$

avec:

$$Q_{ij} = f(H_i - H_j)$$

"j": l'ensemble des nœuds connectés à "i".

$Q_{ij}$ : débit véhiculé dans la branche "ij" (de "i" vers "j").

$H_i, H_j$ : côtes piézométriques aux nœuds "i" et "j".

$q_i$ : débit de consommation au nœud "i".

Si (n) est le nombre de nœuds du réseau, on aura (n) équations non linéaires à développer.

Les charges  $H_i$  de ces nœuds constituent les inconnues du système. Lorsque les charges dans tous les nœuds sont déterminées, on calcule les débits  $Q_{ij}$  dans toutes les branches.

Le procédé consiste à déterminer à chaque itération, les corrections  $\Delta H_i$  à apporter à la variable  $H_i$  en vue de se rapprocher de la solution finale. On notera que le procédé d'HARDY CROSS ne corrige quant à lui qu'une seule variable à la fois. Le processus itératif est arrêté si le critère de convergence est satisfait :

$$|H_{k+1} - H_k| \leq \varepsilon$$

k: numéro de l'itération considéré.

Le système d'équations à résoudre est de la forme :

$$J_a(H_k) \Delta H_k = -F(H_k) \quad (\text{II-34})$$

avec:  $\Delta H_k$  la correction à apporter à la charge à l'itération (k+1), ou encore en notation développée :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial H_1} & \frac{\partial f_1}{\partial H_2} & \frac{\partial f_1}{\partial H_3} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial H_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial H_1} & \frac{\partial f_2}{\partial H_2} & \frac{\partial f_2}{\partial H_3} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial H_n} \\ \vdots & & & & \\ \frac{\partial f_n}{\partial H_1} & \frac{\partial f_n}{\partial H_2} & \frac{\partial f_n}{\partial H_3} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial H_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta H_1 \\ \Delta H_2 \\ \vdots \\ \Delta H_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (\text{II-35})$$

j: ensemble des nœuds connectés au nœud "i".

### II-3-4 Amélioration de la méthode de NEWTON RAPHSON

La méthode de NEWTON RAPHSON telle qu'elle a été exposé 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 impossible.

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

On peut montrer que la direction de  $\Delta X$  obtenue par la résolution du système  $F(x) = -J_a \Delta X$  est bonne, c'est à dire quelle 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 de  $F$  par sa dérivée première, donc plus le vecteur  $X$  avec lequel, on calcule  $f(x)$  est éloigné de la solution du système, plus cette approximation est mauvaise, autrement dit les termes d'ordre supérieur ne sont plus négligeables dans le développement en série de TAYLOR, ceci conduit à des corrections  $\Delta X$  trop grandes.

Deux améliorations sont apportées à la méthode de NEWTON RAPHSON :

- La première consiste à concentrer les éléments non nuls de la matrice jacobienne autour de la diagonale principale afin d'avoir une structure bande, ceci est facilement résolvable par une numérotation adéquate des nœuds, (c'est à dire par une numérotation des nœuds dans le sens du plus court chemin).

- La deuxième revient à limiter le risque de divergence en utilisant comme première approximation les valeurs des charges obtenues par linéarisation du système d'équation et en remplaçant la matrice jacobienne à l'itération "i" par celle obtenue à la première itération.

### CONCLUSION

L'inconvénient majeur des deux méthodes représentées dans ce chapitre est le choix d'une répartition initiale des débits pour 'HARDY-CROSS ou des charges pour NEWTONRAPHSON, il existe néanmoins une autre méthode qui élimine cet inconvénient, c'est la méthode de linéarisation de perte de charge pour laquelle une répartition initiale des diamètres est exigée afin de permettre l'équilibrage des réseaux d'AEP. Cette méthode est traitée dans le chapitre suivant.

## Chapitre III

# Méthode de linéarisation de l'équation de perte de charge

### III-1 Introduction

*Cette méthode de dimensionnement des réseaux maillés consiste à rechercher les diamètres à mettre en place et les pressions aux nœuds qui conduisent à la meilleure solution tout en satisfaisant les contraintes citées dans le paragraphe(II-1).*

*Cette technique proposée tente de réduire les inconvénients des méthodes classiques, qui nécessitent une répartition initiale des débits influençant grandement la convergence. Et comme pour toutes les méthodes pour obtenir l'équilibrage des réseaux maillés, deux conditions doivent être satisfaites simultanément.*

- L'équation de continuité en chaque nœud ;*
- L'équation de conservation de l'énergie sur chaque maille.*

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

*Cette linéarisation permet de résoudre directement le système d'équations des "m" mailles et "n" nœuds, ces équations étant alors toutes linéaires. Les auteurs de cette méthode ont constaté que la plupart du temps les débits ainsi obtenus, ne sont pas très différents des débits obtenus avec les équations non linéarisées. [DECHEMI 1984].*

WOOD et RAYES, dans leur l'article font la synthèse des principales techniques connues et concluent que la méthode linéaire présente les meilleures garanties de convergence et de précision. [P. BOURGINE 1988]

C'est pour cela qu'on a opté pour cette méthode pour dimensionner notre réseau, et les résultats de ce présent chapitre prouve ces meilleures précisions.

### III-2 Formulation mathématique de la méthode linéaire

Le processus de résolution est constitué des étapes suivantes :

Détermination d'une répartition initiale des débits en résolvant un système à "t" équations linéaires et "t" inconnues.

$$T = M + N - 1 \quad \begin{array}{l} M = \text{nombre de mailles} \\ N = \text{nombre de nœuds} \end{array}$$

L'équation :

$$\sum_{ij \in m} J_{ij} = \sum R_{ij} Q_{ij}^2 \quad (III-1)$$

devient :

$$\sum_{ij \in m} J_{ij} = \sum R_{ij} Q_{ij} \quad (III-2)$$

$J_{ij}$  = Pertes de charge.

$Q_{ij}$  = Débit circulant dans la conduite située entre les nœuds i et j.

$R_{ij}$  = Résistance de la conduite considérée.

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

$$\sum_{j \in n} Q_{ij} + q_i = 0 \quad i=1, n \quad (III-3)$$

"j" est l'ensemble des nœuds connectés au nœud i .

$$\sum_{ij \in m} R_{ij} Q_{ij} = 0 \quad (III-4)$$

En notation vectorielle :

$$K_0 \vec{Q} = \vec{W} \quad (III-5)$$

$[K_0]$ : 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 aux nœuds et renseignent sur les valeurs  $+1$  ou  $-1$  suivant le sens des débits aux nœuds.

$\vec{W}$  : un vecteur dont les composantes sont soit zéro (0) s'il s'agit d'une équation de maille où correspondant aux valeurs de  $q_i$  débits qui arrivent ou qui partent des nœuds s'il s'agit d'une équation de continuité.

$\vec{Q}$  : vecteur solution qui donne les débits  $Q_{ij}$  correspondants aux tronçons (ij)

#### Remarque

Dans le cas de plusieurs réservoirs le zéro (0) est remplacé par  $(\Delta H_r)$  différence de charge entre deux nœuds réservoirs.

L'inversion de la matrice  $[K_0]$  permet d'obtenir la première solution du système  $\vec{Q}_0$

$$\vec{Q}_0 = K_0^{-1} \vec{W} \quad (III-6)$$

$\vec{Q}_0$  est ainsi une première solution des débits plus ou moins éloignée de la "vraie" solution.

La bonne solution peut être ensuite obtenue selon les auteurs grâce à un processus itératif avec :

$$K_1 \vec{Q} = \vec{W} \quad (III-7)$$

Où :  $K_1$  désigne la nouvelle matrice des données dont les coefficients de résistance initiaux  $(R_{ij})_0$  des  $m$  rangées relatives aux équations de mailles ont été changés en fonction du débit par la transformation suivante :

$$(R_{ij})_1 = (R_{ij})_0 (Q_{ij})_0 \quad (III-8)$$

On obtient ainsi les nouvelles valeurs des débits :

$$\vec{Q}_1 = K_1^{-1} \vec{W} \quad (III-9)$$

Ces débits servent à recalculer les nouvelles valeurs des résistances :

$$(R_{ij})_2 = (R_{ij})_0 (Q_{ij})_1 \quad (III-10)$$

Et ainsi de suite :

$$(R_{ij})_k = (R_{ij})_0 (Q_{ij})_{k-1} \quad (III-11)$$

avec :  $k=1,2,3\dots$

Le processus itératif est arrêté, quand le maximum de la différence des débits aux itérations  $k$  et  $k-1$  est inférieur à une certaine tolérance ( $\xi$ ) fixée préalablement.

$$\left| (Q_{ij})_{k+1} - (Q_{ij})_k \right| \leq \xi \quad (III-12)$$

En général, on adopte

$$(Q_{ij})_k = (K_{ij})_k^{-1} W \quad (III-13)$$

$$(R_{ij})_k = (R_{ij})_0 Q_{k-1} \quad (III-14)$$

$k$ : numéro d'itération.

La seconde caractéristique de cette nouvelle technique, et le façonnage particulier de la matrice des données. Ces coefficients sont disposés de façon à donner une structure bande à cette dernière (les coefficients sont regroupés d'une manière relativement dense dans une bande oblique en trouvant la diagonale principale), cela, permettra de ne travailler qu'avec cette bande et de remédier aux inconvénients qui découlent de l'inversion des matrices de grandes dimensions et qui sont:

- Un temps de calcul assez élevé;
- Une occupation importante de mémoire ordinateur.

Il y a lieu de signaler que le temps de calcul consacré à l'inversion de la matrice sera fonction de la largeur de la bande ( $L_B$ ), et la numérotation des mailles et des tronçons a une très grande importance, car elle permet de minimiser l'écart entre deux mailles contiguës et des conduites aboutissants au même nœud d'où la largeur sera aussi petite que possible.

### III-3 Amélioration de la méthode

#### III-3-1 Numérotation du réseau

Pour travailler efficacement, il faut réaliser une numérotation conjointe des nœuds et des mailles, tandis que celle des tronçons se fera à part.

Lors de la numérotation du réseau, deux règles doivent obligatoirement être respectées afin d'éviter d'éventuels problèmes (division par zéro par exemple) lors de l'inversion de la matrice.

- a) Un tronçon de numéro X, doit intervenir dans une maille de numéro inférieur ou égale à X, et un nœud supérieur à X.
- b) Le nœud ou la maille de numéro Y doit contenir au moins un tronçon de numéro inférieur à Y ce travail peut être facilement réalisé manuellement.

#### III-3-2 Correction de la répartition initiale des diamètres

On note que l'un des avantages de cette méthode de dimensionnement, est de ne pas être pas obligé de se fixer une répartition initiale arbitraire des débits, cependant dans ce cas, on est tout de même obligé de fixer une répartition arbitraire des diamètres sur l'ensemble des tronçons. L'équilibrage n'est possible alors que si l'on connait les diamètres, or, ne connaissant pas a priori les débits, il est évident que le premier choix des diamètres ne sera pas le meilleur.

Une "technique" de redéfinitions des diamètres après un premier équilibrage, est très important puisqu'il va demander plusieurs itérations supplémentaires et donc allonger considérablement le temps de calcul.

#### III-3-3 Amélioration de la convergence

L'application de la méthode linéaire telle qu'elle est proposée par plusieurs schémas de réseau a permis de remarquer et de confirmer l'observation faite par WOOD & CHARLES (1972) [MERABTENE 1990] quant à l'oscillation (non-convergence) des valeurs résultats  $Q_k$  autour de la solution finale sans jamais l'atteindre. Cette divergence est la conséquence de la formulation adoptée pour la résistance hydraulique.

*Amélioration proposée:* [MERABTENE 1990] afin de remédier au problème d'oscillation autour de la solution finale on prend comme nouvelles valeurs des débits

la moyenne des deux derniers débits calculés pour chaque tronçon,  $\left(\frac{Q_k + Q_{k+1}}{2}\right)$ , avec cette transformation la convergence vers la solution finale est améliorée.

### III-3-4 Détermination des débits de pointe

#### III-3-4-1 Méthodes empiriques[MERABTENE 1990 ]

Ces formules sont basées sur l'expérience et les diverses mesures de débits dans les réseaux, l'unité de consommation est le foyer.

##### a) Formule de PLOMBIERS

Cette formule est utilisée en générale pour le calcul des réseaux de distribution en bon état:

$$q = an \frac{nb}{\sqrt{b(n-1)}} \quad (III-15)$$

Où:

- q** : débit en [l/s].
- a** : débit maximum d'un robinet en [l/s].
- b** : nombre de robinets par foyer.
- n** : nombre d'abonnés (foyer).

##### b) Formule de L'AVEYRON[MERABTENE]

$$q = an \frac{n+b}{n+c} \quad (III-16)$$

avec :

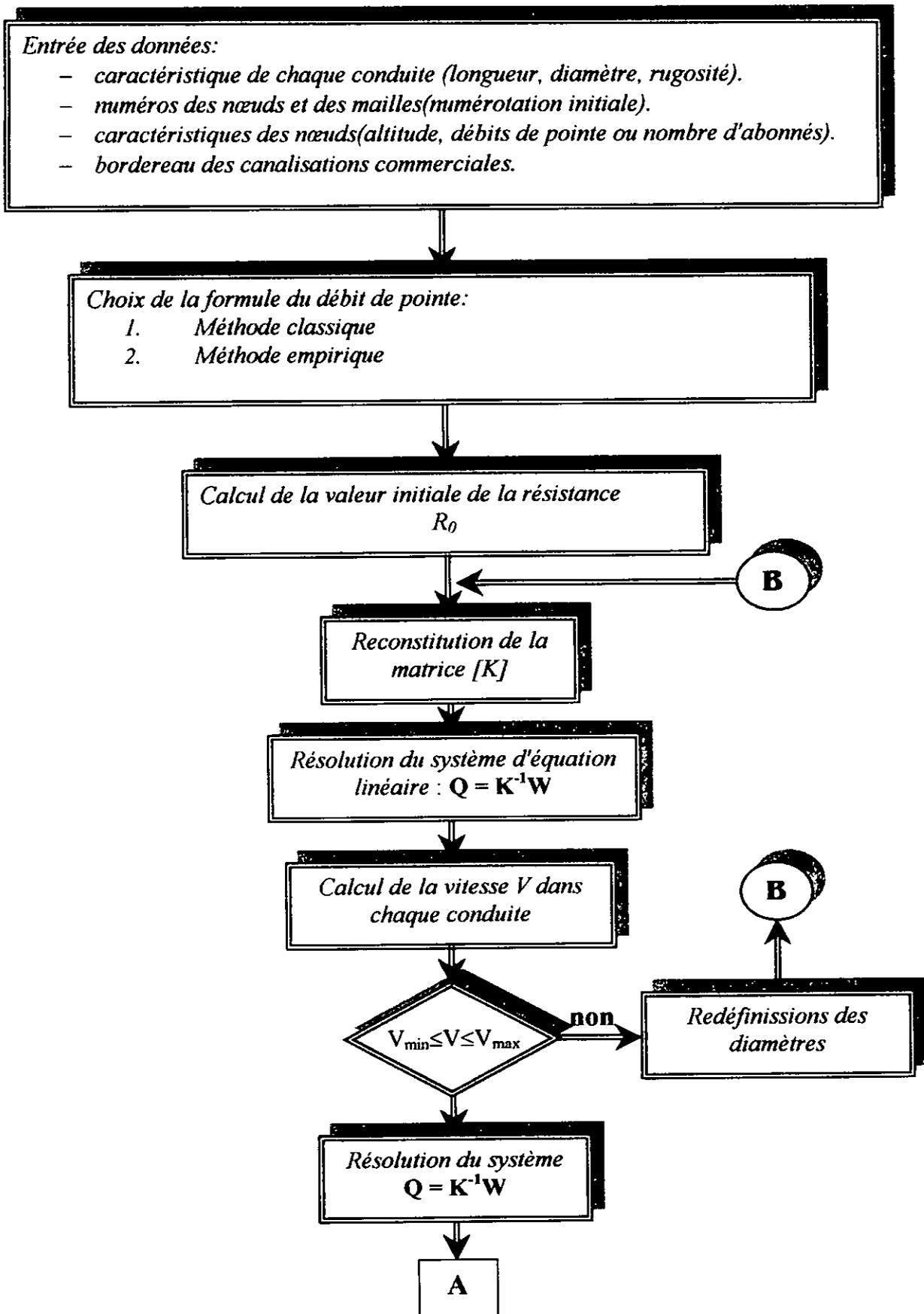
- q** : débit en [l/s].
- n** : nombre de foyers.
- a, b, c**: constantes à déterminer.

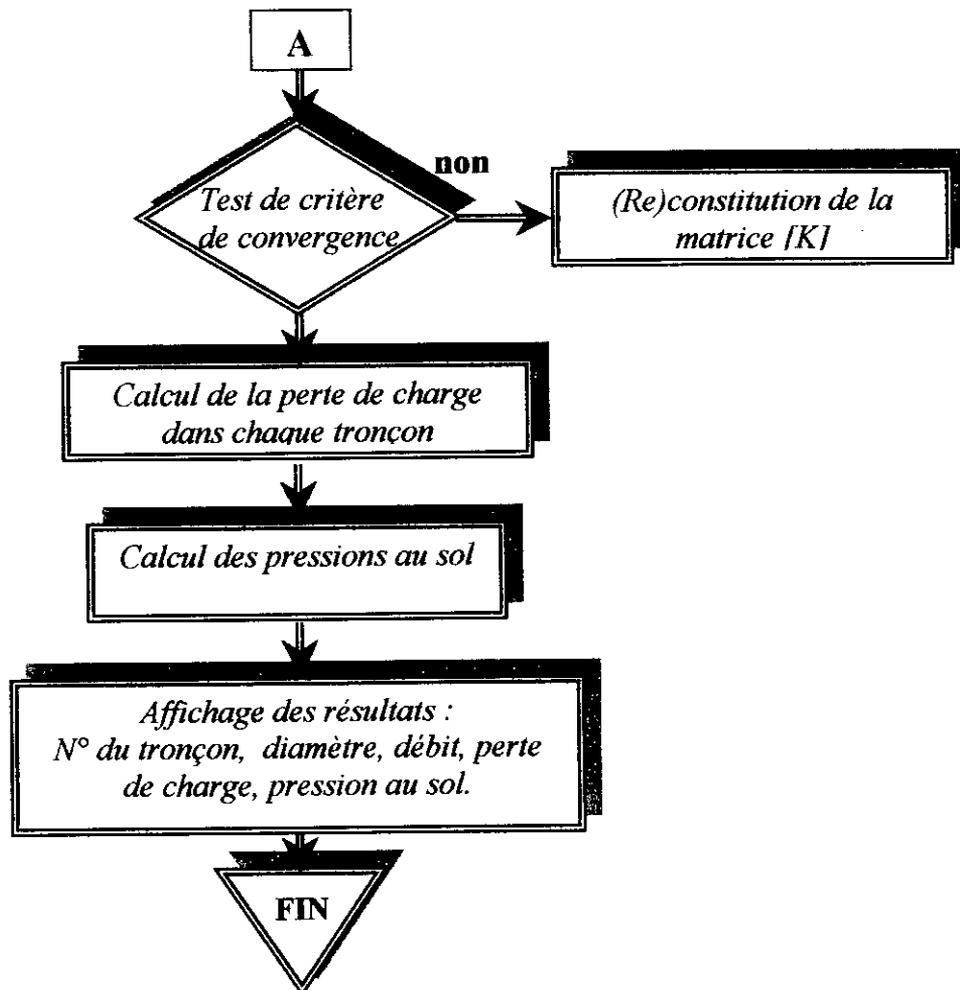
Par exemple pour le réseau de L'AVEYRON on a:

$$a= 0.05, b=23 \text{ et } c=2$$

Cette formule est applicable pour des réseaux ou la période de pointe est très courte, ou qui nécessite une marge de sécurité élevée.

**III-4 Organigramme de la méthode**





### III-5 Description des sous programme

#### a) l'entrée des données :

Les données de base nécessaires sont lues par le programme à partir de trois fichiers.

1 *Fichier (I)* : contient les caractéristiques de chaque conduite (huit(9)) :

- ◆ Les numéros des mailles en quelles appartient la conduite a une seule maille, la deuxième colonne est un zéro(0). Le sens d'écoulement dans le tronçon par rapport au sens positif de la maille est représenté par un signe (+ ou -) avec chaque numéro différent de zéro(0).
- ◆ Les numéros d'extrémité du tronçon (nœud) sont aussi précédés d'un signe (+ ou -), si le débit est sortant le nœud est précédé d'un signe négatif (-), si le débit est entrant le nœud est précédé par un signe positif (+)

- ◆ Les colonnes qui restent sont remplies par la longueur, diamètre et la rugosité le fichier contient autant de lignes que de tronçons.

2. *Fichier (II)* : Ce fichier contient les caractéristiques de chaque nœud (altitude, débit soutiré).

Comme la numérotation est conjointe des nœuds et des mailles, on placera un zéro à chaque ligne correspondant à une maille. Le débit prélevé au nœud (ou le nombre d'abonné) et précédé d'un signe (+ ou -) selon le sens au débit (sortant ou entrant).

La dernière ligne de ce fichier présente l'état du nœud du réservoir et sa cote.

3. *Fichier (III)* : ce dernier fichier c'est le fichier de bordereau des canalisations commerciales (normalisées), et chaque diamètre a sa vitesse maximale admise dans la deuxième colonne.

### III-6 Exemple d'application :

Pour bien illustrer les étapes décrites précédemment, nous proposons les exemples suivants :

Calcul de la résistance hydraulique initiale, la valeur  $R_0$  dépend du choix de l'équation de perte de charge.

$$J = f L Q^\alpha D^{-\beta} \quad (III-17)$$

La formule de Hazen -Williams s'écrit :

$$J = 10.69 \frac{1}{C^{1.852}} L Q^{1.852} D^{-4.865} \quad (III-18)$$

$$f = 10.69 \frac{1}{C^{1.852}}, \alpha = 1.852, \beta = 4.865 \quad (III-19)$$

avec :

**Q** : Débit en [m<sup>3</sup>/s]

**D** : Diamètre en [m]

**L** : Longueur en [m]

**C** : Coefficient de Hazen-Williams (voir le tableau (III-1)) [MERABTENE

1990]

$\xi$  : Coefficient de rugosité [mm]

$\xi$ [mm]	2.	1.	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0
C	95	106	116	130	136	141	145	146.5

Tableau (III-1) Coefficients de Hazen-Williams correspondants aux Coefficients de rugosité.

En fonction du C choisi on déduit la valeur  $f=f(\xi)$  d'où :

$$R_0 = f \cdot L \cdot D^{-4.856} \quad (III-20)$$

C'est la formule de HAZEN-WILLIAMS qui est utilisée dans notre programme.

L'équation générale de la perte de charge totale s'écrit dans ce cas :

$$J = \frac{\lambda V^2}{D 2g} L = \frac{8\lambda L_e}{\pi^2 g} Q^2 D^{-5} \quad (III-21)$$

$\lambda$ : Coefficient de perte de charge linéaire

$$1.8 \leq \alpha \leq 2 \text{ et } \beta = -5$$

$g$ : Accélération la pesanteur  $g=9.81(\text{m/s}^2)$

$L_e$ : Longueur efficace de la conduite (m)

tel que 
$$L_e = L + \frac{D \sum \xi_i}{\lambda}$$

$L$ : Longueur géométrique (m).

$\xi_i$ : Perte de charge singulières

Dans ce cas

$$R_0 = \frac{8\lambda}{\pi^2 g D^5} L \quad (III-22)$$

Application numérique

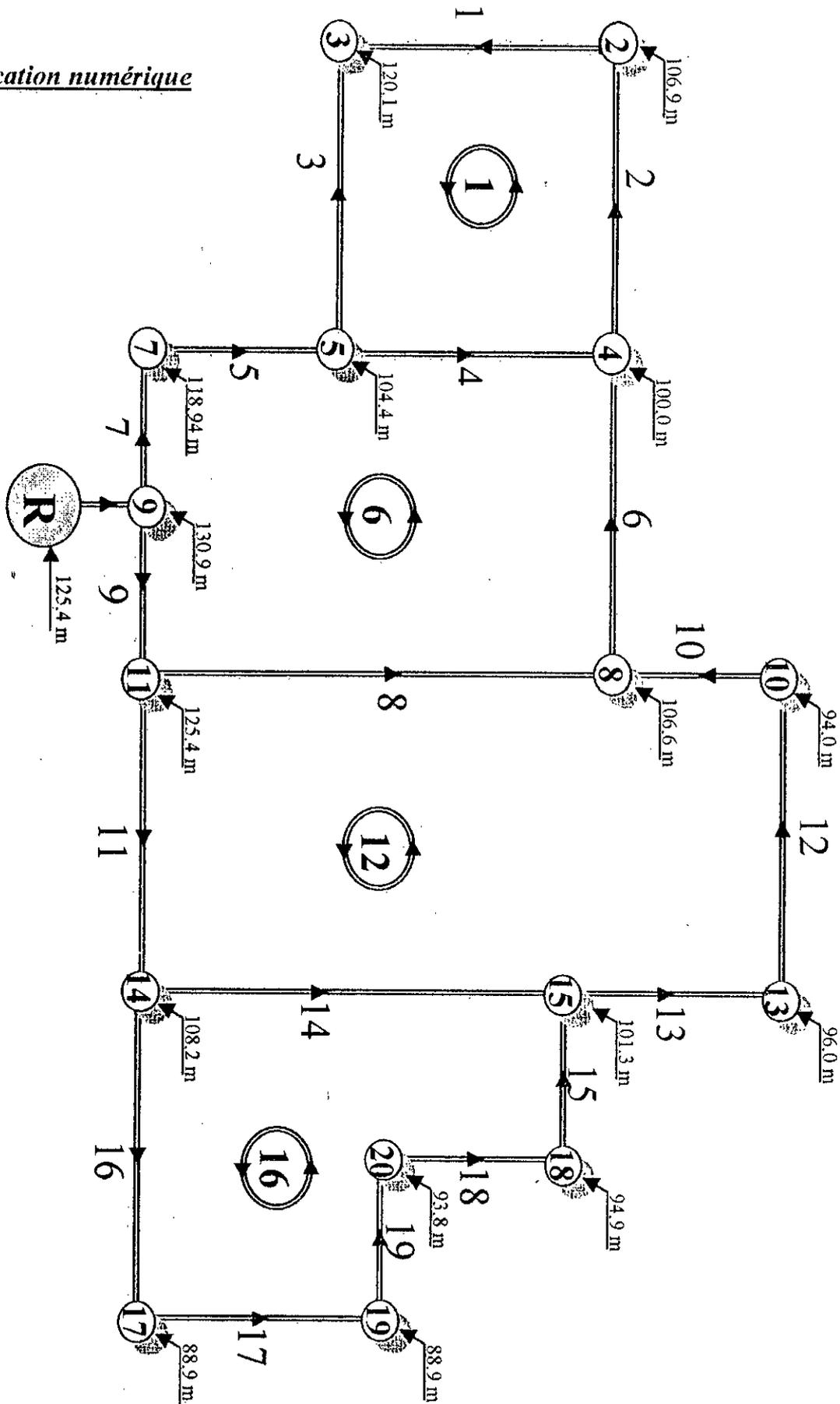


Figure (III-1) réseau de distribution

Le réseau étudié est représenté par la figure (III-1):

### Description du premier fichier de données

Les données du réseau sont représentées dans le tableau ci-dessous :

N° tron	M I	M II	N I	N II	L[m]	D[m]	N° D	C
1	+1	0	+3	-2	260	200		130
2	+1	0	+2	-4	880	200		130
3	-1	0	+3	-5	650	200		130
4	+1	-6	+4	-5	135	400		130
5	-6	0	+5	-7	300	600		130
6	+6	0	+4	-8	220	200		130
7	-6	0	+7	-9	63	600		130
8	+6	-12	+8	-11	140	600		130
9	+6	0	+11	-9	275	300		130
10	+12	0	+8	-10	457	500		130
11	+12	0	+14	-11	260	300		130
12	+12	0	+10	-13	225	600		130
13	+12	0	+13	-15	230	400		130
14	+12	-16	+15	-14	370	500		130
15	+16	0	+15	-18	220	400		130
16	+16	0	+17	-14	380	600		130
17	+16	0	+19	-17	200	500		130
18	+16	0	+18	-20	190	500		130
19	+16	0	+20	-19	185	500		130

Tableau (III-2) (caractéristiques du réseau étudié)

### Lecture du tableau

Le tronçon "8" appartient à la maille "6" avec un sens positif ( $M I = +6$ ) et appartient à une autre maille "12" avec un sens négatif ( $M II = -12$ ). Le débit sort du nœud "11" ( $N I = -11$ ) et rentre dans le nœud "8" ( $N II = +8$ ) (on peut mettre  $N II = -11$  et  $N I = +8$ )

Le tronçon "6" appartient à la maille "6" avec le sens positif ( $M I = +6$ ) et n'appartient à aucune autre maille ( $M II = 0$ )

Le numéro du diamètre (N°D) montre la position de ce dernier dans le bordereaux ces canalisations.

La dernière colonne donne la rugosité du tronçon utilisé (tableau III-2).

### Description du second fichier de données :

Ce fichier comporte les caractéristiques des nœuds du réseau à savoir l'altitude et le débit soutiré, la dernière ligne donne le nœud d'entrée au réservoir ainsi que sa cote, en plus la dernière ligne correspondante au réservoir (nœud d'entrée et la cote du réservoir)

Les débits sont calculés automatiquement (méthode classique) ou bien avec l'une des méthodes empiriques (L'AVYRON, PLOMBIERS).

**Caractéristiques des nœuds**

Nœuds	Débit soutiré (l/s)	Cote [m]
2	56,0	106,9
3	57,9	120,1
4	22,6	100,0
5	19,1	104,4
7	4,0	118,9
8	38,0	106,6
9	0,0	130,9
10	14,3	94,0
11	17,5	125,4
13	14,6	96,0
14	16,5	108,2
15	37,5	101,3
17	24,2	88,9
18	12,1	94,9
19	12,7	88,9
20	15,9	93,8

Tableau(III-3) Caractéristiques des nœuds

La matrice [K] du système de résolution s'écrit :

R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	-R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-R <sub>4</sub>	-R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	-R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	-R <sub>9</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-R <sub>8</sub>	0	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>14</sub>	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-R <sub>14</sub>	R <sub>15</sub>	R <sub>16</sub>	R <sub>17</sub>	R <sub>18</sub>	R <sub>19</sub>	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1

Figure (III-2) Matrice bande de résolution

Soient les résistances initiales  $R_0$  données pour chaque tronçon :

$R_1=113636$     $R_2=384615$     $R_3=284091$     $R_4=1466$     $R_5=375$     $R_6=96153$   
 $R_7=78$     $R_8=175$     $R_9=13845$     $R_{10}=1511$     $R_{11}=13090$     $R_{12}=281$   
 $R_{13}=2499$     $R_{14}=1223$     $R_{15}=2390$     $R_{16}=475$     $R_{17}=661$     $R_{18}=628$   
 $R_{19}=611$

Résultats des 2 dernières itérations

Tronçon	Débits(l/s)		Erreur absolue(l/s)	Erreur relative(%)
	Itération(4)	Itération(5)		
1	2,348	2,067	0,281	13,5
2	53,645	53,926	0,281	0,5
3	60,250	59,969	0,281	0,5
4	159,974	160,790	0,816	0,5
5	239,313	239,848	0,535	0,2
6	83,741	84,276	0,535	0,6
7	243,321	243,856	0,535	0,2
8	42,927	42,392	0,535	1,2
9	119,679	119,144	0,535	0,4
10	88,682	88,682	0,000	0,0
11	59,254	59,254	0,000	0,0
12	74,366	74,366	0,000	0,0
13	59,731	59,731	0,000	0,0
14	1,111	1,110	0,001	0,1
15	22,507	22,508	0,001	0,0
16	42,394	42,393	0,001	0,0
17	18,215	18,214	0,001	0,0
18	10,417	10,419	0,001	0,0
19	5,489	5,488	0,001	0,0

Tableau(III-4) débits circulants

Les contraintes de vitesse:

Après avoir calculé les débits d'équilibrage avec les diamètres initiaux, on vérifie pour chaque tronçon du réseau, les contraintes de vitesse

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

$$V_{\min} = 0.33 * V_{\max}$$

Les vitesses maximales et minimales sont données par la deuxième colonne du fichier des diamètres.

La solution du système est:

Tronçon	Débit[l]	Diamètre [mm]	vitesse[m/s]
1	2,07	80	0,47
2	53,93	200	1,71
3	59,97	200	1,92
4	160,78	400	1,27
5	239,85	600	0,85
6	84,28	250	1,71
7	243,86	600	0,81
8	42,39	300	0,61
9	119,14	300	1,69
10	88,68	500	0,45
11	59,25	300	0,84
12	74,37	500	0,38
13	59,73	400	0,48
14	1,11	80	0,22
15	22,51	250	0,46
16	42,39	400	0,34
17	18,21	250	0,37
18	10,42	150	0,59
19	5,49	100	0,70

Tableau(III-5) des vitesses.

◆ Les contraintes de pressions :

Après avoir déterminé les débits dans chaque conduite, nous procédons au calcul des pressions aux nœuds, on vérifie pour chaque nœud du réseau, les contraintes de pressions imposées, afin d'assurer un bon fonctionnement de notre réseau, et mieux desservir l'agglomération.

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

$P_{\max}$  : pression maximale (  $P_{\max} = 100$ [m d'eau] )

$P_{\min}$  : pression minimale (  $P_{\min} = 10$ [m d'eau] )

Les valeurs de pression sont :

Nœud	Pression[m d'eau]
2	38.11
3	24.91
4	45.00
5	40.72
7	26.18
8	38.33
9	14.16
10	50.92
11	19.54
13	49.00
14	36.75
15	43.65
17	56.05
18	50.03
19	56.05
20	51.12

Tableau(III- 6) les pressions de chaque nœud

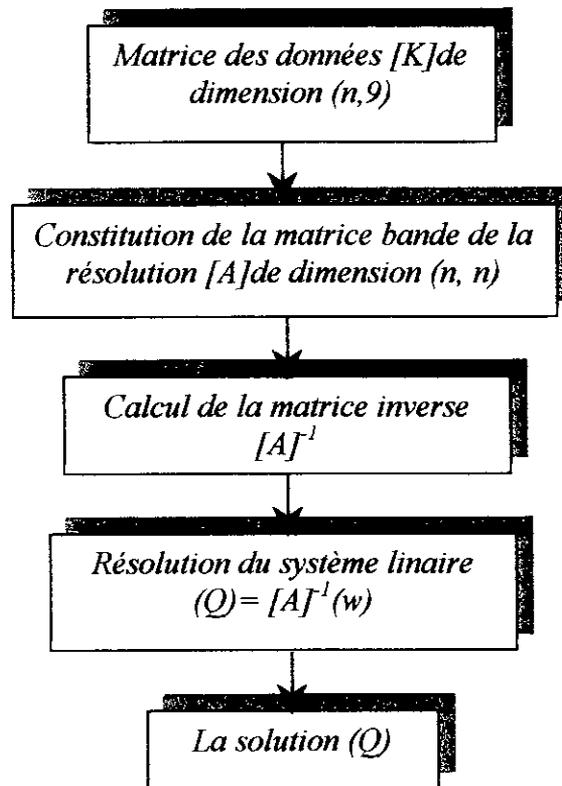
### III-7 Amélioration numérique proposée à la méthode

Lorsqu'on est amené à utiliser la matrice bande de dimension  $(n, n)$  (figure(III-2)), afin de résoudre le système linéaire plusieurs fois, il est intéressant d'employer des méthodes de résolution adéquates pour minimiser au maximum les inconvénients.

Cette technique telle qu'elle est proposée n'est pas parfaite, c'est pour cela que nous avons introduit certaines améliorations qui nous ont permis d'aboutir à un gain de temps de calcul considérable, ainsi qu'une diminution considérable d'espace mémoires d'ordinateur nécessaire au stockage des éléments de la matrice, tout cela, permet l'extension de cette technique à des réseaux de très grandes dimensions.

Cependant, lors de la mise en œuvre de cette méthode nous avons constaté, qu'il existe un autre préalable pour éviter de stocker des matrices  $(n, n)$  à des nombres d'éléments nul très importants.

a) La démarche classique de résolution



Donc on est obligé de dimensionner une matrice  $[A]$  de  $(n, n)$  constituée à partir de la matrice des données  $[K]$ , qui comporte un grand nombre d'éléments nuls, cette matrice a une structure bande (figure III-3), et deux vecteurs  $(Q)$  de solution et  $(W)$  de  $(n)$  éléments, qui influent directement sur l'espace mémoire, et augmente le risque de division par zéro (0).

Pour éviter ces problèmes, ou bien ces inconvénients, on préconise la démarche améliorée suivante avec :

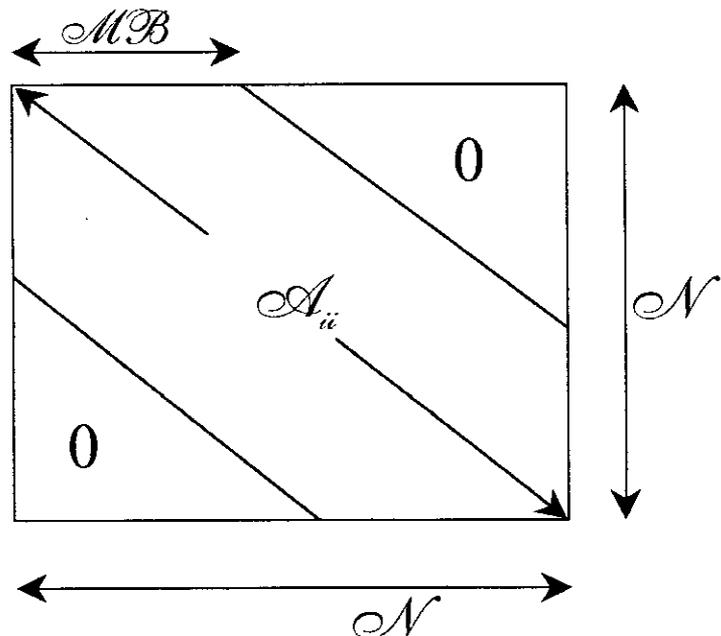
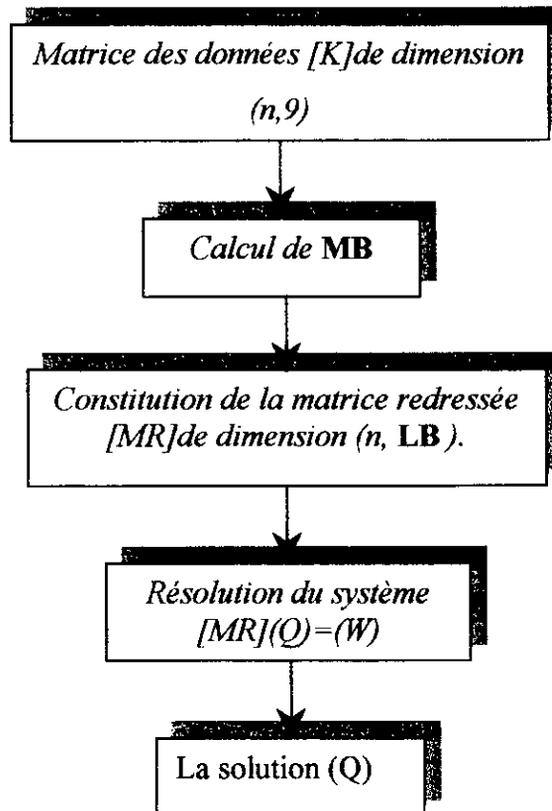


Figure (III-3) structure bande de la matrice

Comme la matrice a une forme bande, il est intéressant de travailler avec la bande seulement, car cela permet un gain de temps de calcul important.



**MB** : Mi-largeur de la bande (MS peut être définie comme étant le maximum, entre l'indice 'i' et 'j' de l'élément non nul)

**LB** : Largeur de la bande ( $LB = 2 * MB - 1$ )

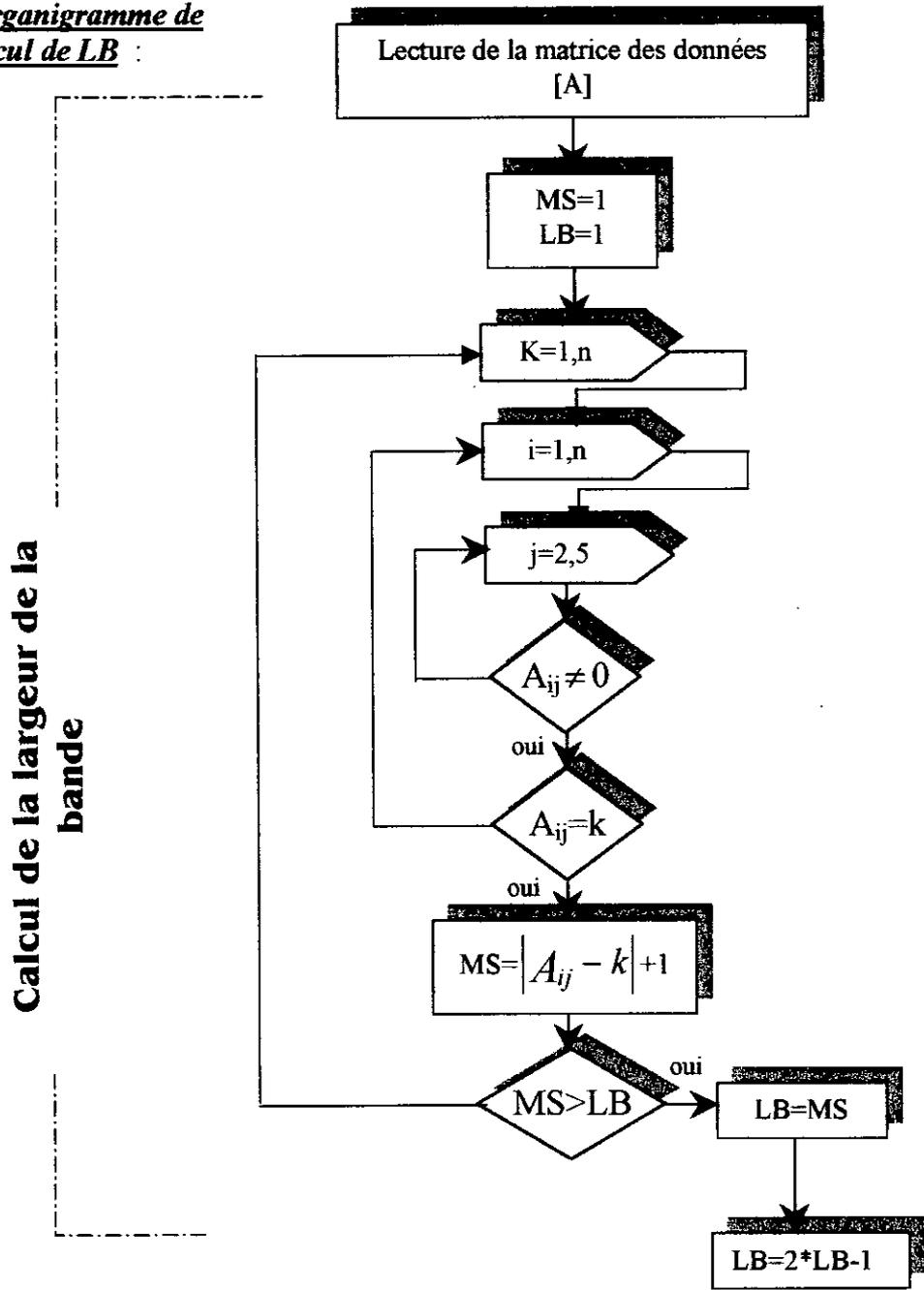
**(Q)** : Vecteur solution (débit)

**[MR]**: Matrice redressée.

Dans cette nouvelle démarche, on est obligé de définir seulement une matrice de moins dimension ( $n, LB$ ), il faut noter que la largeur de la bande ( $LB$ ) peut varier considérablement avec l'ordre de numérotation défini dans le paragraphe (III-3-1), alors, la réduction au minimum de la largeur de la bande permet des économies au niveau du stockage des matrices. Bien que le nombre des termes non nuls de la matrice bande reste invariant.

b) Description de sous programme

L'Organigramme de Calcul de LB :



**Exemple d'application**

La matrice bande représentée dans la figure(III-2 ),sa matrice redressée est la suivant :  
Avec  $L_b=9$ .

0	0	0	0	$R_1$	$R_2$	$-R_3$	$R_4$	0
0	0	0	-1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	-1	0	1	0	1	0	0
0	0	-1	-1	1	0	0	0	0
0	0	$-R_4$	$-R_5$	$R_6$	$-R_7$	$R_8$	$R_9$	0
0	0	-1	0	1	0	0	0	0
0	0	-1	0	1	0	1	0	0
0	0	-1	0	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	0	1	0	0
0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
$-R_8$	0	$R_{10}$	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{14}$	0	0
0	0	0	-1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	-1	0	-1	0	0
0	0	-1	1	1	0	0	0	0
0	0	$-R_{14}$	$R_{15}$	$R_{16}$	$R_{17}$	$R_{18}$	$R_{19}$	0
0	0	0	1	-1	0	0	0	0
0	-1	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	-1	0	0	0	0

Et la solution du système :

$$X(i) = \left\{ \begin{array}{l} 2,067 \\ 53,926 \\ 59,969 \\ 160,790 \\ 239,848 \\ 84,276 \\ 243,856 \\ 42,392 \\ 119,144 \\ 88,682 \\ 59,254 \\ 74,366 \\ 59,731 \\ 1,110 \\ 22,508 \\ 42,393 \\ 18,214 \\ 10,419 \\ 5,488 \end{array} \right.$$

programme de redressement :

```

DO I=1,N
DO J=1,L
SK(I,J)=0
ENDDO
ENDDO
DO 40 I=1,N
DO 40 J=2,5
LES EQUATIONS DE MAILLE
IF(J.LE.3) THEN
IF(A(I,J))30,40,50
30 ALFA=-1
GOTO 10
50 ALFA=1
10 I2=ABS(A(I,J))
J2=ABS(A(I,1))
K=MS-I2+J2
LE TEST
IF((K.GT.0).AND.(K.LE.(2*MS-1))) SK(I2,K)=CH(J2)*ALFA
ELSE
LES EQUATIONS DES NOEUDS
I2=ABS(A(I,J))
J2=ABS(A(I,1))
K=MS-I2+J2
IF((K.GT.0).AND.(K.LE.(2*MS-1))) THEN
IF(A(I,J).LT.0) SK(I2,K)=-1
IF(A(I,J).GT.0) SK(I2,K)=1
ENDIF
ENDIF
40 CONTINUE
N1=N-1
DO 6 K=1,N1
C=SK(K,MS)
K1=K+1
NI=K1+MS-2
L=MIN(NI,N)
IF(ABS(C)-1.E-30)4,4,5
5 DO J=K1,L
K2=MS+J-K
SK(K,K2)=SK(K,K2)/C
ENDDO
X(K)=X(K)/C
DO I=K1,L
K2=MS+K-I
C=SK(I,K2)
DO J=K1,L
K2=MS+J-I
K3=MS+J-K

```

```

SK(I,K2)=SK(I,K2)-C*SK(K,K3)
ENDDO
X(I)=X(I)-C*X(K)
ENDDO
6 CONTINUE
IF(ABS(SK(N,MS))-1.E-30)4,4,7
7 X(N)=X(N)/SK(N,MS)
DO 8 I=1,N1
K=N-I
K1=K+1
NI=K1+MS-2
L=MIN(NI,N)
DO J=K1,L
K2=MS+J-K
X(K)=X(K)-SK(K,K2)*X(J)
ENDDO
8 CONTINUE
GOTO 9
4 WRITE(*,*) --> ATTENTION LA MATRICE EST SINGULIERE '
9 DO I=1,N
IF(X(I).LT.0) THEN
DO J=2,5
A(I,J)=-A(I,J)
ENDDO
X(I)=ABS(X(I))
ENDIF
ENDDO
END

```

### III-8 Conclusion

*Cette technique permet de réduire les inconvénients des méthodes classiques, qui nécessitent une répartition initiale des débits influençant grandement la convergence.*

Cette méthode a pour avantages:

- ◆ Des résultats précis.
- ◆ Convergence rapide.
- ◆ Une meilleure précision. [P.BOURGINE 1988]
- ◆ Facile à utiliser.
- ◆ Sans répartition initiale des débits.

C'est pour cela que nous avons opté pour cette technique pour le dimensionnement pour notre réseau.

# Chapitre IV

## Entretien des réseaux d'AEP

### IV-1 Introduction

*Le renouvellement des réseaux d'eau potable constitue un problème important, que de nombreux services d'eau ont souvent jusqu'à présent considéré comme secondaire. Le problème étant encore plus aigu en zone rurale qu'en zone urbaine.*

*Les travaux de renouvellement des canalisations sont des opérations lourdes. Ils consomment une part importante du budget du service de distribution d'eau. Ils ont donc une incidence sensible sur le prix de vente de l'eau.*

*Par ailleurs, les travaux de renouvellement sont inéluctables. Les canalisations vieillissent, elles s'entartrent, ou au contraire se corrodent, leurs diamètres deviennent insuffisants, leurs matériaux évoluent dans le temps et se fragilisent, etc. Il arrive un moment, à plus ou moins long terme, où elles devront être remplacées, que ce soit les conduites de distribution ou les branchements.*

*Un bon gestionnaire de réseau ne peut donc occulter les questions suivantes :  
Dois-je renouveler les canalisations ? Lesquelles dois-je renouveler ? Que dois-je envisager comme travaux ? Dois-je structurer ces travaux ?*

## **IV-2 Dois-je renouveler les canalisations ?**

C'est presque une évidence de dire que, pour bien gérer un système, il convient de bien le connaître. Cette évidence loin d'être toujours respectée en matière de réseau, On peut révéler a priori trois symptômes caractéristiques du vieillissement ou dégradations et qui sont :

- La multiplication des fuites et ruptures.
- La diminution des capacités de portage hydraulique.
- Le problème de qualité d'eau.

Avant d'entamer tout renouvellement, ou réhabilitation, il faut faire une enquête, et analyser les résultats, qui ont pour objectifs :

- Recueillir une information optimale sur les réseaux.
- Faire le point de la situation actuelle en matière de renouvellement.
- Faire l'inventaire des critères techniques retenus.
- Voir s'il existe des expériences particulièrement intéressantes dans ce domaine.

### **IV-2-1 Connaissance du réseau**

Il est indispensable de bien connaître la position et le linéaire des différentes conduites du réseau, leur matériau, leur diamètre et leur âge, de même que la localisation et le type des différents appareils (réservoirs, vannes de sectionnement, appareils de régulation, ventouses, etc.), cette connaissance doit être transposée sur des plans de réseau mis à jour.

### **IV-2-2 Entretien des réseaux**

Pour comprendre l'évolution de l'état d'un réseau il faut pouvoir en analyser les faits marquants, notamment les réparations. Afin de pouvoir effectuer cette analyse, il est impératif de recueillir sur le terrain les nombreuses indications disponibles lors d'une intervention et de créer un fichier des interventions qui reprendra entre autres.

- Les caractéristiques de la conduite;
- Son état général;
- Les types désordres observés;
- Les caractéristiques du remblai existant, et de l'environnement de la conduite;
- Tous les éléments liés à l'intervention(durées, pièces utilisées, etc.)

Ces informations permettront d'identifier les secteurs à forte fréquence d'incident. Pour une exploitation statistique de ces fichiers, et des informations reportées sur les plans (des fichiers de conduites pourront faciliter le traitement de ces informations), il deviendra alors possible d'effectuer des prévisions sur les risques de fuite pour chaque secteur.

### **IV-3 Les quelles dois-je renouveler ?**

Une conduite de bonne qualité, dont les dimensions permettent de véhiculer les quantités nécessaires d'une eau de qualité idéale ayant été posé parfaitement dans un milieu non agressif n'aurait, a priori, aucune raison de présenter un problème quelconque et devrait perdurer de nombreuses décennies.

Or en réalité, la conduite subit des agressions de toutes sortes, ses dimensions ne sont pas adaptées aux besoins, et sa pose n'a peut-être pas été parfaite. Ces éléments seront dénommés facteurs de désordre. Ils sont à l'origine des dysfonctionnements dont les plus connus sont les phénomènes de ruptures, ou de percements.

#### *IV-3-1 Les facteurs de désordre :*

##### *IV-3-1-1 Facteurs de désordre internes :*

a) *Eau agressive* : Lorsqu'une eau agressive circule dans certaines catégories de conduites, par exemple en *acier*, ou en *fonte non revêtue*, des phénomènes de corrosion interne vont se développer. Il en résulte souvent une altération plus ou moins visible de la qualité de l'eau (eau rouge), cette situation se traduit aussi fréquemment par un affaiblissement de la conduite, qui risque d'entraîner des percements, ou même des ruptures.

b) *Eau incrustante* : A l'opposé du cas précédent, une eau incrustante aura tendance à entartrer les conduites avec comme conséquence principale une diminution de la section entraînant des pertes de charge plus importantes, et une diminution concomitante des débits disponibles.

c) *Variation de pression* : La pression constitue, de même que ses variations, un critère important du fonctionnement d'un réseau.

Les variations de pression liées aux fluctuations de la demande en eau au cours de la journée ainsi que les coups de bélier vont générer un phénomène de fatigue du réseau pouvant conduire à la rupture des conduites et des appareils.

Une élévation du niveau de la pression d'un réseau pour des motifs d'exploitation, peut entraîner une brusque augmentation du nombre de fuites (par exemple lorsque la pression maximale admissible de certaines conduites est dépassée).

#### ***IV-3-1-2 Facteurs de désordre externes :***

*Agressivité des terrains ou des remblais* : Lorsque les caractéristiques et le type de la conduite posée ne sont pas adaptées à celles des terrains traversés, ou celles des remblais, des phénomènes de corrosion externe peuvent se développer.

Cette situation va se traduire par des ruptures, ou des percements de la conduite. Dans les cas extrêmes on peut constater des destructions quasi complète de la conduite (*par exemple une conduite en fonte, ou en acier associé à un remblai en sable de fonderie*), avec d'autres facteurs :

- Caractéristiques mécaniques des terrains;
- Charges extérieures (par exemple passage de charges exceptionnelles).
- Présence de produit corrosif.

#### ***IV-3-1-3 Facteurs de désordre liés à la conduite :***

a) *Joint* *défectueux ou inadaptés* : Certains types de joints, ou de systèmes de raccords mal conçus, ou mal adaptés peuvent provoquer des fuites qui proviennent de modification dans le traitement de l'eau.

b) *Mauvaise qualité de la conduite* : Certaines conduites peuvent avoir été mal conçues, ou mal réalisées, et créent ainsi les difficultés au bout d'un certain temps.

c) *Technique de pose* : La pose d'une conduite est une opération technique spécifique qui, si elle n'est pas menée dans les règles, peut entraîner des désordres. L'exigence de qualité de la pose d'une conduite est un élément prépondérant de la durée de vie d'un réseau.

#### ***IV-3-2 Critères de renouvellement:***

Pour quel motif le décideur va-t-il choisir cette solution plutôt qu'une autre?

On peut énumérer comme suit les critères de renouvellement:

##### ***1. Insuffisance de débit-pression :***

a) *Baisse de la capacité du réseau*: Ce phénomène provient souvent de la diminution de la section de la conduite par entartrage ou dans certains cas de corrosion.

A partir d'une certaine nuisance, un nettoyage accompagné éventuellement d'une protection interne ne suffit pas, il est nécessaire de renouveler la conduite.

b) *Augmentation de la demande* : En cas de croissance de la consommation, les lois hydrauliques font que les pertes de charge augmentent fortement. A partir d'une certaine progression, il convient de renouveler la conduite en augmentant son diamètre.

La capacité d'un réseau peut être améliorée par une augmentation de la pression. Cette solution, lorsqu'elle est possible physiquement, est cependant limitée par les lois hydrauliques, les phénomènes induits comme les coups de bélier, les fluctuations de pression dans la journée, l'augmentation des débits de fuites, et le coût énergétique.

### 2. Augmentation du nombre de fuites:

L'indice linéaire de réparation (nombre de fuites réparées par an ramené au linéaire de canalisation), et plus encore l'évolution de celui-ci sont des éléments très importants pour le suivi d'un réseau, et la détermination des secteurs à problèmes.

### 3. Dégradation de la conduite:

Il arrive de constater lors d'une intervention que la conduite est dégradée, certains types de corrosion accélérée, peuvent entraîner une dégradation rapide de la conduite en absence de renouvellement.

### 4. Travaux de voirie:

Ce critère n'est un facteur déclenchant que lorsqu'il est associé à d'autres éléments touchant à la conduite dans le cadre d'une analyse globale des risques futurs, et ces éléments peuvent être :

- *La fragilité ou la qualité*: C'est en général le facteur déterminant, et il est souvent lié à l'âge, car les conduites anciennes, même lorsqu'elles sont en excellent état, sont généralement fragiles (la fonte grise par exemple).  
[P.SCHULHOF 1993]
- L'état ou l'historique des indices linéaires de réparation.
- Les incertitudes sur l'évolution de besoins futurs.
- L'interdiction pendant un certain nombre d'années de percer la chaussée refaite.

## **IV-4 QUE dois-je envisager comme travaux ?**

Après avoir déterminé les conduites à renouveler, ou à réhabiliter, on propose quelques techniques d'intervention pour les différents cas.

### 1-Lutte contre l'entartrage:

Outre les normes de potabilité d'une eau destinée à la consommation domestique, celle-ci doit subir également un traitement préventif contre l'entartrage. Il a été constaté qu'en ajoutant à l'eau une dose faible de polyphosphate de sodium  $2\text{g/m}^3$ , où existait l'entartrage. [B.SALAH 1992]

### 2- Enlèvement des dépôts:

▪ L'attaque de la canalisation par des eaux d'une certaine agressivité donne lieu à des dépôts ferrugineux.

▪ Le dépôt de matières colloïdales aux endroits de la canalisations où la vitesse d'écoulement est faible.

Le nettoyage des canalisations incrustées peut s'effectuer par procédé mécanique tels que turbines à molettes, brosses métalliques cylindriques. Si le procédé mécanique est impossible. On peut enlever les dépôts par l'introduction de l'eau acidulée.

### 3- Lutte contre la corrosion:

Pour le revêtement intérieur des canalisations où des corrosions se manifestent notamment des conduites en acier, il existe des appareils centrifuges, qui assurent des projections adhérentes de ciment, et que l'on déplace d'une manière progressive au sein des parties atteintes.

## **IV-4-1 Réparation proprement dite:**

- Rénovation des joints défectueux.
- Rénovation de la canalisation.

### a)Rénovation des joints défectueux :

Il faut changer l'élément détérioré, démonter à chaud les deux extrémités et mettre en place l'élément nouveau.

### b)Rénovation des canalisations:

Un ou plusieurs des facteurs suivants peuvent conduire soit à remplacer soit à réserver une canalisation:

- Fréquence des ruptures.
- Fuites.

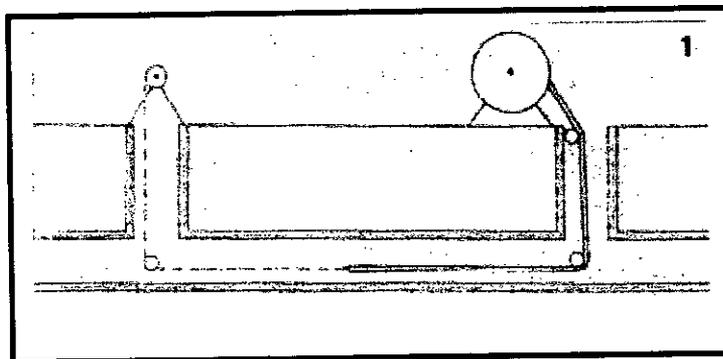
- Coûts associés à ces deux facteurs.
- Portes de capacité se traduisent par une insuffisance de pression et de débit.

#### IV-4-2 Chemisage par une gaine souple:

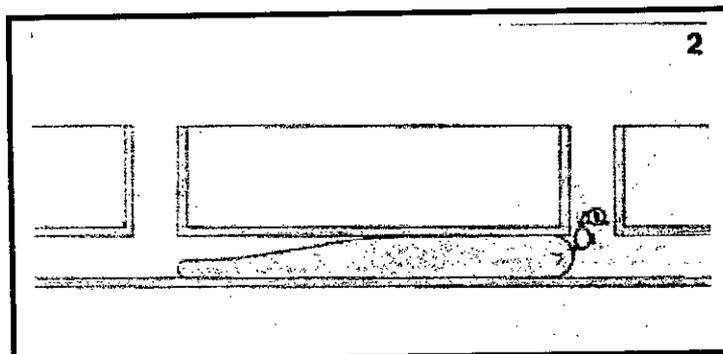
Avant la mise en place de la gaine, il est procédé à une inspection préalable de la canalisation par une caméra de télévision. Cette gaine induite de résine époxydique sur le chantier est introduite dans la conduite à l'aide de corde ou câble tracté manuellement ou mécaniquement. Elle est obturée à chaque extrémité avec des obturateurs, et on injecte de l'air ou de l'eau, ou les deux ensembles, pour la mise en pression de 0,1 à 0,5 bars. La gaine prend alors appui sur toute la surface de la canalisation le procédé est utilisable pour des canalisations allant de 200 mm à 1000 mm ou plus.

Le chemisage est réalisé par :

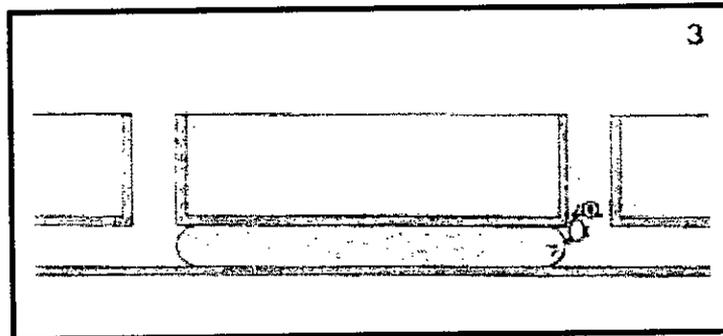
- 1) L'introduction d'une gaine souple imprégnée de résine, et tractée par un treuil depuis la surface.



- 2) Le gonflage de la gaine sous basse pression d'air pour la plaquer sur la canalisation existante.



3) Le chauffage à 70<sup>0</sup>c environ pour obtenir un tube rigide par polymérisation de la résine.



Avantage de la méthode :

**Pour la conduite rénovée :**

- Pas d'espace annulaire.
- Très faible réduction de section: épaisseur courante du revêtement de 5 à 7 mm.
- Très bon comportement aux agressions chimiques et thermiques.
- Très bonne tenue mécanique.
  - Sans nécessité de collage sur l'ancienne conduite.
  - Contraintes acceptables analogue à celle de l'acier.
- L'amélioration du coefficient de rugosité donne une nette augmentation de la débitance.

**pour les travaux :**

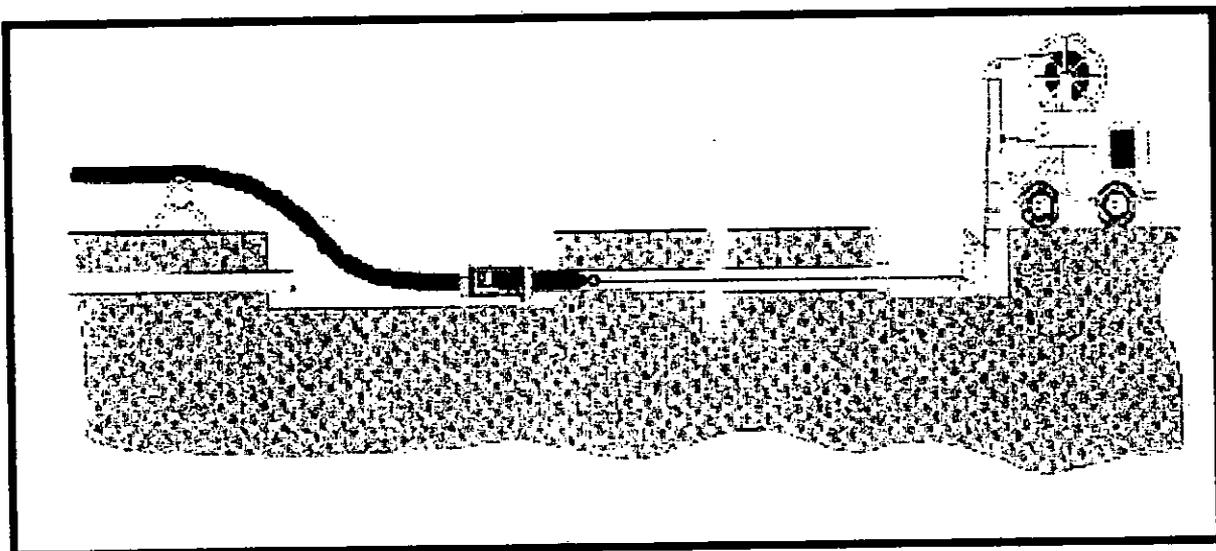
- Exécution rapide d'un tronçon en 8h, et remise immédiate de l'ouvrage après découpe éventuelle endroit des branchements,
- Circulation automobile peu perturbée.

### IV-4-3 Réhabilitation sans tranchée

#### Principe et phases d'exécution :

Ce procédé consiste :

- A introduire par tirage avec effort de traction constant le polyéthylène dans la canalisation existante pour maintenir cette réduction avec un allongement de 4% environ.
- A relâcher la conduite qui reprend son diamètre initial en moins de 24 h en se plaquant sur la paroi de l'ancienne conduite.



#### Domaine d'application :

- Eau, gaz, tous fluides sous pression
- Diamètre de  $\varnothing$  125 à 800 mm
- Longueur des tronçons pouvant aller jusqu'à 500 m.

#### Avantages :

##### pour la conduite rénovée :

- Pas de vide annulaire
- Faible réduction de section

- Chemisage autostructurant (ou non) selon les hypothèses retenues par le calcul.

#### **pour les travaux :**

- Exécution rapide.
- Préparation en surface par tronçon avec soudure classique.
- Puits d'introduction, de tirage, de raccordements peu encombrants.
- Peu de gêne à la circulation automobile.

### **Conclusion**

Comme nous venons de le voir, même si les critères ou les facteurs sont peu nombreux, ils sont cependant très imbriqués et leur évidence est rarement absolue.

A cette complexité s'ajoute la difficulté de déterminer le tronçon précis à renouveler.

Pour éviter au maximum la dégradation du réseau, il faut prévoir:

- Des diamètres tels que la vitesse de l'eau soit de l'ordre de 0.5 à 1m/s, afin d'éviter les dépôts.
- Des pentes régulières pour faciliter l'élimination des dépôts aux points bas et le dégazage aux points hauts (ventouses).
- Des systèmes anti-bélier afin d'éviter les poches d'air. ✓
- Le remplacement des remblais de la tranchée de pose par des matériaux non agressifs et bien calibrés.

Et si les facteurs de désordre apparaissent, trois types d'actions sont possibles :

- 1) Ne rien faire si l'incidence sur le fonctionnement du système est négligeable.
- 2) Effectuer une réparation ponctuelle, lorsque le désordre est très localisé.
- 3) Renouveler la conduite soit en la remplaçant par une autre, soit par une action de réhabilitation.

## Chapitre V

# Approche à la détection des fuites dans les réseaux d'AEP

### V-1 Introduction

*Jusqu'à une période assez récente, le contrôle des installations de distribution d'eau (canalisation, branchement, réservoir, etc.) reposait sur la seule expérience humaine, par des tournées régulières, mais la complexité des grands réseaux rend difficile les tâches de surveillance et de commande, et les inconvénients étaient multiples (personnel immobilisé, perte de temps, trajets importants, faible sécurité de distribution).*

*Les distributeurs ont été amenés à mieux connaître les informations techniques sur leurs installations de production, et de distribution (débits, pressions, pompage, etc.) avec des méthodes développées (mesures en temps réel, et transmission des mesures par les réseaux téléphoniques ou par satellite).*

*Pour contribuer à la détection des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable, nous allons dans ce chapitre étudier l'influence des fuites sur la pression en chaque nœud du réseau, et la possibilité de localisation en fonction du comportement du réseau vis-à-vis des fuites, et leur influence sur les pressions. Pour cela on a élaborer un modèle numérique de simulation.*

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à des réseaux d'eau les plus simples, (alimentation gravitaire) constitué d'un ou plusieurs réservoirs, pour éviter d'éventuelles contraintes dans les cas plus complexes.

Notre objectif principal est de mettre en œuvre une méthode de détection des fuites, basées sur la variation des pressions du réseau en fonction de la position des fuites.

## V-2 Méthodologie

Nous avons dégagé dans le cadre de cette étude, que pour calculer les nouvelles pressions en chaque nœud dans le cas de fuites, il est nécessaire de trouver l'influence de ces dernières sur les débits soutirés, et circulants dans chaque tronçon. De là nous avons pensé à créer un nouveau nœud (fuite) dans le réseau avec un débit soutiré qui représente le débit de fuite, et changer la matrice des données avec le nouveau nœud, pour cela nous avons élaborer un subroutine "change" qui crée le nœud en respectant la numérotation indiquée dans le paragraphe(III-3-1), en évitant le cas de singularité de la matrice pour la résolution du système. Avec la nouvelle matrice des données, on calcule les nouveaux débits des tronçons, en on réalise l'équilibrage du réseau avec l'idée que le réseau revient à son état d'équilibre (moins d'énergie),

Après avoir calculer (ou déterminer) les déferents débits circulant dans les tronçons, on calcul les pertes de charge de chaque tronçon, et par delà les pressions en chaque nœud.

## V-3 Problématique

Au début nous avons commencé avec le cas le plus simple, l'influence à un sens (le nœud aval de fuite), mais dans le cas, où la fuite serait au centre du réseau, la difficulté serait la détermination de l'influence de cette fuite sur les débits soutirés en chaque nœud, pour cela, et pour réduire le nombre des problèmes nous avons développé " l'idée de point de nuit ".

### *L'idée de point de nuit*

Il est connu que la demande d'un réseau est minimal, aux coefficients de pointe minima, par contre les fuites ont un caractère plus constant, contrairement au cas coefficient de pointe est maximum, (la consommation est maximale), et les pressions peuvent varier brusquement.

Dans l'intervalle de temps, où la consommation est faible, on peut dire que la fuite influe directement sur le débit entrant (débit du réservoir), en fixant les débits des consommateurs.

## **V-4 Présentation du logiciel de simulation**

Notre modèle numérique de simulation élaboré est constitué de deux parties principales :

- La première porte sur la mise en œuvre d'un programme de dimensionnement des réseaux maillés, pour la détermination du cas de fonctionnement idéal du réseau, et prendre les résultats obtenus comme référence de comparaison.
- Le but de la deuxième partie est d'élaborer, par des moyens numériques (algorithmique), un logiciel qui prend en considération les différents comportements du réseau en cas de différentes positions de la fuite.

### **V-4-1 Dimensionnement**

Cette partie est la base de l'étude, parce que les résultats sont considérées comme référence de comparaison, pour cela on a choisi la méthode de technique linéarisation de perte charge pour dimensionner le réseau pour ces avantages indiqués dans le chapitre(III).

Cette partie, permet de dimensionner le réseau d'AEP dans les cas suivant :

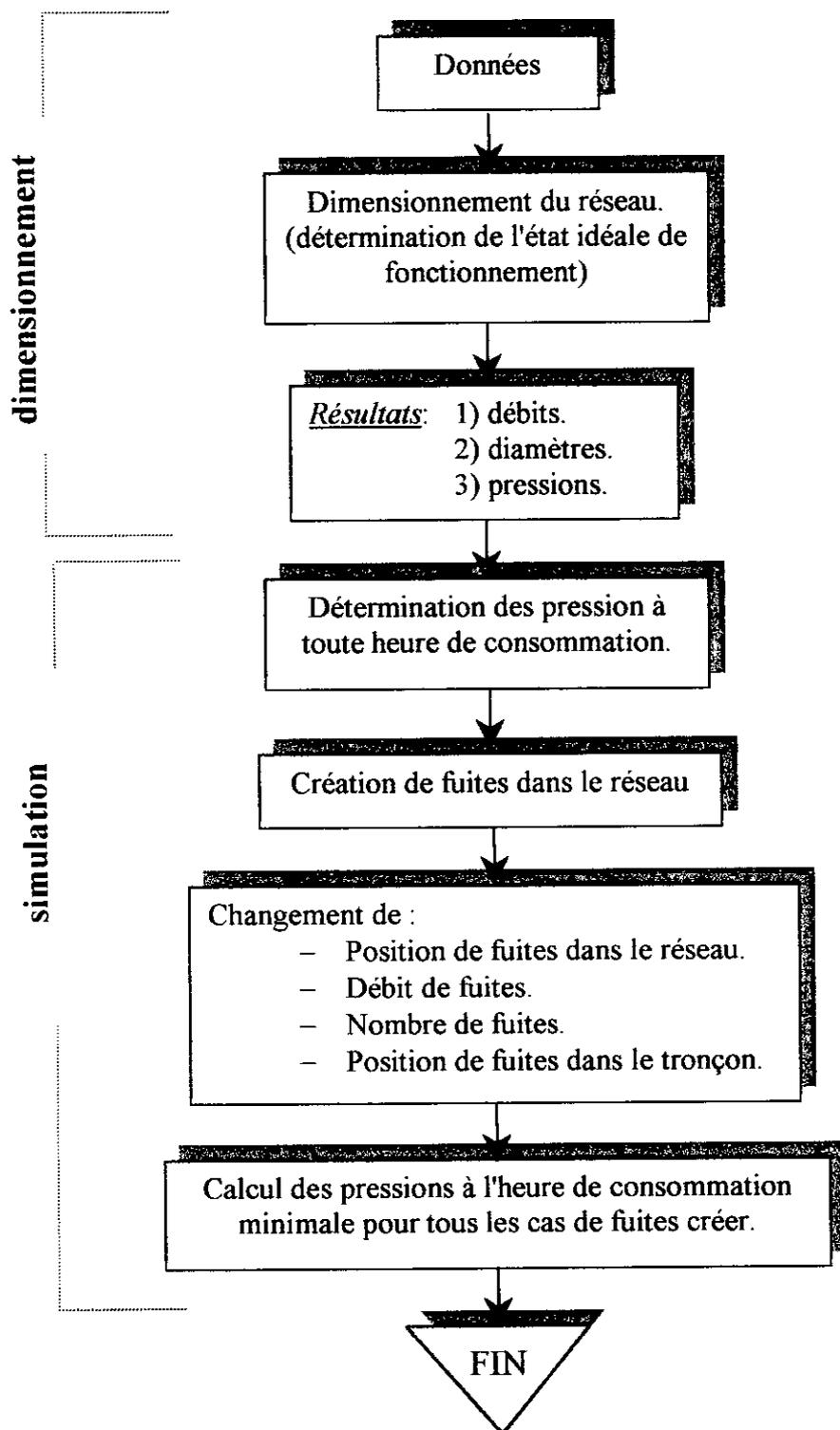
- Plusieurs réservoirs.
- Extension du réseau.
- Accroissement de la population.

### **V-4-2 Simulation**

La deuxième partie porte sur la détermination des pressions dans tous les cas possibles (de position de fuites) avec les différents coefficients de pointe, en variant les valeurs de débits de fuites, elle permet de déterminer:

- Les pressions en fonction coefficients de pointe ;
- Les pressions en fonction de différentes positions de fuites ;
- Variation de nombre de fuites ;

### V-4-3 Organigramme général de simulation



## V-5 Application

### V-5-1 Diagramme journalier de la consommation d'eau

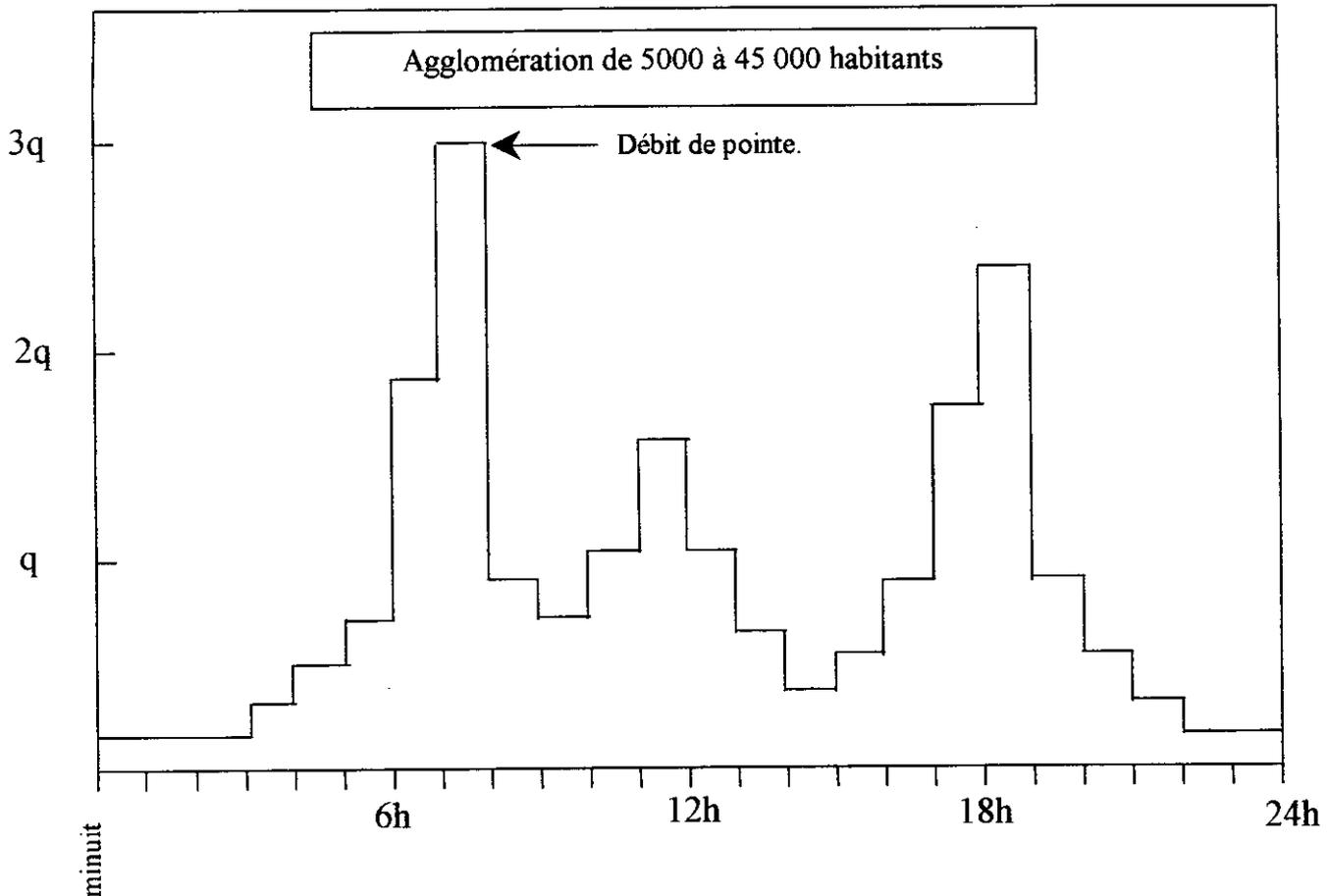
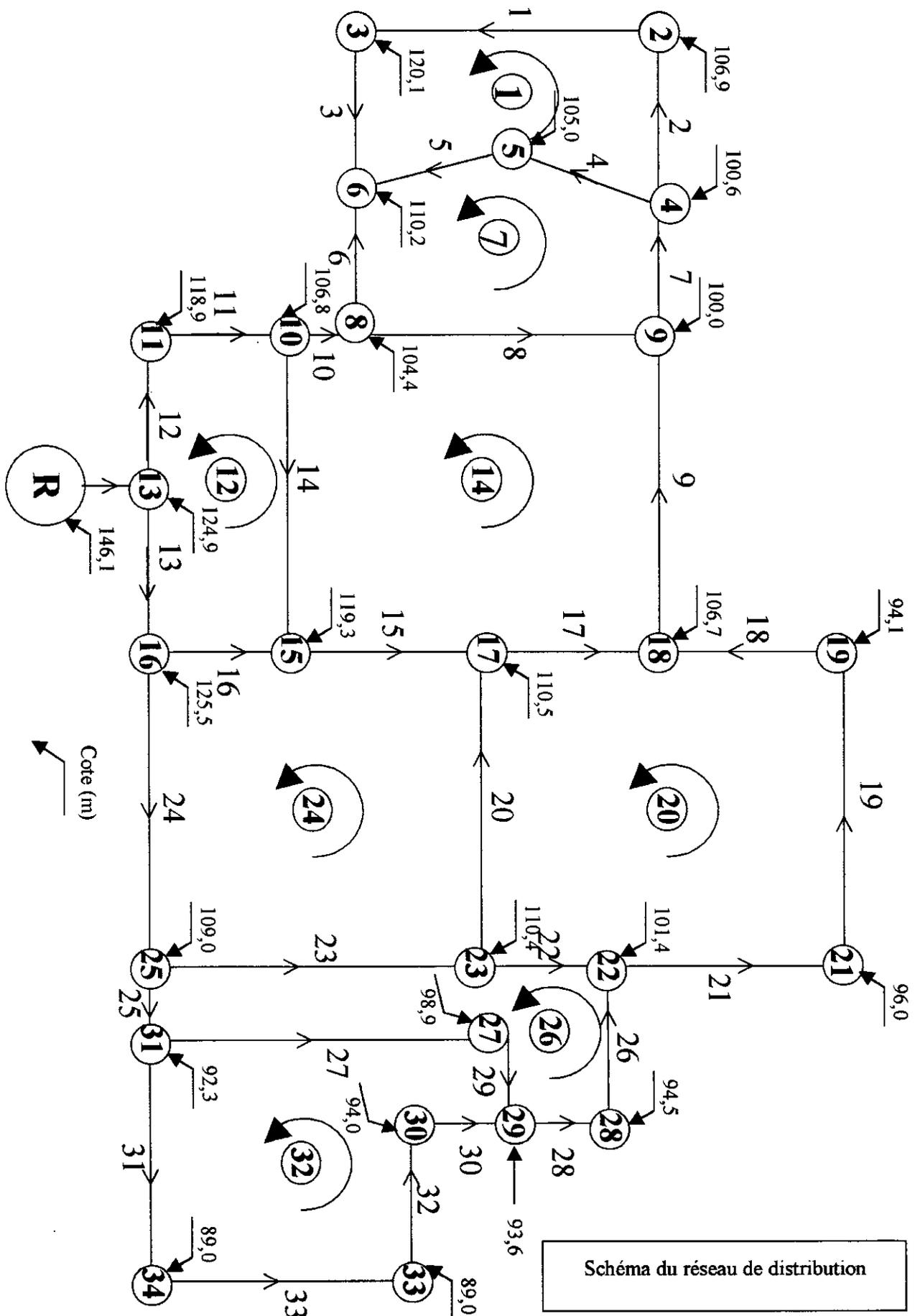


Figure (V-1) variation de coefficient de pointe en durant la journée

- L'analyse de la figure représentée ci-dessus montre d'une manière générale que :
- La demande subit une variation importante pendant la journée, elle prend sa valeur minimale entre 22h et 3h du matin, et sa valeur maximale entre 7h et 8 h.
  - Il y a trois périodes de consommation importantes pour des coefficients de pointes différents.
  - La consommation est assez constante entre 22h et 23h, et cette période a une importance pour déterminer les effets de fuites.

V-5-2 schémas du réseau de distribution



**V-5-3 Partie dimensionnement****V-5-3-1 Résultats de dimensionnement****a) Les caractéristiques des tronçons**

Tronçon	Débit(l/s)	Vitesse(m/s)	Diamètre(mm)
1	1,19	0,28	80
2	9,01	0,50	150
3	11,79	0,38	200
4	1,67	0,41	80
5	8,93	0,48	150
6	58,65	1,86	200
7	24,99	0,80	200
8	66,15	0,94	300
9	15,90	0,51	200
10	129,90	1,03	400
11	144,11	0,73	500
12	152,68	0,54	600
13	210,32	0,74	600
14	3,60	0,46	100
15	69,46	0,98	300
16	88,08	0,70	400
17	28,25	0,90	200
18	11,53	0,36	200
19	1,89	0,40	80
20	17,14	0,34	250
21	12,13	0,69	150
22	46,96	0,66	300
23	44,10	0,62	300
24	115,72	0,59	500
25	61,02	0,49	400
26	18,10	0,56	200
27	34,29	0,48	300
28	13,00	0,40	200
29	27,76	0,88	200
30	18,13	0,56	200
31	16,74	0,55	200
32	7,53	0,40	150
33	2,47	0,61	80

Tableau(V-1) des vitesses, débits et diamètre de chaque tronçon

D'après le tableau (V-1) nous avons remarquer que les vitesses sont comprises entre (0,28 m/s) et (1,86m/s), ce qui vérifie les contraintes de vitesses.

## b) Les débits de deux dernières itérations :

Tronçon	Itération 4	Itération 5	Erreur absolue (l/s)	Erreur relative (%)
1	1,14	1,19	0,05	4,20
2	8,78	9,01	0,23	2,50
3	12,02	11,79	0,23	1,95
4	2,08	1,67	0,40	24,0
5	8,53	8,93	0,40	5,00
6	58,48	58,65	0,18	1,00
7	25,14	24,96	0,18	1,00
8	66,39	66,15	0,24	1,00
9	15,96	15,90	0,06	1,00
10	129,96	129,90	0,06	1,00
11	144,11	144,11	0,07	1,0
12	152,68	152,68	0,07	1,00
13	210,26	210,32	0,07	1,00
14	3,61	3,61	0,01	1,00
15	68,85	69,46	0,60	1,00
16	87,47	88,08	0,61	1,00
17	28,11	28,25	0,15	1,00
18	11,44	11,52	0,09	1,00
19	1,98	1,89	0,09	5,00
20	16,69	17,14	0,46	3,00
21	12,22	12,13	0,09	1,00
22	46,58	46,96	0,38	1,00
23	44,17	44,09	0,08	1,00
24	116,26	115,72	0,54	1,00
25	61,49	61,02	0,46	1,00
26	17,64	18,10	0,46	3,00
27	34,15	34,29	0,14	1,00
28	12,54	13,00	0,46	4,00
29	27,62	27,76	0,14	1,00
30	17,53	18,13	0,60	3,00
31	17,34	16,74	0,60	4,00
32	6,93	7,53	0,60	8,00
33	3,07	2,47	0,60	2,00

Tableau (V-2)[l'erreur des deux dernières itérations]

D'après les résultats obtenus des deux dernières itérations tableau(V-2), on peut facilement voire que l'erreur relative et absolue sont faibles.

### c) Caractéristiques des nœuds

Après l'équilibrage du réseau, le programme calcule les pressions en nœuds, et les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-après.

Nœud	Débit soutiré(l/s)	Pression (m d'eau )
2	10,20	35,4
3	10,60	22,4
4	14,27	41,3
5	10,60	36,7
6	37,93	32,5
8	5,09	40,1
9	25,28	41,1
10	10,60	38,0
11	8,57	26,1
13	0,00	20,2
15	22,22	20,1
16	6,53	13,4
17	24,06	29,2
18	32,63	34,2
19	10,60	42,8
21	13,05	41,3
22	16,72	36,8
23	14,27	28,0
25	10,60	29,8
27	6,53	39,6
28	5,10	43,5
29	22,64	45,1
30	10,60	43,5
31	10,00	46,3
33	10,00	48,3
34	14,28	47,7

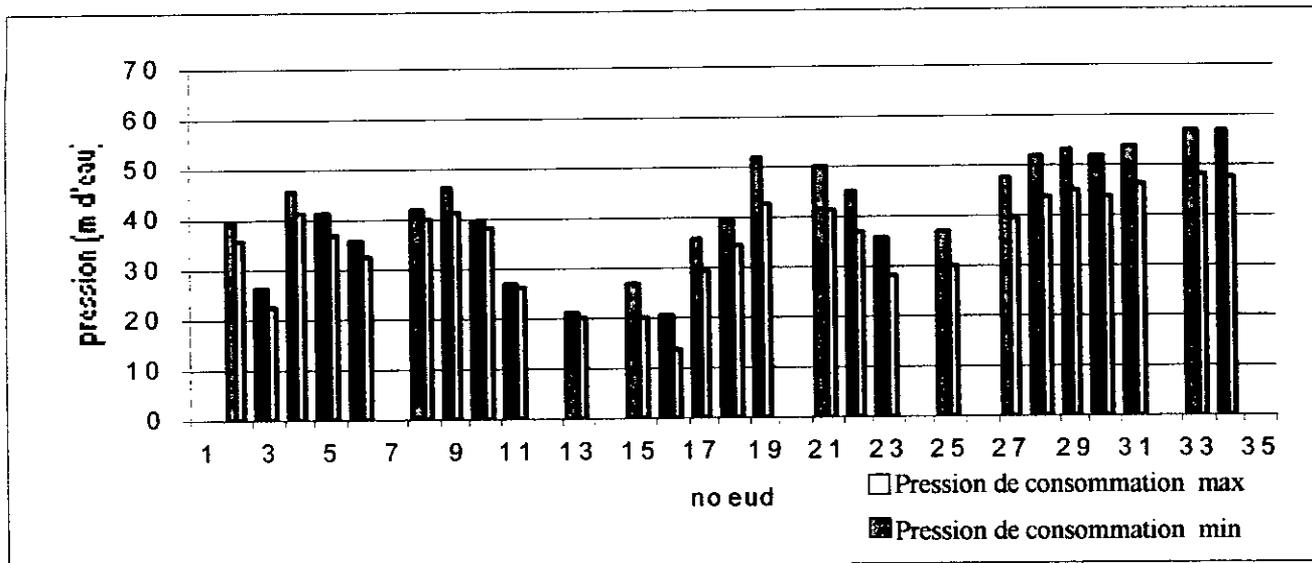
Tableau(V-3) pressions et débits soutirés de chaque nœud

On remarque sur ce tableau que les pressions des nœuds varient entre 13,4 et 48,3 m d'eau, donc ces valeurs de pressions vérifient les contraintes de pressions(  $10 < P < 100$ ) m d'eau.

Pour avoir un service meilleur, une charge minimale et maximale, en chaque nœud du réseau est imposée, pour assurer l'alimentation des points les plus défavorables.

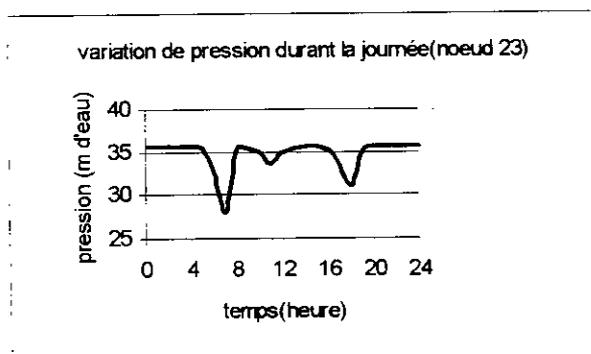
**V-5-4 Partie simulation**

**V-5-4-1 Détermination des pressions à toutes les heures de consommation**

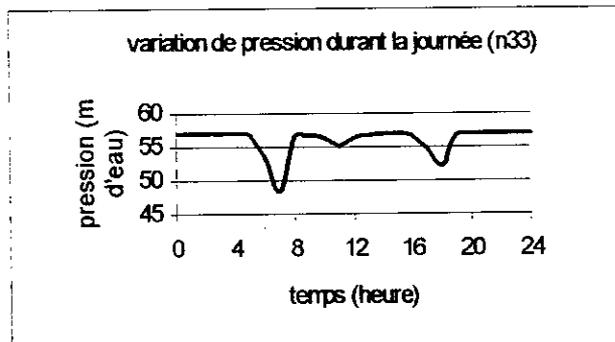


Histogramme (V-1)

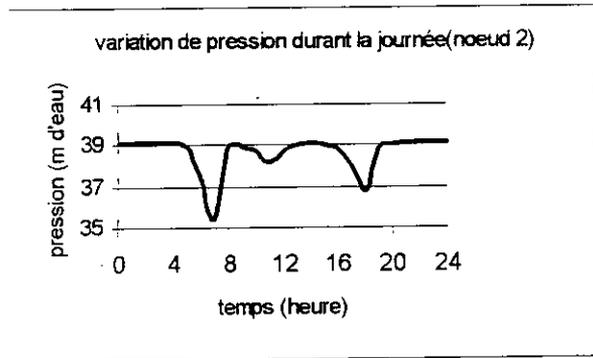
D'après l'histogramme (V-1) nous avons constaté que la variation des pressions est liée aux fluctuations de la demande au cours de la journée, elle prend sa valeur minimale pour une consommation maximale (entre 7 et 8 heure ), et sa valeur maximale pour une consommation minimale (entre 0 et 3 heure ). Donc il y a une augmentation de pression lors de diminution de la demande, et pour bien visualiser cette variation, nous avons choisi quelques nœuds du réseau qui sont représentés par les graphes suivants :



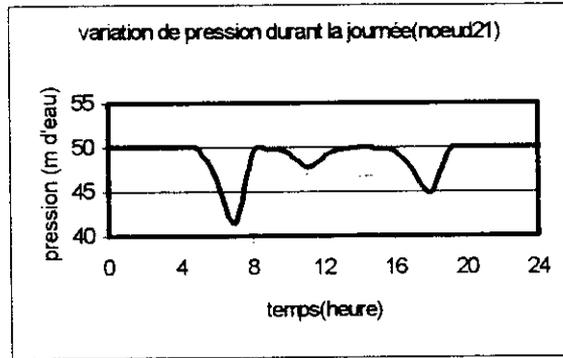
Graphe (V-1)



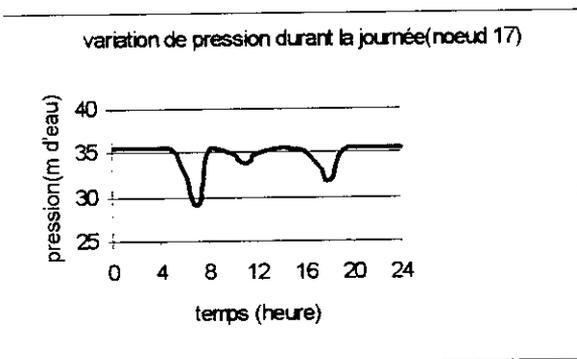
Graphe (V-2)



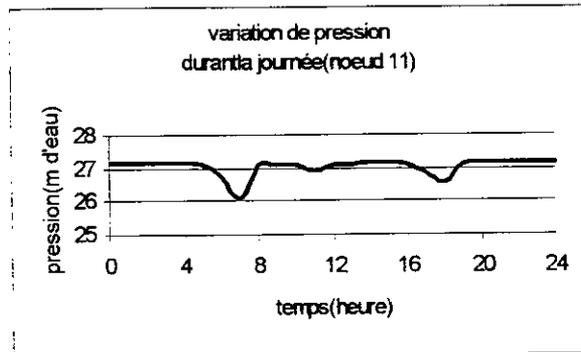
Graphe (V-3)



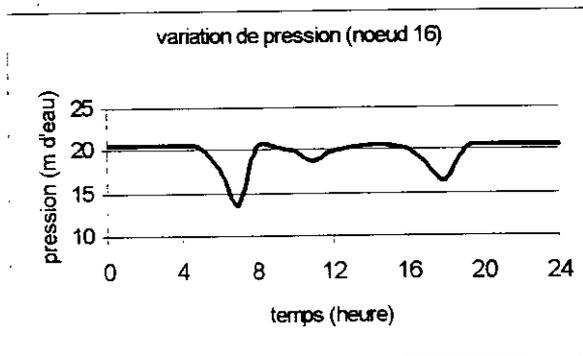
Graphe (V-4)



Graphe (V-5)



Graphe (V-6)



Graphe (V-7)

D'après les graphes précédents on constate, que la variation des pressions des différents nœuds durant la journée a la même allure, et on distingue trois cas bien visibles de variation des pressions qui correspondent à des consommations bien élevées par rapport au reste de la journée. Ces trois périodes de consommation sont entre (7h et 8 h), ( 11h et 12 h) et (18h et 19 h) avec des coefficients de pointe (3), (1,5) et (2,26) respectivement, plus précisément, pour ces trois périodes les pressions différents d'un nœud à un autre. Si on prend par exemple le nœud (11), l'influence de coefficient de pointe n'est pas importante par rapport au nœud (2).

Pour le nœud (17) la variation de pression est de plus de 5 m d'eau (graphe (V-5)) entre la consommation minimale et maximale, par contre le nœud (11) la variation est de 1m d'eau.

D'après les graphes on peut conclure que :

- Les pressions varient en fonction de la fluctuation de la demande durant la journée.
- L'influence n'est pas la même pour tous les nœuds du réseau.
- Comme la consommation maximale nous donne la pression minimale (13,4 m d'eau), et la consommation minimale nous donne la pression maximale (57,2), donc les contraintes de pression indiquées dans le paragraphe(III-6) sont vérifiées d'après l'histogramme(V-1). Alors on peut dire que le réseau est bien dimensionné par ce que la pression est un critère important du bon fonctionnement d'un réseau.

**V-5-4-2 Effet de fuites sur le réseau**

Après avoir étudié l'effet de la variation de la consommation sur la pression. On étudie l'influence des fuites sur le réseau. Pour cela on fixe la fuite à 5 (l/s) et on fait varier sa position, ainsi que le nombre de fuites, et on calcule les pressions pour une période de consommation minimale.

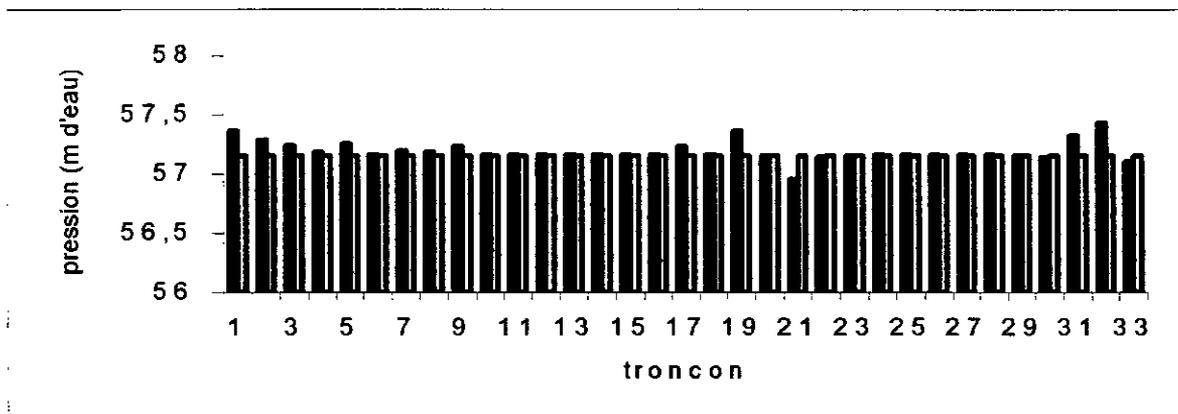
**V-5-4-2-1 cas d'une fuite dans le réseau**

Les histogrammes suivants représentent la variation de pression de quelques nœuds en fonction des positions des fuites dans le réseau.

Le choix des nœuds représentés est fait comme suit :

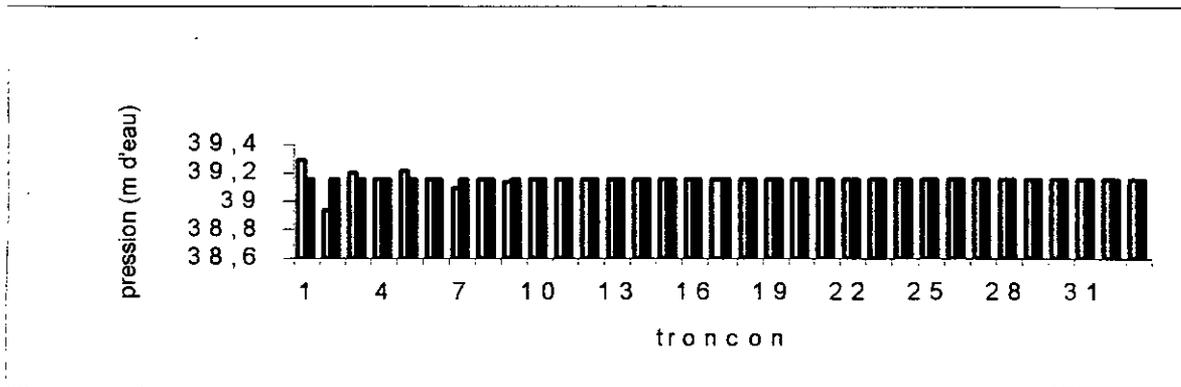
- Trois nœuds d'extrémités du réseau (2,33,21).
- Deux nœuds au centre du réseau (17,23).
- Un nœud proche du réservoir (16).

Cette sélection est faite de telle sorte à englober tous les cas possibles de la variation de pression



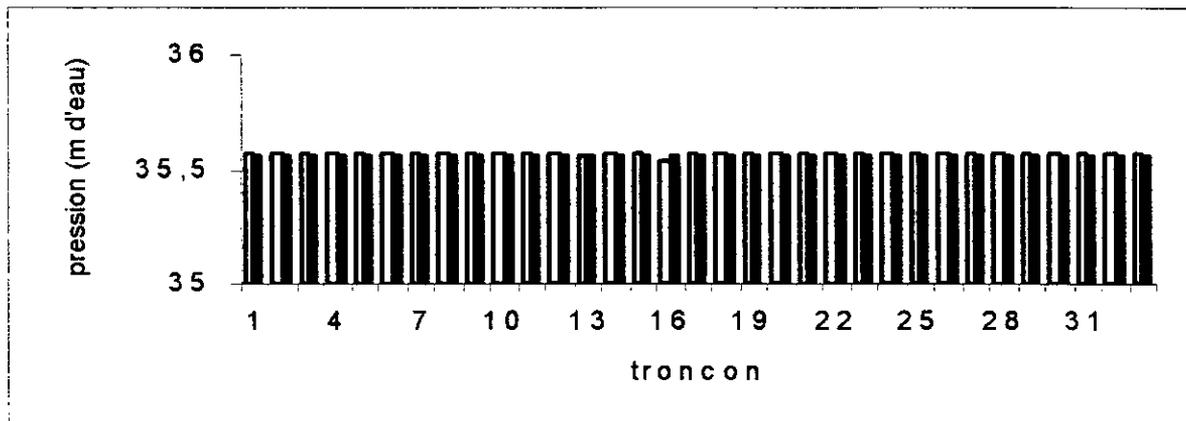
□ Pression sans fuite  
 ■ Pression en cas de fuite

Histogramme (V-2)  
 Effet de la position de fuite sur la pression du nœud (33)



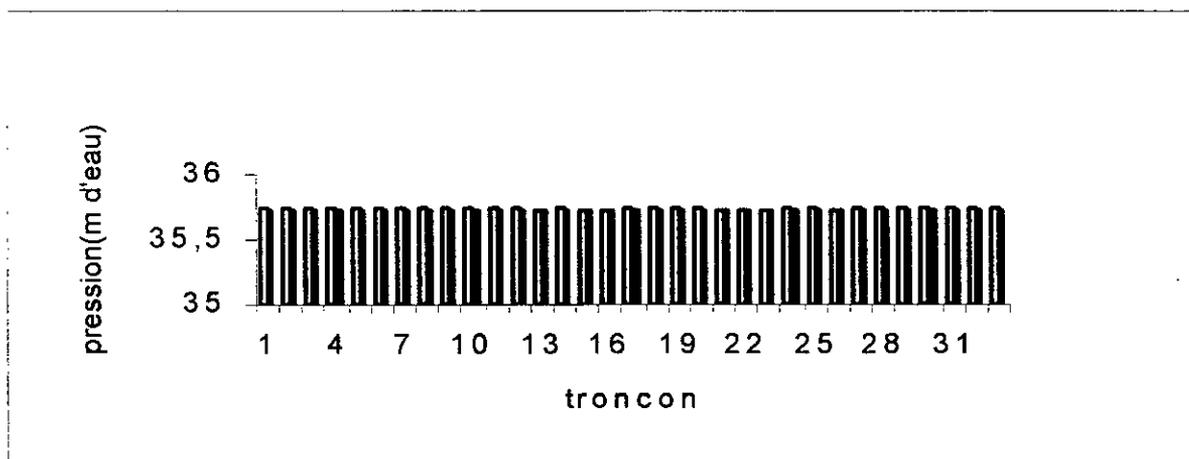
■ Pression sans fuite  
□ Pression en cas de fuite

Histogramme (V-3)  
Effet de position de fuite sur la pression du nœud(2)



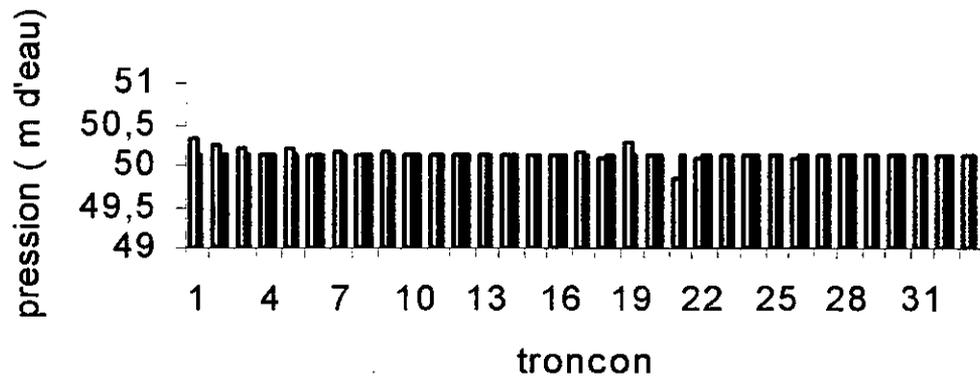
■ Pression sans fuite  
□ Pression en cas de fuite

Histogramme (V-4)  
Effet de position de fuite sur la pression du nœud(17)

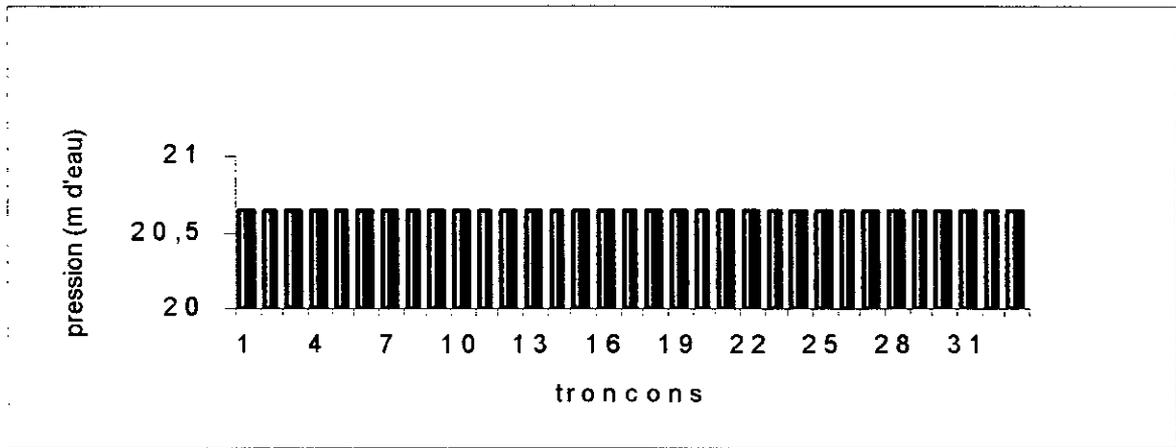


■ Pression sans fuite  
□ Pression en cas de fuite

Histogramme (V-5)  
Effet de position de fuite sur la pression du nœud(23)



■ Pression sans fuite  
 □ Pression en cas de fuite  
 Histogramme (V-6)  
 Effet de position de fuite sur la pression du nœud(21)



■ Pression sans fuite  
 □ Pression en cas de fuite  
 Histogramme (V-7)  
 Effet de position de fuite sur la pression du nœud(16)

D'après l'histogramme (V-2), Si la fuite est dans le tronçon (1), ou (2), on remarque que la variation de pression est considérable au nœud (2) par rapport aux autres positions de fuites, cette variation de pression est justifiée comme suit :

- Les tronçons (1) et (2) sont très proches du nœud (2).
- Le nœud (2), est alimenté directement par ces deux tronçons.

Si la fuite se trouve dans les tronçons de la zone du nœud (2), la variation est moins importante par rapport au premier cas de fuite.

Donc on peut considérer dans ce cas que le nœud (2) est un nœud aval du réseau.  
 Si la fuite se trouve dans les positions (17-22), il y a une légère influence de la fuite simulée sur la pression au nœud (33) se trouvant à l'autre extrémité par rapport à la

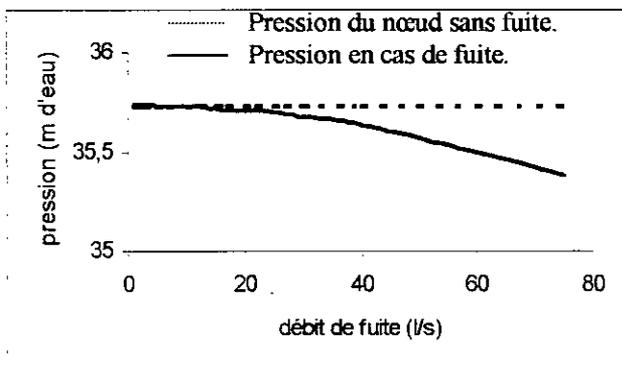
position du nœud (2). l'histogramme (V-3) montre que la variation des pressions au nœud (33) est remarquable si la fuite se trouve dans les tronçons (1),(19),(13) et (32), et d'autre positions dans les tronçons (10),(11) et (16),l'influence est nulle ou extrême légère sur la pression des nœuds considérés

D'après les remarques précédentes en peut dire que :

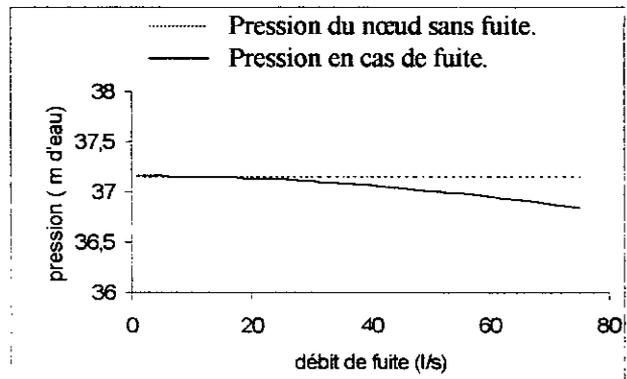
- La position de fuites, n'influe pas sur tous les nœuds du réseau avec la même manière.
- La fuite de 5 l/s n'influe pas sur les nœuds du centre du réseau, et présentent une légère influence sur les nœuds proche du réservoir (nœud 16), par contre si les nœud se trouve à l'extrémité du réseau l'influence est remarquable par rapport aux autres nœuds(2,3,6).

**V-5-4-2-2 Variation de pression en fonction de débit de fuite :**

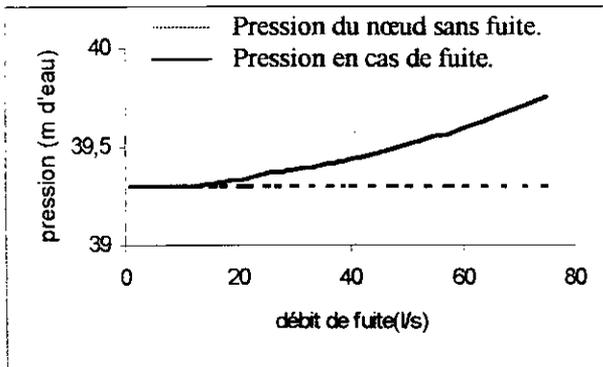
Pour ce cas, nous avons nous avons choisi un tronçon au milieu du réseau tronçon (15), pour voir l'influence de changement du débit de fuites sur la valeur de la pression aux différents nœuds du réseaux



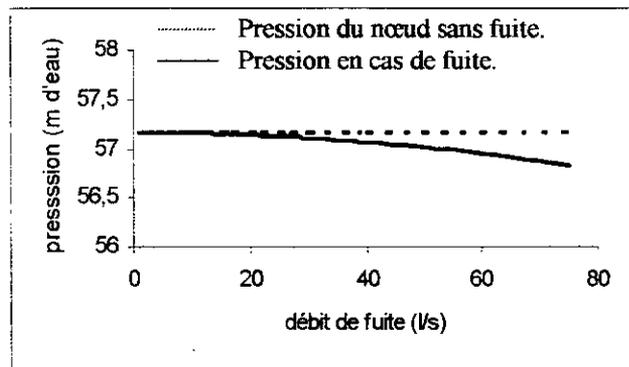
Graphe(V-8)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (23)



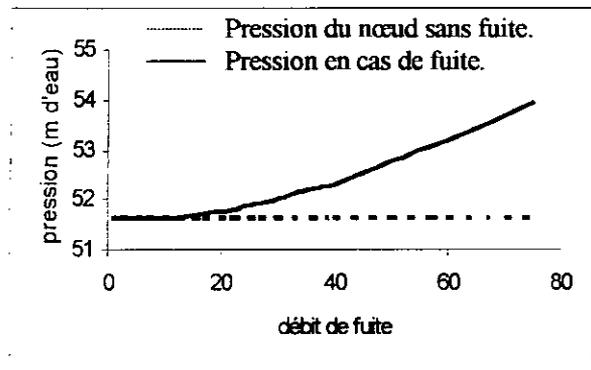
Graphe(V-9)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (25)



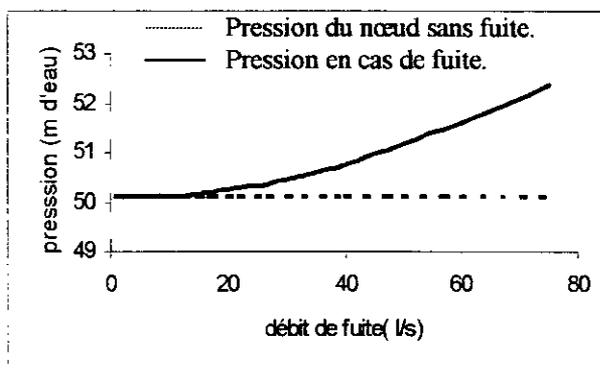
Graphe(V-10)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (10)



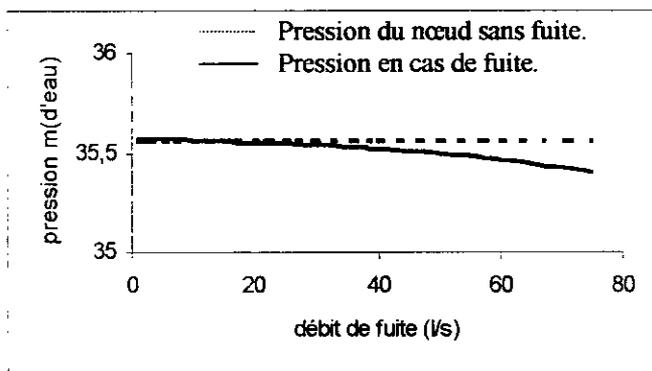
Graphe(V-11)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (34)



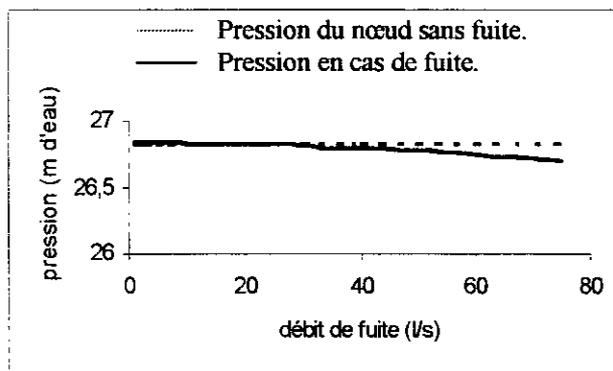
Graphe(V-12)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (28)



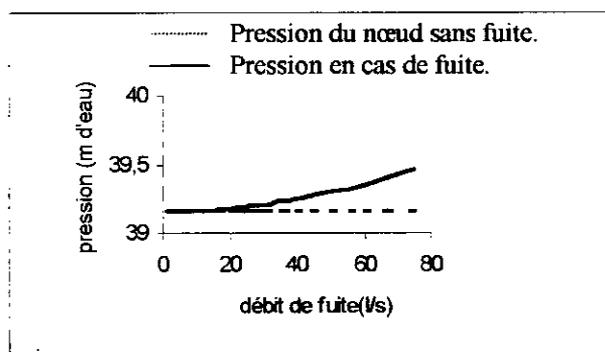
Graphe(V-13)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (21)



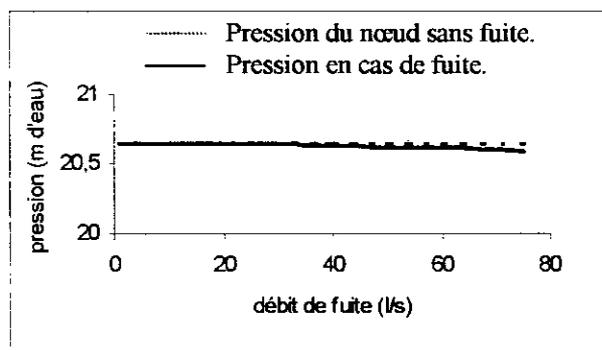
Graphe(V-14)  
l'Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (17)



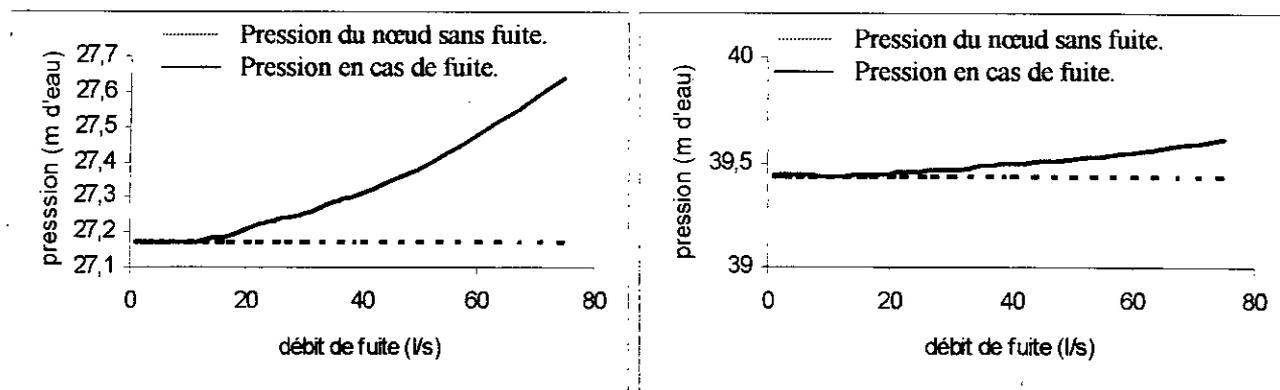
Graphe(V-15)  
l'Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (15)



Graphe(V-16)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (2)



Graphe(V-17)  
Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (16)



Graphe(V-18)

Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (11)

Graphe(V-19)

Effet de variation de débit de fuite dans le tronçon (15) sur la pression du nœud (18)

On remarque sur les graphes (9,12,18,19) qui représentent les nœuds d'extrémité, que la variation de pression n'est pas importante. Pour le graphe (9), nous pouvons constater que cette variation commence dès 10 l/s de fuite, et cette variation est décroissante avec l'augmentation du débit de fuite.

Les nœuds représentés dans les graphes (8, 11, 13, 15, 17, 16) sont positionnés au milieu ou à l'extrémité du réservoir.

Dans ces graphes nous pouvons observer, que la pression décroît avec l'augmentation de débit de fuite, mais cette décroissance n'est pas la même pour tous les nœuds.

En comparant le graphe (17) et (8), nous pouvons constater que la décroissance au nœud (16) n'est pas importante que celle du nœud (23) (le nœud (16) est proche du réservoir).

Les deux graphes (15) et (17), montrent que la pression subit une légère perturbation pour des débits de fuites inférieurs à (10 l/s), et entre (20 l/s) et (30 l/s) la pression reste constante, et pour plus de 30 l/s, la décroissance de pression est remarquable.

Les nœuds (11) et (16), représentés par les graphes (20) et (17) sont très proches du réservoir d'alimentation, mais le nœud (16) est plus proche de la fuite simulée que le nœud (11).

Au nœud (16), il y a une décroissance de pression par contre au nœud (11) la pression croît avec le débit de fuite.

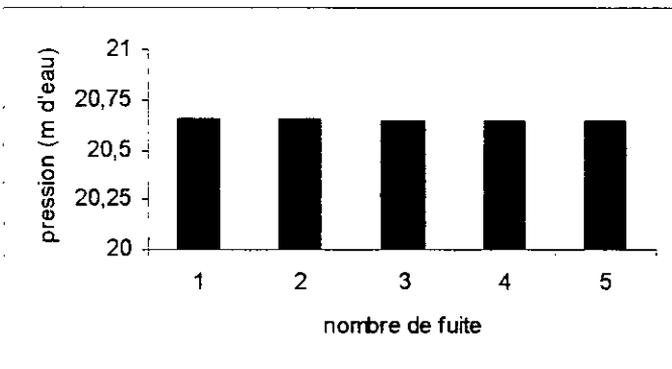
Pour compenser la fuite au tronçon (15), le débit circulant dans le tronçon (16) augmente en fonction du débit de fuite, donc la perte de charge augmente, d'où diminution de la pression, par contre le débit circulant au tronçon (12) diminue, et la perte de charge augmente, ce qui provoque une diminution de la pression au nœud (11).

Si la fuite se situe dans un tronçon, son débit n'influe pas de la même façon sur les pressions du réseau.

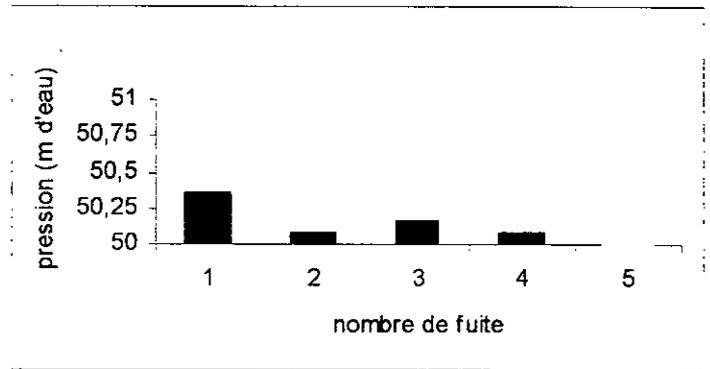
Cette influence dépend de :

- 1) position du nœud par rapport :
  - a- A la fuite;
  - b- Au réservoir;
  - c- Au réseau (milieu, extrémité).
- 2) débit de fuite.

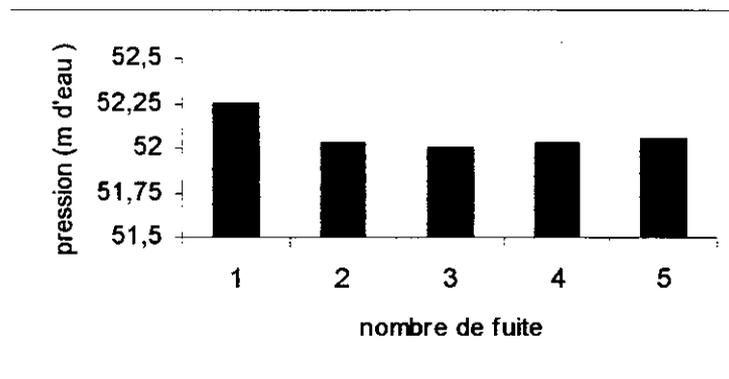
**V-5-4-2-3 Variation de pression en fonction de nombre de fuite dans le réseau :**



Histogramme(V-8)  
variation de pression du (n-16) en fonction de nombre de fuite



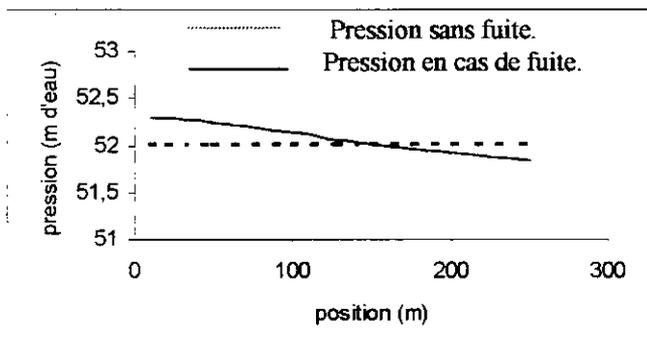
Histogramme(V-9)  
variation de pression du (n-21) en fonction de nombre de fuite



Histogramme(V-9)  
variation de pression du (n-21) en fonction de nombre de fuite

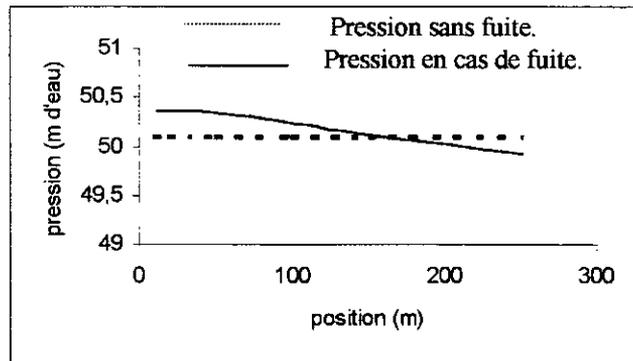
Sur ces histogrammes, on peut constater que le nombre de fuites dans le réseau, peut influencer de manière différente sur les pressions des nœuds, l'influence peut être considérable (nœud 19), et comme elle peut être moins importante (nœud-21), ou négligeable (nœud-16).

#### V-5-4-2-4 Effet de la position sur les pressions :



Graphe(V-20)

Effet de variation de position de fuite dans le tronçon (1) sur la pression du nœud (19)



Graphe(V-21)

Effet de variation de position de fuite dans le tronçon (1) sur la pression du nœud (21)

Dans les graphes précédents, nous constatons que la pression aux nœuds (n19), et (n21) est influencé lorsque la position de la fuite dans le tronçon (1) varie; ce qui nous permet de conclure que la position de la fuite influe sur les pressions des nœuds, et cela selon le nouveau équilibre du réseau

D'après les résultats obtenus de partie simulation, et comme l'influence de différents débits et positions de fuites sur les pressions aux nœuds du réseau, on peut constater que :

- La fuite est détectable avec la connaissance des pressions en tous les nœuds du réseau.
- La fuite de 5l/s pour notre réseau est indétectable.

## Conclusion générale

Notre étude a été axée principalement sur le dimensionnement, et la détermination de l'effet des fuites sur les pressions aux nœuds, et la possibilité d'établir un modèle de détection de celle-ci.

Le dimensionnement et le calcul des réseaux de distribution d'eau potable ont toujours été un sujet d'étude et de recherche, plusieurs méthodes ont été utilisées dans ce contexte pour résoudre un tel problème.

Le problème du dimensionnement des réseaux maillés de distribution est résolu dans notre étude par la technique de linéarisation de l'équation de pertes de charge, qui permet d'éliminer l'inconvénient du choix d'une répartition initiale des débits pour la méthode de HARDY-CROSS, ou les charges pour la méthode de NEWTON-RAPHSON, cette technique exige une répartition initiale des diamètres afin de permettre l'équilibrage et le dimensionnement du réseau. Lors de la mise en œuvre de cette technique, nous avons constaté, qu'il existe un autre préalable pour éviter de stocker la matrice de résolution de dimension  $(n, n)$  où la majorité des éléments de cette matrice sont nuls, pour cela nous avons introduit certaines améliorations qui nous ont permis d'aboutir à un gain de temps de calcul considérable, ainsi qu'une diminution importante d'espace mémoire.

Pour la nouvelle méthode de résolution du système, on est arrivé à un gain important de l'espace mémoire en passant de  $(n \times n)$  élément stocker à  $(n \times lb)$ . En effet, on est parvenu à cette amélioration en calculant la largeur de la bande (qui dépend de l'ordre de la numérotation, permettant la réduction au minimum de la largeur) à partir du fichier de données pour éviter de dimensionner une matrice  $(n \times n)$ .

L'objectif de la dernière partie est de déterminer les pressions à la consommation minimale, qui sont la base de comparaison des résultats de simulation.

En ce qui concerne les résultats de simulations, il est à retenir que la position et le débit de fuite, n'influe pas sur tous les nœuds du réseau de la même manière. D'où la recherche d'une meilleure connaissance du fonctionnement d'un réseau d'alimentation d'eau potable nécessite d'une part un modèle de simulation, et d'autre part des mesures réelles du terrain de la variation de la demande.

Une disponibilité des mesures in-situ, aura permit de facilité la démarche a suivre, et de rendre plus simple la détection des fuites au niveau des réseaux maillés de distribution d'eau potable d'où une meilleure gestion de ces derniers qu'aura pour conséquence une meilleure satisfaction de la demande, d'une durée de vie plus longue du réseau, d'où des économies substantielles en tout point de vue.

## Bibliographie

- [1] **R.AMORETTI (1996)**, Modélisation et commande de réseau d'eau potable, TSM 3, PP 459-468.
- [2] **D.BALLAY (1986)**, Quelques données sur la distribution d'eau potable en France, constitution et première utilisation d'un échantillon représentatif de collectivités distributrices d'eau potable, TSM 4, PP 181-186.
- [3] **P.BOURGINE (1988)**, Renforcement optimum des réseaux d'adduction d'eau potable en zone rurale méthodes d'avant-projet, la houille blanche 1, PP 26-43.
- [4] **P.BOUDOURESQUE (1985)**, Dégradation et corrosion des réseaux de distribution d'eau symptômes et diagnostic, TSM 10, PP 427-437.
- [5] **N.DECHEMI (1984)**, Dimensionnement d'un système d'alimentation en eau - recherche de méthodes de programmation de calcul sur Micro-ordinateur, PFE, INA.
- [6] **M.DURAND (1985)**, De téléalarme à la télégestion des installations d'eau et d'assainissement, TSM 5, PP 217-222 .
- [7] **G GAURIAN (1996)**, La maîtrise des réseaux de distribution d'eau potable, TSM 2 ,PP.121-126]
- [8] **T GHARBI (1992)**, Contribution à l'optimisation des réseaux maillés de distribution d'eau, PFE (ENP).
- [9] **M.GUINAUDEAU (1989)**, Gestion en temps réel d'un réseau d'eau potable, TSM 9, PP 459-468.
- [10] **O.HALPERN (1985)**, Renouvellement et réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau potable, TSM 10, PP 445-453.
- [11] **K. HENNA (1995)**, Etude du dimensionnement des grands réseaux mailles de distribution d'eau potable sous pression par la méthode des nœuds linéarisée, PFE (ENP)
- [12] **J.LABRE (1998)**, Faut-il craindre une pénurie des ressources en eau au XXI<sup>eme</sup> siècle ?, la houille blanche 2 , PP 25-28.
- [13] **T. MERABTENE (1990)**, Contribution à l'étude du dimensionnement des réseaux mailles de distribution d'eau potable, magistère (ENP).

[14] **M. MESNY (1997)**, Crise et gestion de crise application a l'eau, la houille blanche 8, PP.11-16.

[15] **M. MESNY (1997)**, Sécurité de l'alimentation en eau potable, TSM 3, PP 56-60.

[16] **J. MIAZGA (1987)**, Matériaux en contactent avec l'eau potable critères de choix, incidence sur la saveur, réglementation, TSM 10, PP 437-443.

[17] **M.OUKACHA (1999)**, Simulation numérique bidimensionnelle des mécanismes d'échange thermique dans les milieux capillaire- poreux, magistère, (ENP).

[18] **SAIDI (1991)**, Etude et dimensionnement des réseaux d'eau par la méthode de NEWTENRAPHSON modifier, PFE, (ENP).

[19] **B.SALAH (1992)**, Gestion des rectaux d'alimentation en eau potable, ENSH. octobre 92

[20] **P.SCHULHOF (1993)**, Le renouvellement pourquoi ? ,Et quand ? , TSM 11, PP 26-29.

[21] **F.TRIOL (1985)**, La gestion technique des réseau d'eau potable, TSM 10, PP 438-444.