9/95

الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Hydraulique

PROJET DE FIN D'ETUDES

THEME

ETUDE DU DIMENSIONNEMENT DES GRANDS RESEAUX MAILLES DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE SOUS PRESSION PAR LA METHODE DES NOEUDS LINEARISEE

Etabli par :

HENNA Kamel

GUEHEF Abdelhamid

Dirigé par :

Mr T. MERABTENE

Mr M. CHERARED

Promotion : Juin 1995

الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Hydraulique

PROJET DE FIN D'ETUDES

THEME

ETUDE DU DIMENSIONNEMENT DES GRANDS RESEAUX MAILLES DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE SOUS PRESSION PAR LA METHODE DES NOEUDS LINEARISEE

Etabli par :

HENNA Kamel

GUEHEF Abdelhamid

Dirigé par :

Mr T. MERABTENE

Mr M. CHERARED

Promotion : Juin 1995

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mon grand père
BAYA EL HADJ (BOUBAKER)

A mes parents
A mes frères et soeurs en particulier Boubaker
A tous ceux qui me sont chers .

Abdelhamid

DEDICACE

A mes chers parents.
A mes frères et ma petite soeur.
A tous le membre de ma grande famille.

A tous ceux qui me sont chers.

Je dédie cet effort.

KAMEL

REMERCIEMENT

Ce travail a été effectué sous la direction de Mrs T.MERABTENE et M.CHERARED à qui nous exprimons nos pronfonds remerciements pour l'aide inestimable qu'ils nous ont prodiguée tout au long de cette étude .

Nous remercions vivement Mr R.MHELOU pour son aide déterminante.

Nous exprimons ici toutes notre reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à notre formation .

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont encouragés à réaliser ce travail .

SOMMAIRE

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'accroissance de population , l'urbanisation rapide et l'inexistence d'un système adéquate d'alimentation en eau potable sont des problèmes majores pour le dimensionnement d'un tel réseau maillé de distribution d'eau potable . Pour ces raisons , plusieurs méthodes ont été élaborées pour répondre à cette question du dimensionnement .

Un dimensionnement bien fait c'est qui a été réalisé après une bonne étude d'équilibrage suivie d'une étude d'optimisation permettant à bien économiser un tel projet , d'où le facteur coût aune grande importance pour le dimensionnement d'un réseau maillé alimenté par un ou plusieurs réservoirs .

L'objet de cette thèse est d'élaborer un modèle de calcul d'équilibrage des réseaux maillés de distribution d'eau potable permettant d'apporter une solution pratique dans le domaine d' A . E . P .

Le modèle détermine sous certaines contraintes les charges aux noeuds puis les débits véhiculés dans les tronçons formants le réseau et en fin les diamètres de ceux-ci .

Pour cela on a adopté les démarches suivantes .

Une généralité sur les réseaux et leurs membres comme un premier chapitre , suivi d'un chapitre comprend une étude bibliographique présente quelques anciennes méthodes de calcul de dimensionnement : leurs avantages et leurs inconvénients .

Un troisième chapitre qui est l'objet de cette thèse concerne la technique des noeuds linearisées, et le quatrième comprend quelques exemples(deux réseaux maillés et un ramifier).

En fin un cinquième chapitre présente une conclusion générale .

Chapitre 1 :

GENERALITES

GENERALITES

I-1 INTRODUCTION

On peut définir un réseau comme étant un système matériel permettant le transfert de l'eau depuis certains points dites sources (Barrages, Lacs, Puits, Forages) jusqu'aux points d'utilisation (Robinets, prises).

Certains ouvrages peuvent être installés au sein du réseau afin d'assurer :
le stockage (Réservoir), la protection des conduites (Cheminés d'équilibre, Organes antibilier) et de fournir une énergie au fluide afin d'assurer sa mise en mouvement (Pompes, Surpression) .

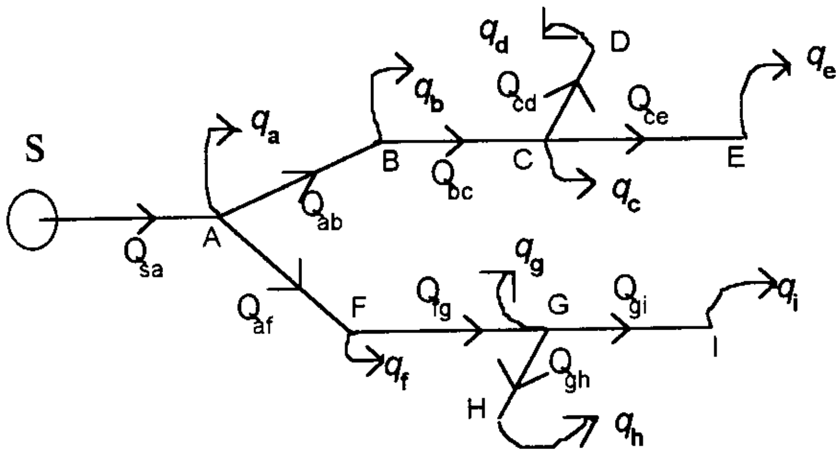
I-2 STRUCTURES DES RESEAUX

En pratique on distingue deux types de réseaux :

I-2-1 RESEAUX RAMIFIES

Le réseau ramifier ou en série ou palmé est constitué de telle manière qu'il soit impossible de décrire une boucle fermée en suivant le tracé des canalisation. Chaque noeud de consommation est relié à son point d'alimentation par un chemin unique .Le sens d 'écoulement du fluide est de l'amant (source) vers l'aval (consommation).

La figure ci-dessous montre un exemple d'un réseau ramifier :



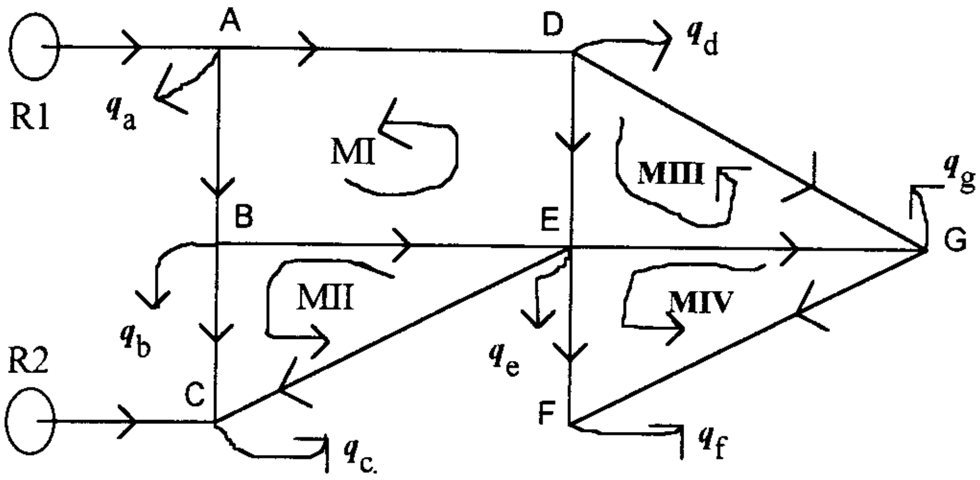
S : Point d'alimentation (source) .
A,B,..... : Points de consommation .
sa,ab,.... : Branches orientées .
qa,qb,...... : Débits soutirés aux noeuds .
Qaf,Qfg.. : Débits véhiculés par les différents tronçons (AB,BH,......).

I-2-2 RESEAUX MAILLES

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.

Le réseau maillé présente une indétermination sur les grandeurs et les signes (les sens d'écoulement dans les tronçons) des débits et des pertes de charge.

Le schéma suivant montre un réseau maillé alimenté par deux sources (Réservoirs)



R1,R2 : Sources d'alimentation (Réservoirs) .
A,B,..... : Noeuds de consommation .
AB,AD,.. : Branches orientées (l'orientation montre le sens d'écoulement).
qa,qb,... : Debits soutirés (de consommation) .
MI,MII,.. : Mailles orientées (l'orientation definit le sens positif choisi arbitrairement) .

I-2-3 LES NOEUDS

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

a°) Les noeuds à charges fixes :

C'est le cas d'un réservoir , plan d'eau et bâche d'aspiration . Ils sont caractérisés par leurs côtes piézometriques connues d'où les résultats de calcul fourniront les débits partants de ces noeuds .

b°) Les noeuds à débits fixes :

Dans ce cas le débits de consommation sont connus et le calcul donnera les côtes piézometriques à ces noeuds .

En général et en pratique les noeuds à débits fixes sont nombreux par rapport aux noeuds à charges fixes .

I-3 CRITERES DE BASE

Le calcul d'équilibrage d'un telle réseau de distribution d'eau oblige de tenir en compte un certain nombre d'hypothèses . Ces hypothèses sont une série de contraintes sur les pressions aux noeuds et les sur vitesses d'écoulement dans les conduites . Ces contraintes imposés permettants le bon fonctionnement du réseau dont le rôle d'adduction et de distribution de l'eau doit être rempli dans les meilleures conditions .

I-3-1 CARACTERISTIQUES DU RESEAU :

Un réseau est défienit globalement par :

- Son tracé .
- La longueur, le diamètre et le matériau de construction de chaque canalisation .
- Le débit de pointe consommé en chaque noeud et l'altitude de celui-ci .
- Les caractéristiques des organes hydrauliques tel que les stations de pompage, les vannes,...etc. .

a°) Le tracé du réseau :

Le tracé du réseau se diffère entre les deux types de réseau . En pratique le tracé est définit par le chemin que va suivre les canalisation. La longueur totale de ces canalisations influe de façon prépondérante sur le coût du réseau , pour cela l'étude du dimensionnement nécessite la recherche d'un tracé dit optimal .

Dans le cas d'un réseau ramifier (Irrigation) , l'étude économique de celui-ci est assez simple car on a la possibilité de passer à travers les champs , ce passage permet de minimiser la longueur totale des canalisations . Pour cela il existe plusieurs techniques , citant la méthode de GIRETT donnant l'angle de trois tronçons permettant de joindre trois points fixés (120°) (Clément . 1981).

Pour les réseaux maillés les contraintes sont nombreuses dues à la topographie des rues et aux impératifs de l'urbanisation qui vont conduire à dire que le tracé global du réseau s'impose très souvent de lui même .

b°) les conduites :

Les conduites sont caractérisées par le diamètre , la longueur et la nature du matériau de construction .

Le choix du matériau sera en fonction de débit du pointe à desservir. Ce choix est limité dans une gamme de diamètres commerciaux disponibles .

La nature du matériau de est en fonction de la pression maximale auxquelles la canalisation doit résister et de la géologie du sol .

c°) Débit de pointe :

La détermination de débit de pointe en chaque point de consommation reste une condition principale pour le dimensionnement d'un tel réseau de distribution d'eau . Le calcul se fait en générale par une méthode classique en fonction du nombre d'habitants .

I-3-2 CONTRAINTES IMPOSEES

a°) Contrainte sur la vitesse :

Les valeurs de la vitesse sont limitées dans une gamme dite gamme du vitesse . Ces valeurs doivent être supérieures à une valeur minimale Vmin afin de réduire les risques de dépôts , et inférieures à une valeur maximale Vmax pour lutter contre la détérioration par cavitation et le coup de bélier .

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

Ce qui permet d'écrire :

$$V_{min} \leq \frac{4|Q|}{\pi} D^{-2} \leq V_{max}$$

V : Vitesse moyenne (m / s).
V_{max} : Vitesse maximale (m / s).
V_{min} : Vitesse minimale (m / s).
D : Diamètre (m).
Q : Débit (m^3 / s).

b°) Contrainte sur les pressions :

Les valeurs de la pression aux noeuds sont limitées dans une gamme dite gamme du pression . Ces valeurs doivent être supérieures à une valeur minimale Pmin afin d'éviter la détérioration de la conduite par dépression et d'assurer l'alimentation de les points las plus défavorables , et inférieures à une valeur maximale Pmax pour assurer la lutte contre le risque d'éclatement de la conduite par surpression .

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

P_{min} : Pression minimale .
P_{max} : Pression maximale .

I-3-3 EQUATIONS DE BASE :

a°) Equation de continuité de la masse :

C'est un principe de physique qui permet d'établir une relation entre certaines caractéristiques du fluide et ses mouvements , indépendamment des causes qui les provoquent .

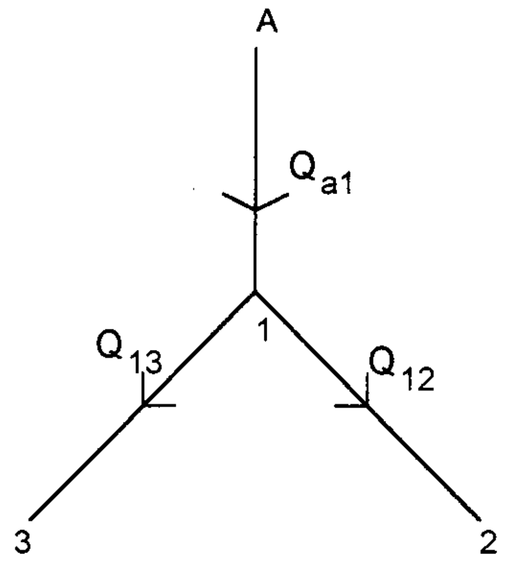
Il se traduit par l'équation de continuité :

Pour un réseau maillé de distribution d'eau potable , l'équation de continuité impose que la somme algébrique des débits entrants et sortants d'un noeud soit nulle :

$$\sum Q_{ij} + q_i = 0$$

C'est une équation par noeud avec :

- J : L'ensemble des noeuds connectés à noeud I .
- q_i : Débit de consommation à noeud I .
- Q_{ij} : Dédit véhiculé dans la branche I J .



Les débits qi et Qi j sont positifs quand ils sortent du noeud , et négatif s'ils entrent .

b°) Equation de perte de charge :

Hors d'un régime laminaire d'écoulement on constate à une perte de charge pour chaque conduite du réseau , donné par une équation non linéaire liant celle-ci et le débit véhiculé par cette conduite :

$$J_{ij} = R_{ij} * Q_{ij}^{\alpha}$$

Dans cette équation :

$J_{ij} = H_i - H_j$: La diférence de charge entre les noeuds I et J

- Q_{ij} : Le débit dans la conduite I J .
- R_{ij} : La résistance hydraulique .

Le paramètre α est donné après :

* **Maning** $\alpha = 2$.
* **Galand** $\alpha = 1.85$.
* **Hazen-Williams** $\alpha = 1.852$.

Chapitre 2 :

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

II-1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on va parler de manière résumée sur quelques anciennes méthodes : leurs principes, les avantages et les inconvénients .

Ces méthodes sont : méthode d'Hardy-Cross , méthode de Newton , méthode de Newton modifiée , méthode de linéarisation de l'équation du perte de charge et en fin on parle sur la technique qui remplace les conduites en parallèle par une conduite équivalente dans un réseau de distribution d'eau .

II-2 METHODE D' HARDY - CROSS :

La méthode d'Hardy-Cross a deux formulation :

- La méthode de mailles .
- La méthode des noeuds .

II-2-1 LA METHODE DES MAILLES :

Le principe de cette méthode est de choisir une distribution des débits dans les différents traçons de telle manière satisfait la loi des noeuds:

$$\sum Q_{ij} + q_i = 0$$

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

$$J_{ij} = R_{ij} Q^{\alpha} \qquad 1.8 \leq \alpha \leq 2$$

Si la solution initiale est correcte on doit avoir pour chaque maille :

$$\sum_{j=1}^{n} J_{ij} = 0 \quad ... \quad (I)$$

Si l'équation (I) n'est pas vérifiée , on applique une correction (ΔQ) qui permet de se rapprocher de la bonne solution .

ΔQ est calculé à partir de l'équation suivante :

$$\Delta Q^{it} = -\frac{\sum J_{ij}^{it}}{\alpha \sum J_{ij}^{it} \left| Q_{ij} \right|}$$

Le processus itératif est arrêté si la condition suivante est vérifiée :

$$\left| \Delta Q^{it} - \Delta Q^{it-1} \right| < \varepsilon$$

it : Numéro d'itération .
ε : Critère de convergence .

I-2-2 LA METHODE DES NOEUDS :

Cette méthode est la symétrique de la précédente . on fixe les valeurs des charges Hi en chaque noeud (i) du réseau de façon à respecter la loi des mailles :

$$\sum J_{ij} = 0$$

A partir de là on calcule le débit dans chaque tronçon d'après l'équation :

$$J_{ij} = R_{ij} * Q_{ij}^{\alpha}$$

Ce qui donne

$$Q_{ij} = R_{ij}^{-1/\alpha} * J_{ij}^{1/\alpha}$$
$$= R_{ij}^{-1/\alpha} * (H_i - H_j)^{1/\alpha}$$

Si la solution initiale choisie est correcte on doit avoir en chaque noeud :

$$\sum Q_{ij} + q_i = 0$$

Si non on va appliquer une correction ΔHi tel que :

$$\Delta H_i^{it} = \frac{\alpha \sum (Q_{ij} + q_i)}{\sum (Q_{ij} / J_{ij})}$$

et donc :

$$H_i^{it+1} = H_i^{it} + \Delta H_i^{it}$$

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 des charges (méthode des noeuds) se fait arbitrairement ce qui influe sur la rapidité de convergence de la méthode .

Une modification se fait pour cette méthode , c'est que les débits initiaux sont calculés à partir du système d'équation de perte de charge linéarisée .

II-3 METHODE DE NEWTON

Pour cette méthode on utilise les deux équations suivantes :

1- L'équation de continuité en chaque noeud .

2- L'équation de Hazen-Wiliams pour l'évaluation de la perte de charge .

D'après l'équation **(1)** on a :

$$\sum_{j=1}^{n} Q_{ij} + q_i = 0$$

Tel que :

Q_{ij} : Débit circulant entre les noeuds I et J .

q_i : Débit soutiré du noeud I .

D'après l'équation **(2)** on a :

$$J = R * Q^{1.852}$$

$$\Rightarrow Q = (J / R)^{1/1.852} = (J / R)^{0.54}$$

$$\Rightarrow Q = (1 / R)^{0.54} * J^{0.54}$$

$$= (1 / R)^{0.54} * J^{-0.46} * J$$

Posant : $K = (1 / R)^{0.54}$

J : Perte de charge linéaire entre I et J .

$$J = (h_i - h_j) .$$

Donc :

$$Q_{ij} = K_{ij} \left|h_i - h_j\right|^{-0.46} * (h_i - h_j) \quad .....(3)$$

Remplaçant **(3)** dans **(1)** on a :

$$\sum K_{ij} \left|h_i - h_j\right|^{-0.46} * (h_i - h_j) + q_i = 0$$

Pour le calcul on écrit :

$$f = \sum K_{ij} \left|h_i - h_j\right|^{-0.46} * (h_i - h_j) + q_i$$

Tel que :

$$f : (f1, f2, \ldots\ldots\ldots\ldots, fn).$$

D'après la méthode de Newton :

$$h^{k+1} = h^k + \Delta h^k$$

Avec (de même) :

$$\Delta h = -f * Ja^{-1}$$

Ja : La matrice Jacobiènne .

<u>Caractéristiques de la matrice Jacobiènne :</u>

D'après la détermination de la matrice Jacobiènne on voit que :

1- La matrice est symétrique ($a_{ij} = a_{ji}$ où $i \neq j$).

2- Le rang de la matrice Jacobiènne égale à (n-1) , c'est le nombre des vecteurs indépendants .

II-4 METHODE DE NEWTON MODIFIEE

Deux inconvénients sont présentées à la méthode de Newton , la première est l'inversion de la matrice Jacobiènne à chaque itération , si la matrice est d'ordre N son inversion nécessite environ N^2 opérations d'addition et de multiplication , auxquelles il faut ajouter N^2 opération pour obtenir le vecteur des corrections ΔH, du point de vue stockage, la matrice inverse occupe N^2 positions mémoire. Le deuxième inconvénient est que cette méthode ne converge rapidement qu'à condition de donner ou choisir des valeurs initiales très proches de la solution, ce choix reste une condition évidement difficile à respecter.

La méthode de Newton modifiée basée sur deux améliorations qui tentent à améliorer la convergence de la méthode.

La première consiste à concentrer les éléments non nuls de la matrice Jacobiènne autour de la diagonale principale afin d'avoir une structure bande de la matrice. L'obtention de cette structure est facilement resolvable par une renumérotation adéquate des noeuds.

La deuxième consiste à utiliser comme première approximation les valeurs des charges obtenues par la méthode de linéarisation du système d'équations et en remplaçant la matrice Jacobiènne à l'itération I par celle obtenue à la première itération.

Si le système ne converge pas après un nombre fini d'itération nous introduisons dans la relation donnante la correction ΔH un facteur d'accélération αi de façon à avoir :

$$\Delta h_i = -\alpha_i * J^{-1} * f$$

D'où :

$$h_{i+1} = h_i + \alpha_i * \Delta h_i$$

Le facteur αi est destiné à contrôler la longueur de déplacement effectué à partir de la solution hi dans la direction ΔHi.

Les valeurs de facteur αi sont calculées à partir des erreurs maximales du vecteur solution obtenu au cours de l'itération i considérée et de la précédente i-1. Comme valeur initiale, où le risque de divergence est plus grand, on fixe αi de l'ordre de (0.2). A la fin du calcul αi peut prendre des valeurs proches de l'unité.

Cette deuxième amélioration permet la limitation de risque de divergence de la méthode.

II-5 LINEARISATION DE L'EQUATION DE PERTE DE CHARGE :

Cette technique basée sur la linéarisation de l'équation de perte de charge. La résolution du problème nécessite que les deux conditions suivantes soient satisfaites simultanément :

1- L'équation de continuité en chaque noeud :

$$\sum Q_{ij} \pm q_i = 0 \qquad i = 1,\ 2,\ \ldots\ldots,\ n$$

q_i : Le débit qui arrive (+) ou part (-) du noeud i .
Q_{ij} : Débit entre noeud i et noeud j .

2- L'équation de conservation d'énergie :

$$h_i - h_j = Q_{ij}.R_{ij}$$

R_{ij} : Résistance de la conduite ij.
h_i : Charge en noeud i.

II-5-1 DETERMINATION DES DEBITS INITIAUX

Les débits initiaux ne sont pas détermines de manière quelconque mais par la résolution du système suivant :

$$K_0\vec{Q} = \vec{D}$$

Où :

K_0 : Désigne la matrice des données tel que :

Les m rangés sont relatives aux équations de maille et rensignent les coefficients de résistance R_{ij} et (b-m) rangés sont relatives aux équations de continuité aux noeuds et rensignent les valeurs +1 ou -1 , suivant le sens des débits aux noeuds .

$\vec{Q}$: Vecteur dont les b composantes sont les débits dans les conduites .

$\vec{D}$: Représente un vecteur dont les b composantes valent zéro s'il s'agit d'une équation de maille ou égale à les valeurs de q_i qui arrivent ou partent du noeuds s'il s'agit d'une équation de continuité .

L'inversion de la matrice K_0^{-1} nous donne :

$$\vec{Q}_0 = K_0^{-1}\vec{D}$$

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

$$(R_{ij})_1 = (R_{ij})_0 * (Q_{ij})_0$$

Donc on obtient de nouvelles valeurs des débits :

$$\vec{Q}_1 = K_1^{-1}\vec{D}$$

Ces débits servent à recalculer de nouvelles valeurs des coefficients de résistance :

$$(R_{ij})_2 = (R_{ij})_0 * (Q_{ij})_1$$

D'où :

$$\vec{Q}_2 = K_2^{-1} * \vec{D}$$

Et généralement :

$$(R_{ij})_k = (R_{ij})_0 * (Q_{ij})_{k-1}$$

II-5-2 LA MATRICE BANDE :

Plusieurs techniques sont offertes et permettants de résoudre le cas particulière des matrices bandes , ces techniques facilitent la résolution et réduire le temps de calcul .

Pour obtenir une matrice bande , il faut satisfait les deux conditions suivantes :

1- tout tronçon du numéro X doit intervenir dans une maille du numéro inférieur à X , et un noeud du numéro supérieur à X .

2- Le noeud ou la maille du numéro Y doit contenir au moins un tronçon du numéro inférieur à Y .

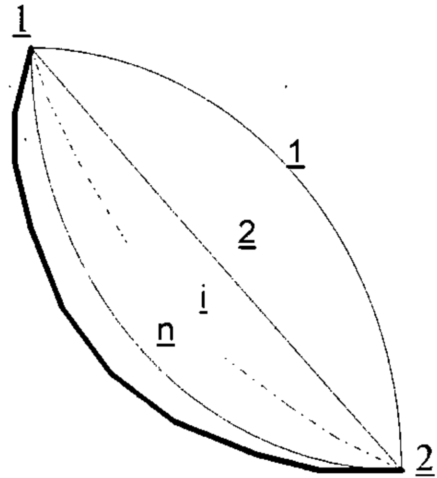
Pour cette technique la répartition initiale des débits ne sera pas arbitrairement mais calculés grâce à la linéarisation de la loi perte de charge-débit .

Les diamètres initiaux choisis seront recalculés pour satisfaire les conditions de vitesses à la fin du processus de calcul .

II-6 CONDUITES EN PARALLELES DANS UN SYSTEME DE DISTRIBUTION :

Un ensemble de conduites en parallèles entre deux noeuds dans un réseau d'alimentation en eau potable peut être remplacer dans le modèle mathématique par une conduite équivalente . Le débit circulé dans celle-ci est égale à la somme des débits dans chacun des conduites , de même ; la perte de charge concernant la conduite équivalente est égale à la somme des pertes de charge calculés pour chaque conduite .

La ci-dessous montre un système de conduites parallèles :



▬ conduite équivalente

- L'équation de continuité nous donne :

$$f_1 = Q_1 + Q_2 + \cdots\cdots\cdots + Q_n - q = 0 \quad \cdots\cdots\cdots \text{(I)}$$

- L'équation de perte de charge donne :

$$\left.\begin{array}{l} f_2 = R_1 * Q_1^\alpha + R_2 * Q_2^\alpha = 0 \\ f_3 = R_1 * Q_1^\alpha + R_3 * Q_3^\alpha = 0 \\ \bullet \\ \bullet \\ f_n = R_1 * Q_1^\alpha + R_n * Q_n^\alpha = 0 \end{array}\right. \quad \cdots\cdots\cdots\cdot \text{(II)}$$

A partir du système (II) on a :

$$Q_i = (R_1 / R_i)^{1/\alpha} Q_1$$

Remplaçons dans l'équation (I) on trouve :

$$Q_1 = \frac{Q}{1 + (R_1/R_2)^{1/\alpha} + (R_1/R_3)^{1/\alpha} + \cdots\cdots\cdots + (R_1/R_n)^{1/\alpha}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdot (1)$$

D'après l'équation du perte de charge entre la conduite 1 et la conduite équivalente on a :

$$R_1 * Q_1^{\alpha} = R_e * Q_e^{\alpha} \qquad \text{..........} \ (2)$$

Tel que :

R_e : Résistance de la conduite équivalente .

Q_e : Débit égale à Q dans la conduite équivalente .

D'après (1) et (2) on a :

$$R_e = \frac{R_1}{(1+(R_1/R_2)^{1/\alpha}+(R_1/R_3)^{1/\alpha}+\text{.........}+(R_1/R_n)^{1/\alpha})^{\alpha}} \qquad \text{.....} \ (1)$$

L'application de la méthode de Newton donne ;

D'après Newton :

$$Q^{(k+1)} = Q^k - Z^k$$

$$Z = \frac{F}{F'} = F * J^{-1}$$

Tel que J : La Jacobiènne :

$$
J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial f_1}{\partial Q_2} & & \frac{\partial f_1}{\partial Q_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial Q_1} & \frac{\partial f_2}{\partial Q_2} & & \frac{\partial f_2}{\partial Q_n} \\ & & & \\ \frac{\partial f_n}{\partial Q_1} & \frac{\partial f_n}{\partial Q_2} & & \frac{\partial f_n}{\partial Q_n} \end{bmatrix}
$$

PROCEDURES DE CALCUL :

Une valeur initiale de Q nous donne une valeur de Q_1 . et à l'aide du système (II) on trouve les valeurs de Q_i (i = 1,2,.......,n) .

On calcul la matrice Jacobiènne et son inverse et on détermine la nouvelle valeur de Q et ainsi de suite jusqu'à l'obtention des valeurs des Q_i (i = 1,2,.......,n) . qui vérifie l'erreur d'approximation .

Cette difficulté supplémentaire montre l'intérêt du choix de l'équation de Hazen-Wiliams dans le modèle d'équilibrage .

Chapitre 3 :

LA METHODE DES NOEUDS LINEARISEE

LA METHODE DES NOEUDS LINEARISEE

III-1 INTRODUCTION

L'étude de l'équilibrage des réseaux maillés de distribution d'eau potable alimentés par un ou plusieurs réservoirs , par la méthode des noeuds linéarisée nécessite d'appliquer les deux équations de base présentées au chapitre (I) et de tenir compte que :

- Les noeuds réservoirs sont des noeuds à charges fixes d'où on considère les débits entrants comme des inconnus du système d'équations .
- La méthode utilise un calcul itératif donnant les valeurs des charges aux noeuds non réservoirs et les débits entrants pour les noeuds réservoirs .

Pour ceci on va suivre la démarche ci-après :

Une partie étudie le principe de la méthode et la formulation mathématique du problème puis on résolve deux exemples simples pour voir la forme particulière de la matrice du système pour l'itération numéro 0. La deuxième partie et c'est l'importance qui présente les sous-programme de calcul, leurs organigrammes et en fin une conclusion.

Par contre les noeuds non réservoirs et des noeuds à débits fixés d'où on considère les charges des noeuds comme des inconnus.

III-2 PRINCIPE DE LA METHODE

La méthode des noeuds linéarisée basé sur la technique de linéarisation de l'équation de perte de charge donnée en fonction de la résistance hydraulique des conditions et la différence entre les charges.

La résistance hydraulique est donnée pour cette thèse d'après Hazen-Williams :

$$R_{ij} = (10.67 / \; C_{ij}^{1.852} D_{ij}^{4.87}) * L_{ij}$$

où :

R_{ij} : Résistance hydraulique de la conduite i j .

L_{ij} : Longueur de la conduire même.

D_{ij} : Diamètre de la conduite i j .
C_{ij} : Coefficient de Hazen-Williams.

III-3 FORMULATION MATHEMATIQUE

III-3-1 DESCRIPTION

Pour une conduite de résistance hydraulique R_{ij} transportant un débit Q_{ij} l'équation de perte de charge est donnée par :

$$J_{ij} = R_{ij} * Q_{ij}^{\alpha} \qquad .....(*)$$

La méthode des neouds nécessite de remplacer la perte de charge J_{ij} par la différence entre la charge en noeud i et j ; l'équation (*) sera :

$$(H_i - H_j) = R_{ij}Q_{ij}^{\alpha} \qquad .....(*.*)$$

Où :

$$Q_{ij} = (1 / R_{ij})^{1/\alpha}(H_i - H_j)^{1/\alpha}$$

On peut la remettre sous la forme :

$$Q_{ij} = (1 / R_{ij})^{1/\alpha}(H_i - H_j)\left|H_i - H_j\right|^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \qquad .....(*.*.*)$$

<u>1- Itération numéro zéro</u> it = 0 :

La linéarisation concerne la première itération du calcul d'où on écrit d'après (*,*,*) :

$$Q_{ij} = (1 / R_{ij})^{1/\alpha}(H_i - H_j)$$

Remplaçant la valeur du Q_{ij} donnée ci-dessus à l'équation du continuité présentée au chapitre (I) on a :

$$\sum(1 / R_{ij})^{1/\alpha}(H_i - H_j) \mp q_i = 0$$

C'est un système d'équations linéaires de forme : AX=B

Où : A est une matrice carrée .

La résolution de ce système nous donne une valeur initiale des charges aux noeuds et les débits entrants aux noeuds réservoirs .

2-Itération numéro it≠0

Pour l'itération it > 0 on va introduire le terme $(H_i - H_j)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}}$ telque le système sera :

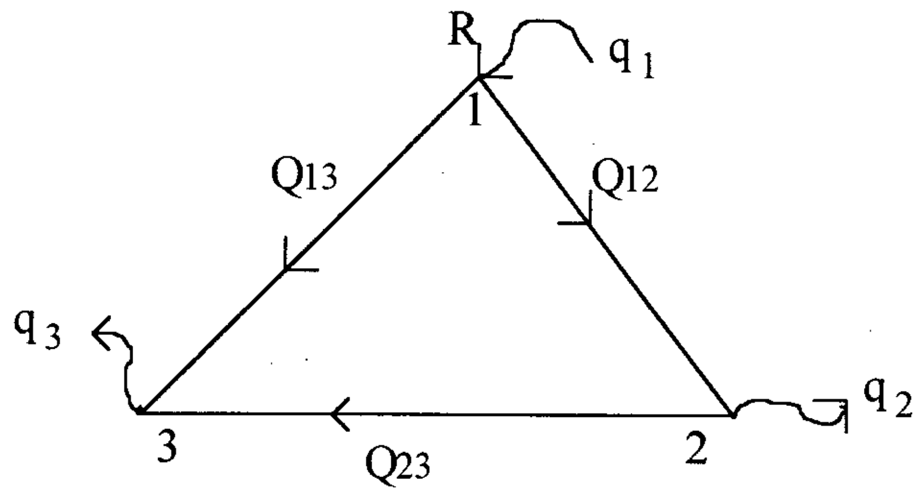
$$\Sigma(1/R_{ij})*(H_i - H_j)_{it} *(H_i - H_j)_{it-1}^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \mp q_i = 0$$

III-3-2 APPLICATION

On va appliquer l'algorithme de la formule linéarisée aux exemples suivants

a°) Exemple I :

Considérons le réseau de trois conduites :



Appliquons la méthode on a pour it = 0

$$1°)\ (1/R_{12})^{0.54}(H_1 - H_2) + (1/R_{13})^{0.54}(H_1 - H_2) - q_1 = 0$$

$$2°)\ (1/R_{21})^{0.54}(H_2 - H_1) + (1/R_{23})^{0.54}(H_2 - H_3) - q_2 = 0$$

$$3°)\ (1/R_{31})^{0.54}(H_3 - H_1) + (1/R_{32})^{0.54}(H_3 - H_2) - q_3 = 0$$

Car le tronçon (ij)est le même que (ji) on a :

$$(1/ R_{ij}) = (1/R_{ij})$$

Posons que $(1/R_{ij})^{0.54} = K_{ij}$
D'où le système sera :

$$\begin{aligned}
K_{12}(H_1 - H_2) + K_{13}(H_1 - H_3) - q_1 = 0 \\
K_{21}(H_2 - H_1) + K_{23}(H_2 - H_3) - q_2 = 0 \\
K_{31}(H_3 - H_1) + K_{32}(H_3 - H_2) - q_3 = 0
\end{aligned}$$

Puisque l'inconnu au noeud réservoir est le débit entrant , par contre au noeud non réservoir l'inconnu est la charge , le vecteur des inconnus va se composer alors du débits entrant au noeud réservoir 1 et les charges aux autres noeuds .

Développons le système :

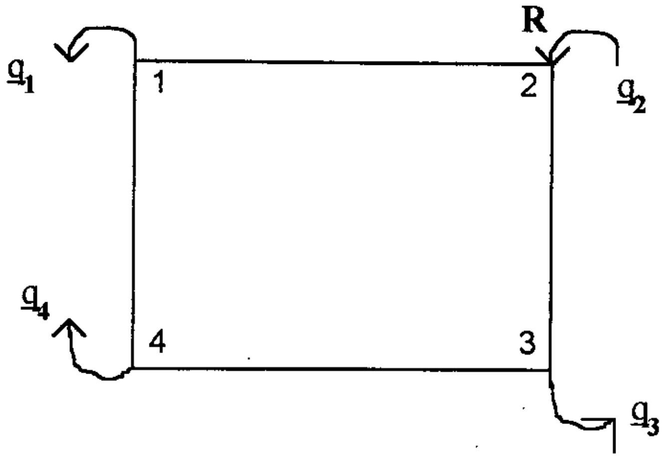
$$\begin{aligned}
- q_1 - K_{12}H_2 - K_{13}H_3 = -(K_{12} + K_{13})H_1 \\
(K_{21} + K_{23})H_2 - K_{23}H_3 = K_{21}H_1 - q_2 \\
-K_{32}H_2 + (K_{31} + K_{32})H_3 = K_{31}H_1 - q_3
\end{aligned}$$

Finalement on a le système suivant :

$$\begin{Bmatrix} 1 & +K_{12} & +K_{13} \\ 0 & -(K_{21} + K_{23}) & +K_{23} \\ 0 & +K_{32} & -(K_{31} + K_{32}) \end{Bmatrix} * \begin{Bmatrix} q_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (K_{12} + K_{13})H_1 \\ q_2 - K_{21}H_1 \\ q_3 - K_{31}H_1 \end{Bmatrix}$$

a°) Exemple II :

Considérons un réseau de quatre noeuds schématisé ci-dessous , ou le noeud 2 est un noeud réservoir :



noeud (1)

$$(1/R_{12})^{0.54}(H_1 - H_2) + (1/R_{14})^{0.54}(H_1 - H_4) + q_1 = 0$$

noeud (2)

$$(1/R_{21})^{0.54}(H_2 - H_1) + (1/R_{23})^{0.54}(H_2 - H_3) + q_2 = 0$$

noeud (3)

$$(1/R_{32})^{0.54}(H_3 - H_2) + (1/R_{34})^{0.54}(H_3 - H_4) + q_3 = 0$$

noeud (4)

$$(1/R_{41})^{0.54}(H_4 - H_1) + (1/R_{43})^{0.54}(H_4 - H_3) + q_4 = 0$$

d'où :

$$K_{12}H_1 - K_{12}H_2 + K_{14}H_1 - K_{14}H_4 + q_1 = 0$$
$$K_{21}H_2 - K_{21}H_1 + K_{23}H_2 - K_{23}H_3 + q_2 = 0$$
$$K_{32}H_3 - K_{32}H_2 + K_{34}H_3 - K_{34}H_4 + q_3 = 0$$
$$K_{41}H_4 - K_{41}H_1 + K_{43}H_4 - K_{43}H_3 + q_4 = 0$$

A la prochaine étape on prend les paramètres connus à l'autre côté :

$$(K_{12}+K_{14})H_1 - K_{14}H_1 = K_{12}H_2 - q_1$$
$$-q_2 - K_{21}H_1 - K_{23}H_3 = -(K_{21}+K_{23})H_2$$
$$(K_{32}+K_{34})H_3 - K_{34}H_4 = K_{32}H_2 - q_3$$
$$-K_{41}H_1 - K_{43}H_3 + (K_{41}+K_{43})H_4 = -q_4$$

Le système soit alors sous la forme :

$$\begin{Bmatrix} -(k_{12}+K_{14}) & 0 & 0 & +K_{41} \\ +K_{21} & 1 & +K_{23} & 0 \\ 0 & 0 & -(k_{32}+K_{34}) & +K_{34} \\ +K_{41} & 0 & +K_{43} & -(k_{41}+K_{43}) \end{Bmatrix} * \begin{Bmatrix} H_1 \\ q_2 \\ H_3 \\ H_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} q_1 - K_{12}H_2 \\ (K_{23}+K_{21})H_2 \\ q_3 - K_{32}H_2 \\ q_4 \end{Bmatrix}$$

D'après ces démarches on remarque la particularité de la forme de la matrice du système .

III-4 LE LOGICIEL DE LA METHODE :

III-4-1 LE PROGRAMME PRINCIPAL :

III-4-1-1 DESCRIPTION :

Ce programme est constitué d'un ensemble des procédures . Chaque procédure sert à faire une tâche spécifiée .

Le programme principale commence par la procédure "Présentation" qui sert à donner une présentation du programme . Cette procédure est suivie de celle nommé "Menu" qui sert à présenter le menu principal . Il donne le choix entre trois possibilités .

Soit l'exécution du programme .
Soit la consultation de l'aide .
Soit le sortir du programme .

Si on choisi la première possibilité on passe à la partie de calcul .

Cette partie commence par la procédure "Lecture" qui sert à lire l'ensemble des données à partir les fichiers de s données . Elle se suit par la procédure "Renum" qui sert à renuméroter les noeuds de réseau de telle façon à avoir la plus petite largueur du bande de la matrice du système .

Si une renumérotation est faite on passe par la procédure "Reorg" qui sert à convertir les données avec la nouvelle renumérotation .

On passe en suite par la procédure "Affichdon" qui sert à afficher les données avec la nouvelle renumérotation, si elle a été faite.

Après cette procédure, on passe par introduire la valeur d'epsilon et celle de la vitesse normalisée, et vouloir ou non de consulter la matrice du système à chaque itération.

A la suite, il y a le calcul itératif où à chaque itération, on passe par trois procédures, la première "Matrice" sert à construire la matrice, la deuxième "Matin" sert à résoudre le système :

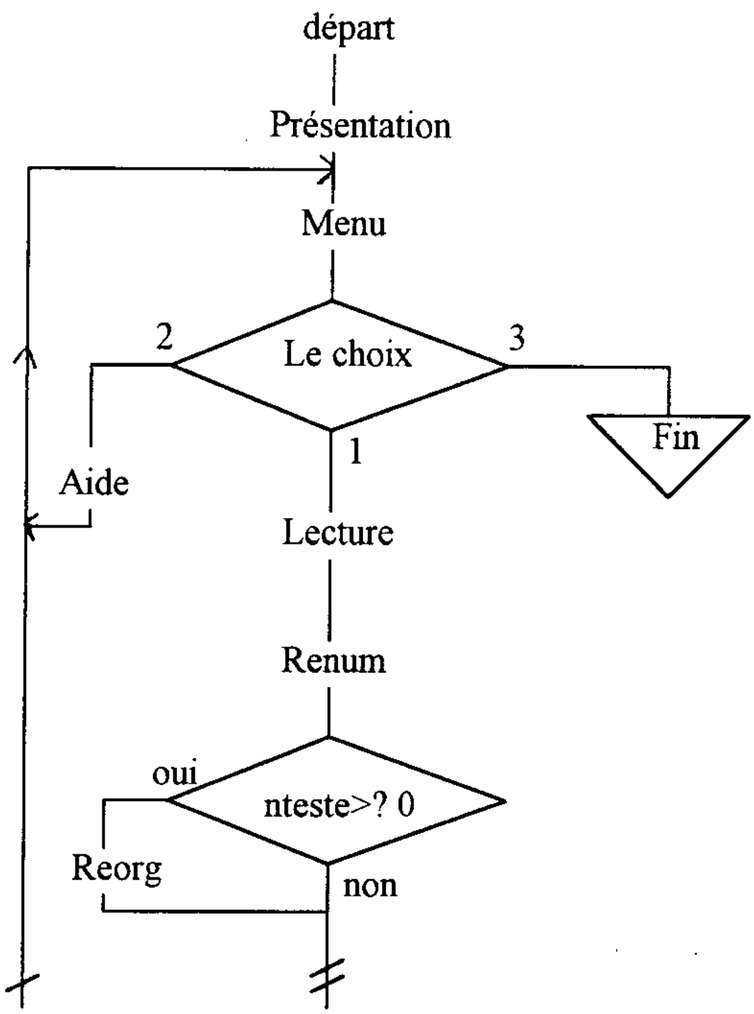
$$\{A\}*\{X\} = \{b\}.$$

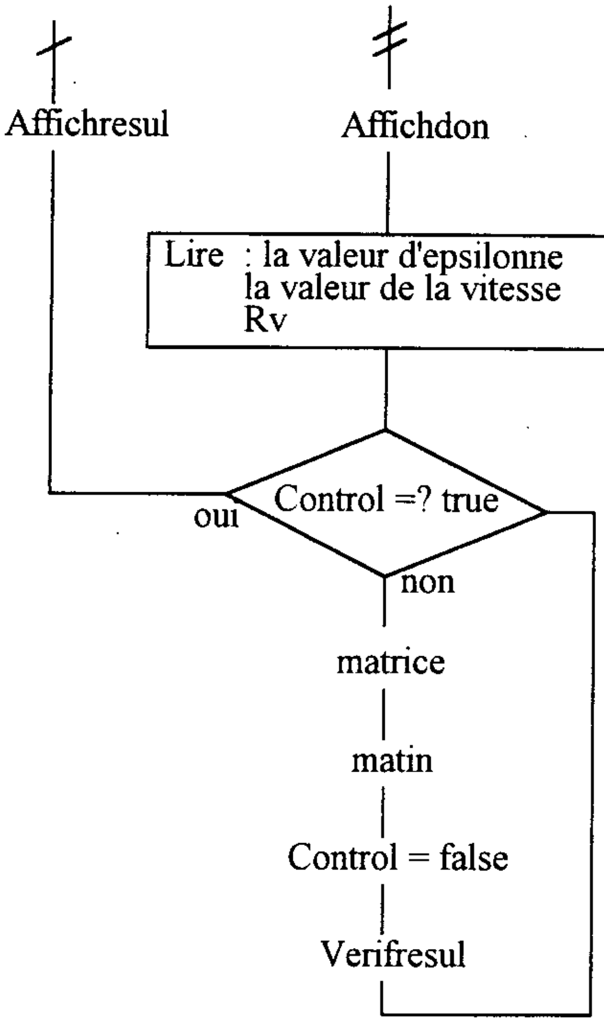
Et la dernière "Vérifrésul" qui sert à vérifier les résultats et arrêter le calcul itératif si tous les différences $|H_i^{it} - H_i^{it-1}|$ sont inférieurs à epsilon , si non on passe à l'itération suivante .

Une fois le calcul itératif est arrêté , on passe à la procédure "Affichresul" qui sert à afficher les résultats dans le fichier des résultats .

Quand l'affichage des résultats est terminé on retourne au menu principal .

III-4-1-2 L'ORGANIGRAMME DU PROGRAMME PRINCIPAL :





Rv : pour la consultation ou non de la matrice

Pour arrêter le calcul itératif

III-4-2 LA PROCEDURE " LÉCTURE "

III-4-2-1 DESCRIPTION :

Ce sous programme a pour objet la lecture des données principales du problème, l'exécution de celle-ci nous demande d'introduire les noms des fichiers des données :

a°) Fichier des diamètres commerciaux :

Ce fichier donne une série croissante des valeurs présentants les diamètres commerciaux, l'existence d'une valeur minimale et autre maximale est obligatoire pour la démarche du calcul.

Au cas d'une faute d'écriture, où le fichier n'existe pas le sous programme va arrêter l'exécution et indiquer que le fichier nommé ci-dessus est introuvable puis il sort.

Par contre si le fichier existe le sous programme va demander d'écrire le nom du fichier des noeuds.

b°) Fichier des noeuds :

Ce fichier présente les données concernantes les noeuds du réseau , leur nombre, leurs altitudes, leurs charges, leurs débits sortants, et une remarque permettant de différencier entre un noeud réservoir et un noeud non réservoir .

Les données sont écrites sous forme du tableau de quatre colonnes qui sont respectivement : l'altitude, le débit soutiré, la charge, et en fin la remarque.

La remarque soit présentée par une valeur égale à un (1) si le noeud est a charge fixe si non elle prendre la valeur zéro (0) .

Le paragraphe suivant montre un exemple de fichier des données des noeuds .

nombre des noeuds égale à N .

Les caractéristiques des noeuds sont présentées comme suite :

N

Alt 1	Deb 1	Charg 1	Rq 1
Alt 2	Deb 2	Charg 2	Rq 2
Alt 3	Deb 3	Charg 3	Rq 3
.	.	.	.
.	.	.	.
Alt N	Deb N	Charg N	Rq N

<< endof file >>

Où :

Alt I : Altitude du noeud I .
Deb I : Débit soutiré du noeud I .
Charg I : Charge du noeud I .
Rq I : La remarque sur le noeud I .

Remarque :

En cas où un noeud n'a pas un tel paramètre on le remplace par zéro, par exemple si le noeud I est un noeud non réservoir on écrit :

Alt I Deb I Charg I = 0 Rq 1 = 0

Si le fichier ci-dessus n'existe pas sous le programme affiche qu'il y on a une faute de donnée puis il sort, en cas le fichier est introuvable le sous programme demande d'introduire le nombre fichier des conduites .

c°) Fichier des conduites :

En hydraulique générale une telle conduite est caractérisée par sa résistance hydraulique qui est donnée en fonction de la longueur, le diamètre et le coefficient de Hazen-Williams.

Les conduites sont présentées par la numérotation du noeud C-A-D une conduite (ij) est placée entre les deux noeuds i et j ; l'écriture des données se fait sous forme d'un tableau de cinq colonnes : à la première on a le numéro du noeud amant , à la deuxième colonne on a le numéro du noeud aval , ces deux valeurs présente la conduite, la 3ème colonne et pour la longueur, la 4ème est pour le diamètre la 5ème ont trouve le coefficient de Hazen-Williams le nombre des conduites est donné à la tête du fichier les diamètres sont des valeurs initiales ont pour but le calcul de la résistance initiale de chaque conduite.

Soit le paragraphe suivant montre un exemple de fichier de données des conduites :

Si on a M conduites :

M				
1	2	L1	D1	coef 1
2	3	L2	D2	coef 2
1	3	L3	D3	coef 3
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
I	J			

<< End of File >>

Où :

1 - 2 : présente la conduite I,J .
LM : la longueur de la conduite M .
DM : le diamètre initial de la conduite M .
coef M : coefficient de Hazen-W. pour la conduite M .

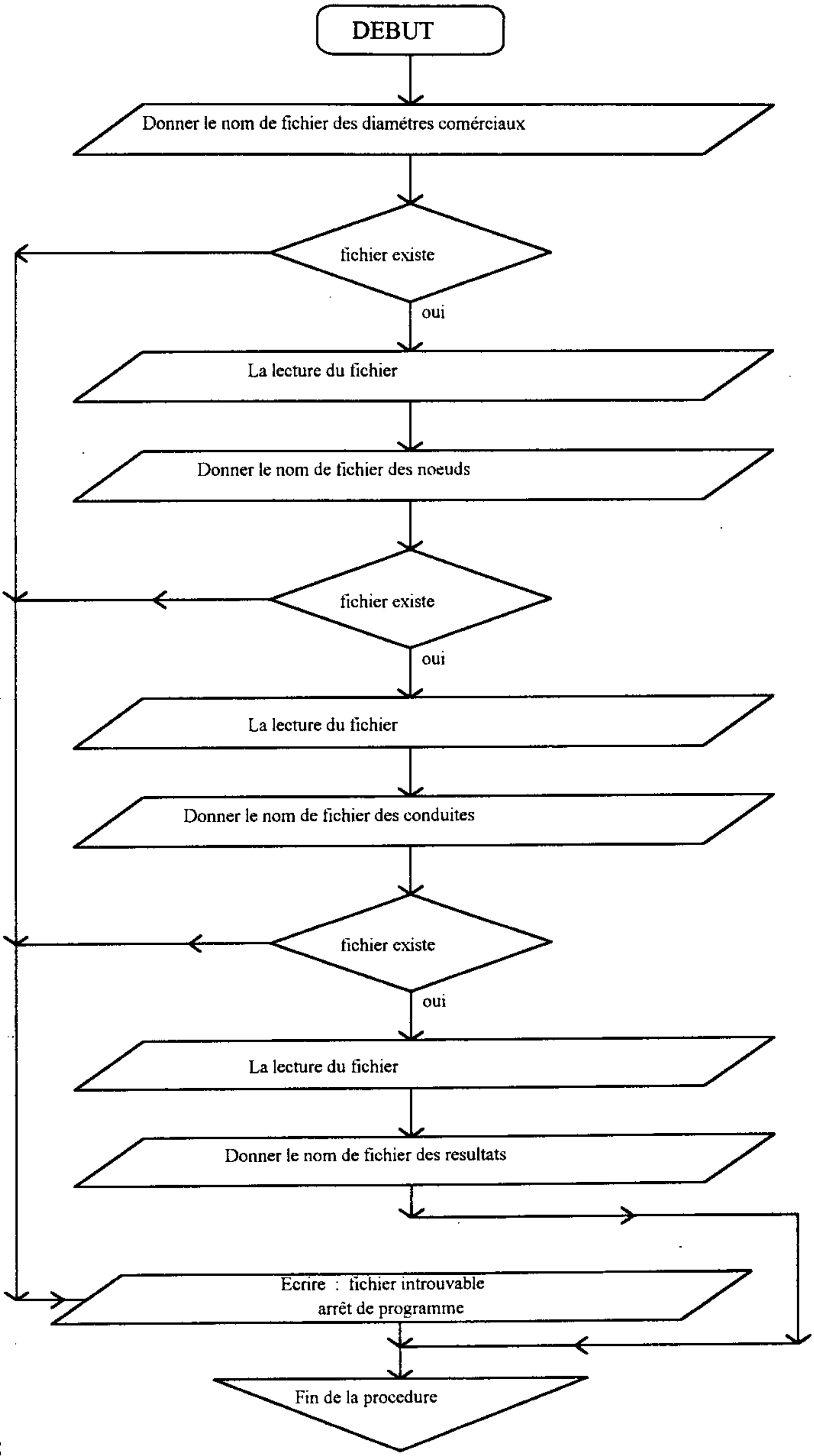
De même si le fichier ci-dessus est introuvable le sous programme va indiquer que le fichier n'existe pas puis il sort.

Par contre s'il est existe il nous demande d'introduire le nom du fichier du résultat.

d°) Fichier du résultats :

Le fichier peut être exister déjà ou crée lors de l'exécution, il a pour objet de stocker les résultats du résolution du problème.

III-4-2-2 L'ORGANIGRAMME DE LA PROCEDURE



:

III-4-3 LA RENUMEROTATION :

III-4-3-1 POURQUOI UNE RENUMEROTATION ?

La renumérotation est faite pour mettre la matrice sous forme bande, c.à.d, regrouper au maximum les termes non nuls autour de la diagonale principale.

Ce regroupement a un avantage principal, car il diminue le temps calcul grâce à une procédure de résolution adaptée à la matrice bande.

On va présenter le schéma de calcul dans l'organigramme du procédure " Renum ", suivi par des exemples compréhensifs.

III-4-3-2 POSITION DU PROBLEME :

Dans la matrice du système, les termes (I,J) et (J, I) où $I \neq j$ sont égaux (matrice symétrique). Si I, J ne sont pas des réservoirs.

La différence entre I et J donne le nombre de termes compris entre le terme diagonal et le terme d'indice (I,J +1).

Les termes tels que la valeurs absolue de la différence entre I et J soit maximale donneront les extrémités de la bande.

La longueur de bande vaudra alors : $LB = 2 * (I - J)_{max} + 1$.

Plus $(I - J)_{max}$ sera faible, plus la largeur de bande sera réduite.
En réalité on ne trouve pas toujours des réseaux réguliers, une numérotation quelconque, peut nous donner une largeur de bande plus grand que le nombre des noeuds lui même.

Il faut donc trouver un moyen pour arriver dans le cas d'un maillage quelconque à une largeur de bande minimale.

C'est qu'on va essayer de faire en utilisant la procédure " Renum ".

On remarque qu'il faudra ensuite, en fonction de cette nouvelle numérotation, réorganiser le réseau pour qu'il soit équivalant une fois la rénumérotation faite, au réseau initial (procédure Réorg).

III-4-3-3 LA PROCEDURE " Renum " :

<u>a°)Principe :</u>

A partir de la numérotation de départ, nous allons constituer des nouvelles numérotations en se basant sur les liaisons existants dans le réseau.

La première numérotation, partira du noeud numéroté 1 dans l'ancienne numérotation (A,N).

La deuxième numérotation partira du noeud numéroté 2 dans A.N et ainsi de suite.

On remarque qu'on aura autant d'essai de numérotation que de noeuds dans le réseau.

Ensuite en garde en mémoire celle donnant la largeur de bande minimale.

L'algorithme utilise se base sur l'algorithme de Cuthill-Mac Kee développé par R.J. Collins.

Cet algorithme ne garantit pas la meilleure numérotation, mais une numérotation mieux que celle de départ, si celle-ci est quelconque.

<u>b°)L'algorithme :</u>

L'algorithme comprend essentiellement deux parties :

<u>1°</u> : Calcul du nombre de liaisons nodales et création de la table des liaisons nodales.

Nous allons constituer deux vecteurs :

Le premier comprendra le nombre de liaisons de chaque noeuds, le deuxième comprendra la table des liaisons nodales, c. à . d , les numéros de noeuds reliées à tous les noeuds du réseau.

On considère qu'il y aura, au plus 8 noeuds reliés à un noeud. Ainsi, chaque liaisons I, J augmentera d'une liaison le nombre de liaisons de I et on placera le noeud J dans la positions adéquate liée à I.

En même temps on calcule la différence $|I_1 - J_1|_{max}$.

Cette valeur permettra de calculer la largeur de bande correspondante et sera considérée, au départ, comme donnant la plus petite largeur de bande.

2° : Renumérotation proprement dite :

La Ième rénumérotation prendra comme noeud NR.1 dans la nouvelle numérotation (N.N), le noeud numéroté I dans A.N. Ensuite, on cherche dans la table de liaisons nodale le numéro des noeud numéroté I dans A.N. On leur donne le nr dans l'ordre croissant.

On calcule la différence entre les numéros des deux noeuds. Si cette différence est supérieur ou égale à la plus petite valeur trouvée lors d'une meilleure renumérotation et on passe à la (I+1)° renumérotation, sinon, on passe au noeud numéroté 2 dans N.N rénumérotant les noeuds liées à cette noeud.

On renumérote les noeuds non encore renumérote dans l'ordre croissant avec les numéros disponibles. On calcule toujours la différence entre les numéros de deux noeuds, pour l'arrêt ou la continuation de la rénumérotation.

Ensuite on passe, au noeud numéroté 3 dans N.N et c'est de suite.

Si la rénumérotation a été achevée, c'est qu'elle est meilleure que celle envisagées précédemment . On stock donc à la place de la numérotation précédente moins bonnes cette nouvelle numérotation meilleure ainsi que son (I-J) max.

A la fin on aura en mémoire la numérotation de celle envisagées donnant la largeur de bande minimale.

C°) Organigramme de la procédure "Renum"

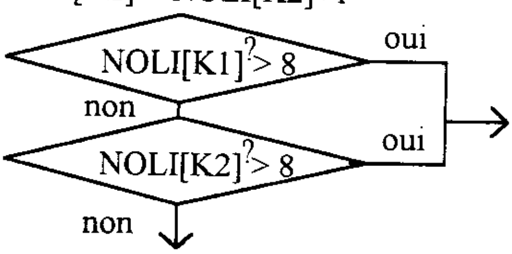
Begin
NSTOP = False

Cette variable sert à arrêter le programme d'il y a plus de 8 liaisons en un noeud

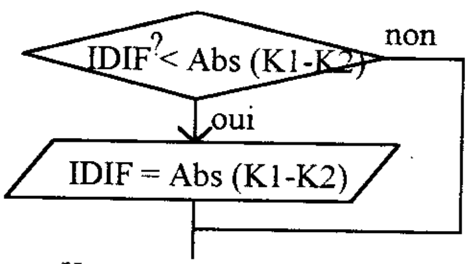
IDIF = 0
BCLE I=1 TO N
    NOLI (I) = 0
    MMM(I) = 0
    NNN (I) = 0
Repeat I

Initialisation

BCLE K=1 TO M
    K1 = CD[K]. i1
    K2 = CD[K]. j1
    NOLI[K1] = NOLI[K1]+1
    NOLI[K2] = NOLI[K2]+1



    NELI[8*(K1-1)+ NOLI[K1]]= K2
    NELI[8*(K2-1)+ NOLI[K2]]= K1



Repeat K

Cette boucle sert à calculer l'ancienne demi-largeur de bande et construire les vecteurs NOLI et NELI.
écrire : il y a trop de liaisons en un noeud ; maximum 8 liaisons, et arrêt le programme

MINMAX = IDIF

NTEST = 0

On stocke l'ancienne demi largeur de bande on la remplacera lorsqu'on aura trouvé mieux

```
BCLE IK = 1
    BCLE I=1 TO N
        IOLD (I) = 0
        INEW (I) = 0
    Repeat
    Max = 0
    I = 1
    INEW (I) = IK
    IOLD (I)
    L=1
    K4=NOLI(INEW (I))
        JSUB = 8*(INEW (I) -1)
        BCLE JJ=1 TO K4
          K5 = NELI (JSUB + JJ)
          ? IOLD (K5) > 0        oui
          non
        L = L + 1
        IOLD (K5) = L
        INEW (L) = K5
        NDIF = Abs (I - L)
        ? NDIF >MinMax
        non
        ? NDIF >Max              non
        oui
        Max =  NDIF
    Repeat JJ
```

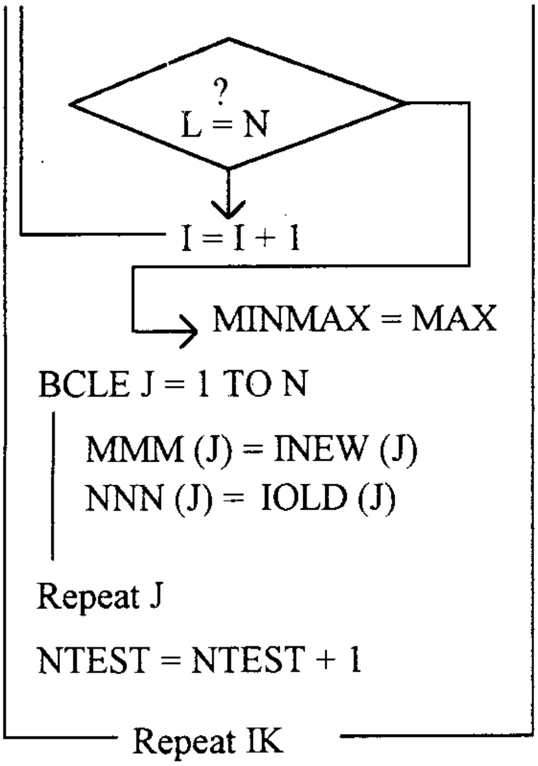
Initialisation

Donne le nombre de liaisons avec le noeud qu'on vient de rénuméroter .

La 1ere position de vecteur NELI où l'on trouvera le NR. du 1er noeud lie au noeud que l'on vient de rénuméroter.

Donne les noeuds en liaison avec l'ancien NR. associé au noeud nouvellement renuméroté.

Calcul de différence, si on trouve une numérotation moins bonne que la précédente, on l'abandonne
on stocke la plus grande différence entre les NR. de 2 noeuds voisins.



Si L = N, on renumérote tous les noeuds et cette renumérotation est la meilleure car elle n'a pas été abandonnée.
et on la stocke .
L' A.NR. au noeud J
L'N.NR. au noeud J

Si on a renuméroté une fois complètement le réseau Ntest diffère de 0

LB = 2 * MINMAX + 1

Largeur de la bande

Retour au programme principal

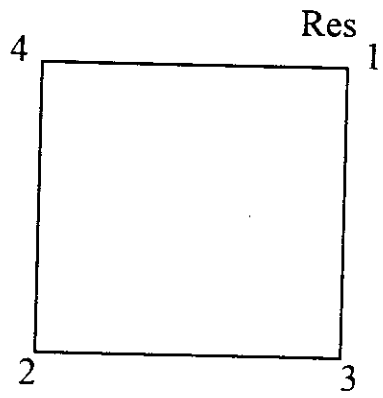
End.

III-4-3-4 Exemples :

a°)Exemple de quatre noeuds :

La largeur de bande vaudra

$(4-1) * 2 + 1 = 7$



constitution des vecteurs Noli et Neli :

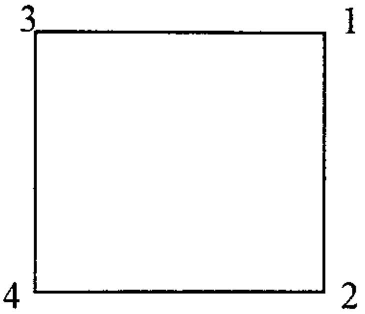
Noli				
	1	2	3	4
	2	2	2	2

Neli	liaisons au noeud 1								liaisons au noeud 2							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	3	4							3	4						

Neli	liaisons au noeud 3								liaisons au noeud 4							
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	1	2							1	2						

Remarque : Normalement, les valeurs ne sont pas classées par ordre croissant dans ce tableau .

La première renumérotation :



La première renumérotation donnera une largeur de bande égale à :

$$2\,(3-1)+1=5$$

Ce qui est inférieur à la largeur de bande initiale.
On stock la largeur de bande et cette numérotation.

La deuxième numérotation donnera une largeur de bande de 5.

Donc, on abandonne cette numérotation puisqu'elle ne sera pas meilleure.
Les numérotations 3 et 4 ne donneront pas une largeur de bande inférieur à 5, on les abandonne.

A la fin de l'opération, en mémoire, on a celle qui donne la plus petite largeur de bande.

avant renumérotation :

	1	2	3	4
1	X		X	X
2		X	X	X
3	X	X	X	
4	X	X		X

après renumérotation :

	1	2	3	4
1	X	X	X	
2	X	X		X
3	X		X	X
4		X	X	X

b°)Exemple de 12 noeuds :

Les remplissages des matrices avant et après rénumérotation de cet exemple nous aident à bien remarquer la différence entre eux.

avant renumérotation :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	X										X	X
2		X				X		X	X			
3			X		X						X	
4				X		X			X	X		
5			X		X					X		
6		X		X		X						X
7							X					
8		X						X	X	X		
9		X		X				X	X			
10				X	X			X		X	X	X
11	X		X							X	X	X
12	X					X				X	X	X

après renumérotation :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	X	X	X	X								
2	X	X		X	X							
3	X		X		X							
4	X	X		X	X	X						
5		X	X	X	X	X	X					
6				X	X	X		X				
7					X		X		X			
8						X		X		X		
9							X		X	X	X	
10								X	X	X		X
11									X		X	X
12										X	X	X

III-4-4 LA REORGANISATION :

III-4-4-1 INTRODUCTION :

Une fois la rénumérotation est faite , il est nécessaire de réorganiser le réseau :

- Les altitudes et les débits soutirés et les charges ne correspondant plus à la numérotation.

- Les noeuds où il y a des réservoirs ne correspondant également plus.

- La numérotation des bornes de tronçons ne correspondant plus aussi.

III-4-4-2 LA REORGANISATION

Pour arriver à cette réorganisation, on utilise deux variables de transfert, le premier associé aux noeuds, le deuxième associé aux tronçons.

Pour les noeuds on stock les données des noeuds dans le variable de transfert STO1 [I] (pour chaque noeud) ensuite on remet les caractéristiques des noeuds à place.

Pour les tronçons on stock la numérotation des bornes dans STO 2 [I] (pour chaque tronçon), en rénumérotant les bornes ensuite.

III-4-4-3 ORGANIGRAMME DE LA PROCEDURE "Reorg"

DEBUT

```
BCLE  I =1 to n                          On stocke les
  | STO1[I] . Alt  = ND[I].Alt            caractéristiques
  | STO1[I] . Deb = ND[I].Deb             des noeuds
  | STO1[I] .Chg  = ND[I].Chg
  | STO1[I] .Rq   = ND[I].Rq
Repeat I
```

```
BCLE  I =1 to n
    ND[I].Alt   = STO1[MMM[I]] . Alt
    ND[I].Deb   = STO1[MMM[I]] . deb
    ND[I].Chg   = STO1[MMM[I]] . Chg
    ND[I].Rq    = STO1[MMM[I]] . Rq
Repeat I
```

On remet les caractéristiques à leurs places

```
BCLE L=1to M
    STO2[L].i1=CD[L].i1
    STO2[L].j1=CD[L].j1
Repeat L
```

On stocke la numérotation des bornes des tronçons

```
BCLE L=1to M
    CD[L].i1 = NNN[STO[L].i1]
    CD[L].j1 = NNN[STO[L].j1]
Repeat L
```

On renumerote ces bornes

END

III-4-5 LE CALCUL DE K (I,J) :

III-4-5-1 INTRODUCTION:

On a vu que la résistance R s'écrit d'après Hazen-Williams sous la forme mathématique suivante :

$$R = \frac{10.67}{C_{HW}^{1.852} * D^{4.87}} * L \qquad ....(1)$$

L : la longueur du conduite

D : le diamètre du conduite

C : le coefficient de Hazen-Williams.

On a posé que K (I, J) est égale à l'inverse de la résistance du conduite (I, J) à la puissance de (0,54) , c.à.d :

$$K(I,J) = (1/R\,(I,J))^{0.54} \quad .....(2)$$

En introduisant l'équation (1) dans l'équation (2), on trouve que :

$$K(I,J) = \left(\frac{C^{1.852} D^{4.87}}{10.67 * L} \right)^{0.54}$$

d'où:

$$K(I,J) = \frac{C * D^{2.63}}{3.59 * L^{0.54}}$$

III-4-5-2 LA PROCEDURE "RES (I,J,k)":

a°) Description:

La procédure " Res " est caractérisée par deux paramètres d'entrée I et J et un paramètre de sortie K.

Cette procédure est constituée de deux parties.

1°) : la première partie sert à trouver le tronçon, où on cherche à calculer la valeur K.

Cette recherche se fait sous forme d'une bouche sur les tronçons. Pour chaque tronçon on suit les étapes suivantes :

1ère vérification :

On vérifie si I1 de tronçon égale au paramètre d'entrée I de Res :
Si non on passe à la deuxième vérification
Si oui on vérifie si J1 de tronçon égale à J de Res
Si oui on stock le numéro de tronçon et on sort de la première partie.
Si non on passe à la deuxième vérification.

2ème vérification :

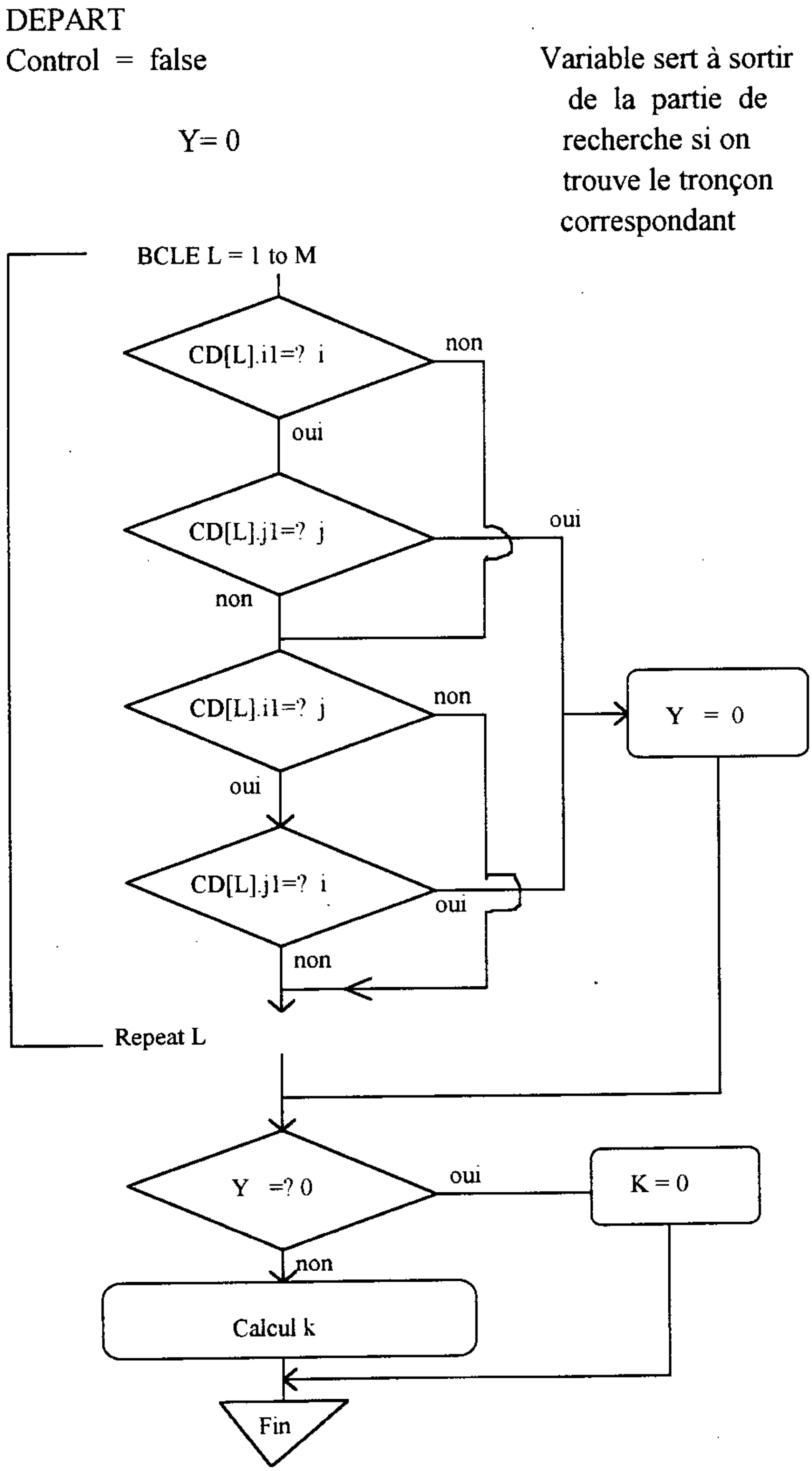
On vérifie si I1 de tronçon égale à J de Res :
Si non on passe à l'autre tronçon.
Si oui on vérifie si J1 de tronçon égale à I de Res. Si oui on stock le numéro de tronçon et on sort de la première partie. Si non on passe à l'autre tronçon.

Si la vérification pour tous les tronçons est terminée, sans trouver le tronçon correspondant à I et J de Res, on sort de la première partie.

2°) : la deuxième partie sert à calculer la valeur de K.

Une fois le numéro de tronçon correspondant à I et J de Res est stocké, on calcule k pour ce tronçon. Si non K prend la valeur (0).

b°) ORGANIGRAMME DE " RES (I, J, K) "



III-4-6 LA CONSTRUCTION DE LA MATRICE A [I,J] ET LE VECTEUR B [I]

III-4-6-1 INTRODUCTION :

On a remarqué au paravent que la matrice du système a une forme particulière mais sa construction colonne par colonne est très simple.

à la colonne I:
si le noeud I est un noeud reservoir on a:

$$A[I,J] = 1$$
$$A[I,J] = 0 \qquad \text{Où } I \neq J$$

si non:

$$A[I,J] = K(I,J) \qquad \text{Où } I \neq J$$
$$A[I,I] = \sum_{i=1}^{n} A[I,J] \qquad \text{Où } I \neq J$$

La construction de la dernière colonne est différente.

à la ligne I
si le noeud I est un noeud réservoir:

$$b(I) = \sum_{j=1}^{n} A[I,J] * ND[I].Chg \qquad \text{Où } J \neq I$$

Si non :

$$b(I) = q_i - \sum_{j=1}^{n} A[I,J] * ND[I].Chg$$

Si j est un noeud réservoir

III-4-6-2 LA PROCEDURE "Matrice"

a°) Description:

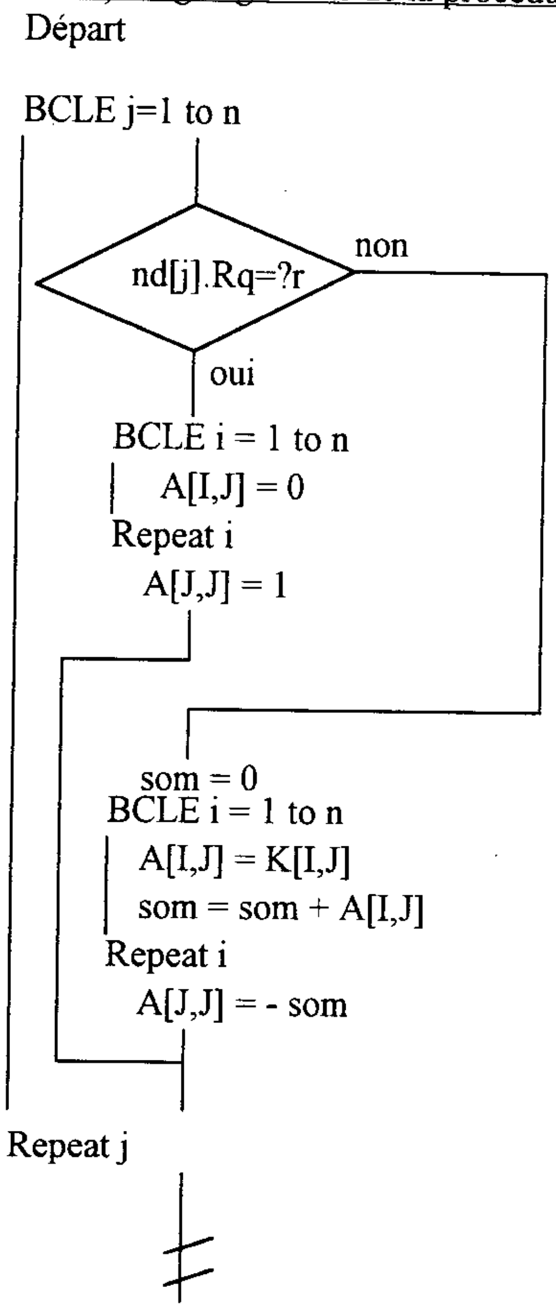
Cette procédure est constituée de deux parties:

La première partie sert a construire la matrice A du système colonne par colonne avec la colonne (n+1) .

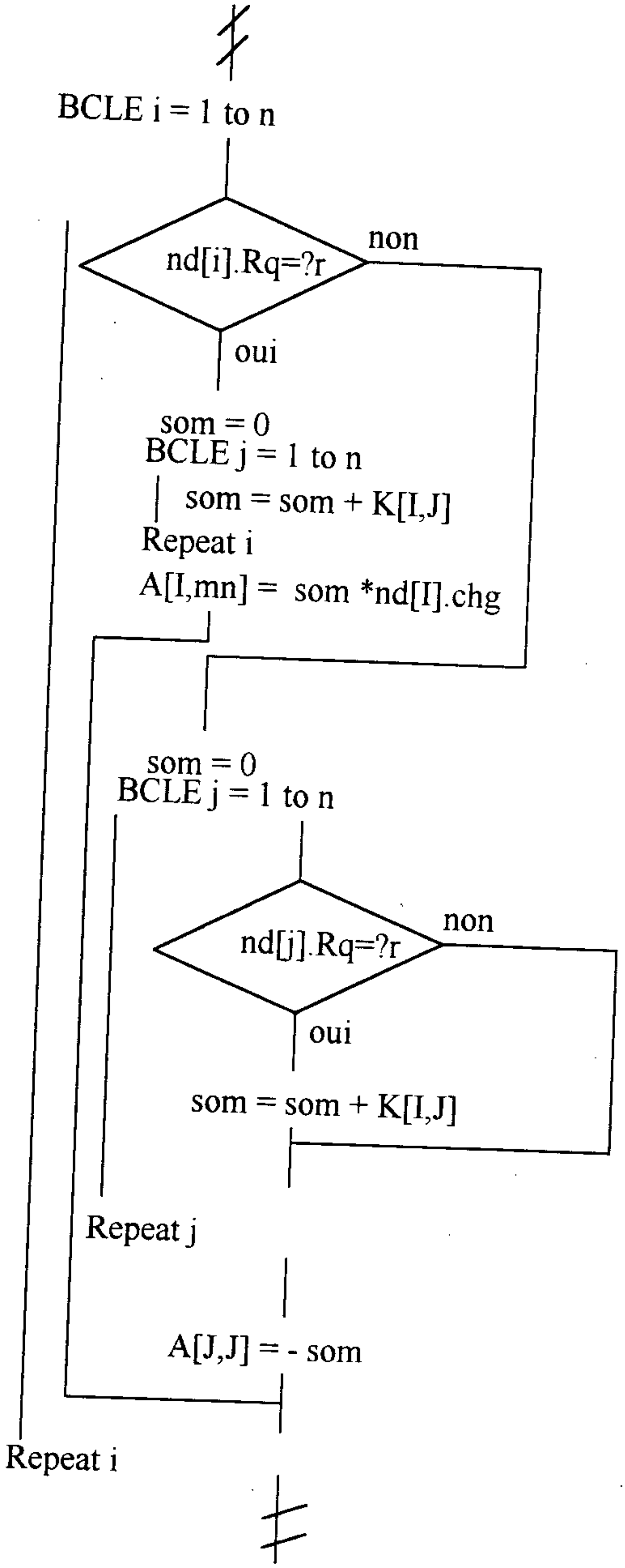
Et la deuxième sert a afficher la matrice à chaque itération si on choisie sa consultation.

On remarque que la procédure "Matrice" utilise la procédure "Res"

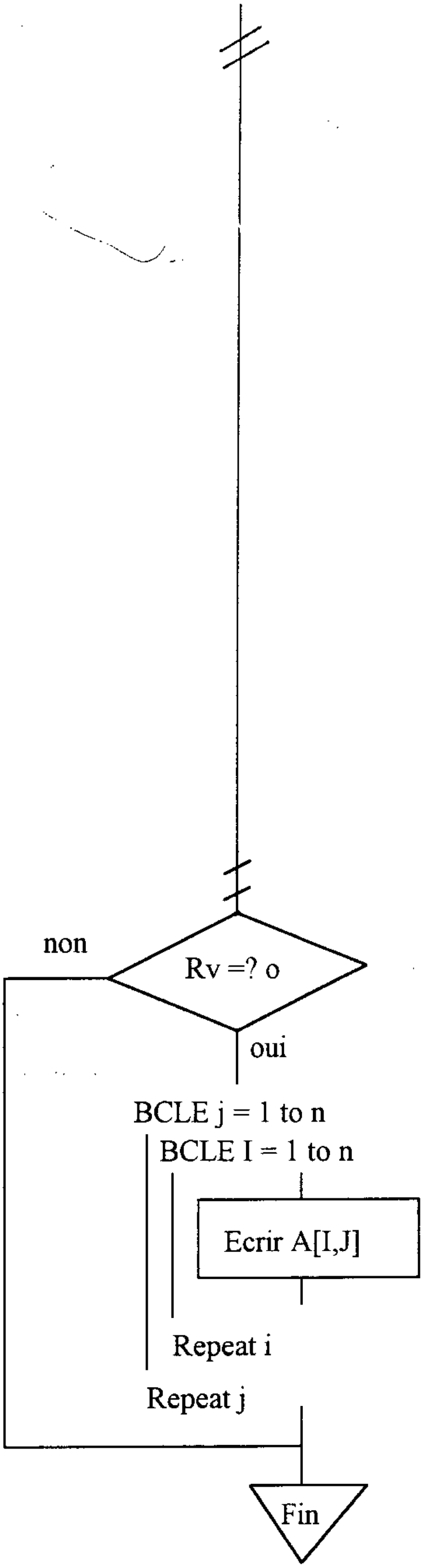
<u>b°)L'organigramme de la procédure "Matrice" :</u>



La construction de les colonnes de la la matrice A de 1à n



La construction de
la colonne n+1
de la matrice A



Consulter
ou non la matrice
à chaque itération

III-4-7 LA RESOLUTION DU SYSTEME :

III-4-7-1 INTRODUCTION :

On a vu que notre système à la forme linéaire suivante :

$$\{ A \} * \{ X \} = \{ b \}$$

où :

A : La matrice bande système

X : Le vecteur des inconnues :
pour un noeud réservoir i, X (I) représente le débit sortant de ce noeud. Pour un noeud non réservoir j, X (J) représente la charge à ce noeud.

b : le vecteur qui est constitué par les valeurs A [i] ^ [mn] qu'on les a vu dans la construction de la matrice du système.

Pour résoudre ce système on utilise une procédure de résolution par la méthode de Croût - Cholevsky adopté à la matrice bande.

La méthode de Croût - Cholevsky passe par la décomposition de A en :

$$A = L\,U$$

où :

L : est une matrice triangulaire inférieure et U est une matrice triangulaire supérieure.

Le système { A } * { X } = { b } devient :

$$\{ L \} * \{ U \} * \{ X \} = \{ b \}$$

qui peut se décomposer en :

$$Ly = b$$
$$U\,X = y$$

On peut construire une seule matrice de solution P, où :

L : est la partie inférieure de cette matrice P,

U : est la partie supérieure de P.

et le diagonal se calculé seul

diagonal :

$$P(I,I) = A(I,I) - \sum_{k=1}^{i-1} P(I,K) * P(K,I)$$

La partie superieure :

$$P(I,J) = \left[A(I,J) - \sum_{k=1}^{i-1} P(I,K) * P(K,J) \right] / P(I,I) \qquad I < J$$

La partie inférieure :

$$P(I,J) = A(I,J) - \sum_{k=1}^{i-1} P(I,K) * P(K,J) \qquad I > J$$

III-4-7-2 LA PROCEDURE "Matin " :

<u>a°)Description :</u>

La procédure " Matin " se caractérise par les paramètres d'entrée :

n : le nombre des noeuds

mn : n + 1

L 6 : la largeur du bande

A : la matrice du système, et le paramètre de sortie :

X 1 : le vecteur des solutions.

La procédure " Matin " se constitue de deux parties :

1°) la première partie sert à calculer les éléments de la matrice de solution P .On note qu'on appelle md : la première valeur sur la largeur du bande et mc : la dernière valeur.

On commence par la première ligne de la partie supérieure :

$$P(1,1) = A(1,1)$$

du deuxième élément à mc :

$$P(1,j) = A(1,j) / P(1,1)$$

et aussi

$$P(1,mn) = A(1,mn) / P(1,1)$$

ensuite pour chaque ligne i , on varie i1 de i jusqu'à mc :

Si I1= i (Elément de diagonale)

$$P(I,I) = A(I,I) - \sum_{k=md}^{i-1} P(I,K) * P(K,I)$$

Si non

$$P(I1,I) = A(I1,I) - \sum_{k=md}^{i-1} P(I,K) * P(K,I)$$

Et :

$$P(I,I1)=\left[A(I,I1)-\sum_{k=md+1}^{i-1}P(I,K)*P(K,I1)\right]/P(I,I)$$

Et :

$$P(I,mn)=\left[A(I,mn)-\sum_{k=md+1}^{i-1}P(I,K)*P(K,mn)\right]/P(I,I)$$

2°) La deuxième partie sert à résoudre le système par back-subtitution :

$$X1(n)=P(n,mn)$$

en suite pour i prend les valeurs diminuent de n-1 jusqu'à md

$$X1[I]=P[I,mn]-\sum_{k=i+1}^{n}P(I,K)*X1[k]$$

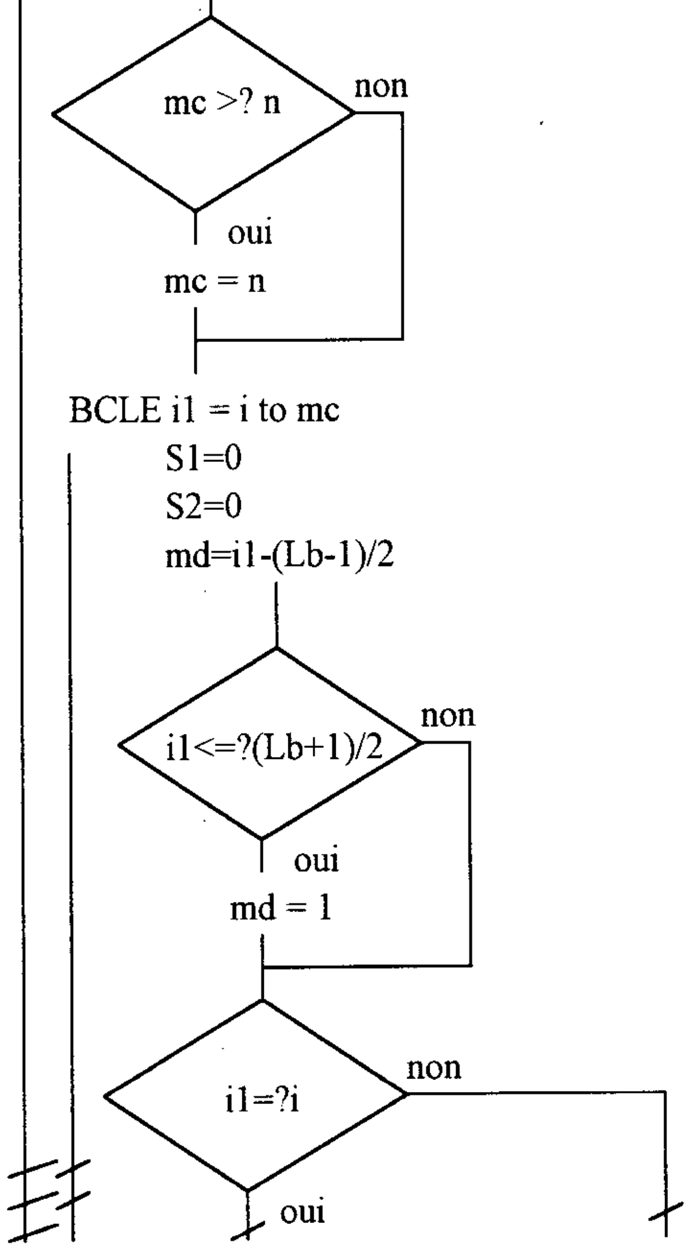
pour les autres :

$$X1[I]=P[I,mn]-\sum_{k=i+1}^{mc}P(I,K)*X1[k]$$

b°) L'organigramme du "Matin":

Départ
P[1,1]=A[1,1]
BCLE j=2 to mc
P[1,j]=A[1,j]/P[1,1]
repeat j
P[1,mn]=A[1,mn]/P[1,1]
BCLE i=2 to n
mc=(Lb-3)/2+i

première partie première ligne de la matrice superieure

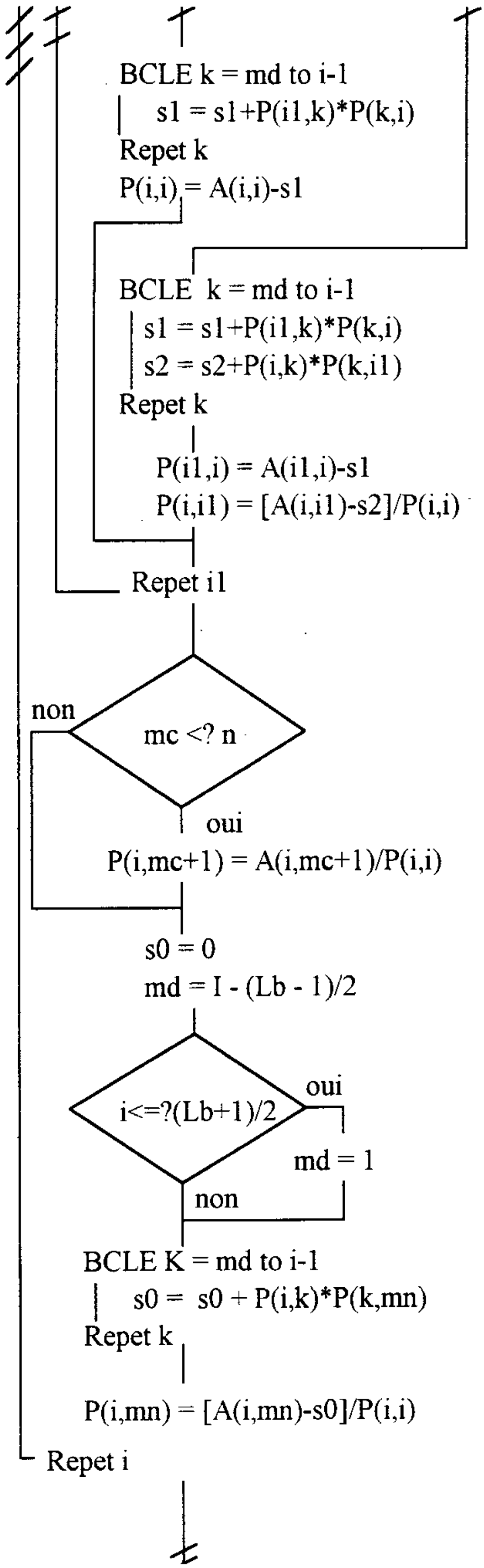


Si la valeur dernière du bande est plus de n elle prend la valeur n.

initialisation

Si la première colonne de la bande inférieure à 1 elle prend la valeur 1

Calcul des éléments
de diagonale



Fin de la première
partie

deuxième partie

"partie de résolution"

```
X1(n) = P(n,mn)
md = n - (Lb-3)/2

n = ?(Lb +1)/2    oui → md = 1
non

BCLE i = n - 1 down to md
    S = 0
    BCLE k = n - 1 down to md
        s = s + P(i,k) * X1(k)
    Repet k
    X1(i) = P(i,mn) - s
Repet k
md = 0
BCLE i = n - (Lb - 5)/2 down to 1
    S = 0
    md = md + 1
    BCLE k = n - 1 down to md
        s = s + P(i,k) * X1(k)
    Repet k
    X1(i) = P(i,mn) - s
Repet i

Fin
```

III-4-8 LA PROCEDURE "VERIF RESUL " :

III-4-8-1 DESCRIPTION :

La procédure " Vérif resul " sert à vérifier les résultats pour chaque itération, afin d'arrêter le calcul ou non.

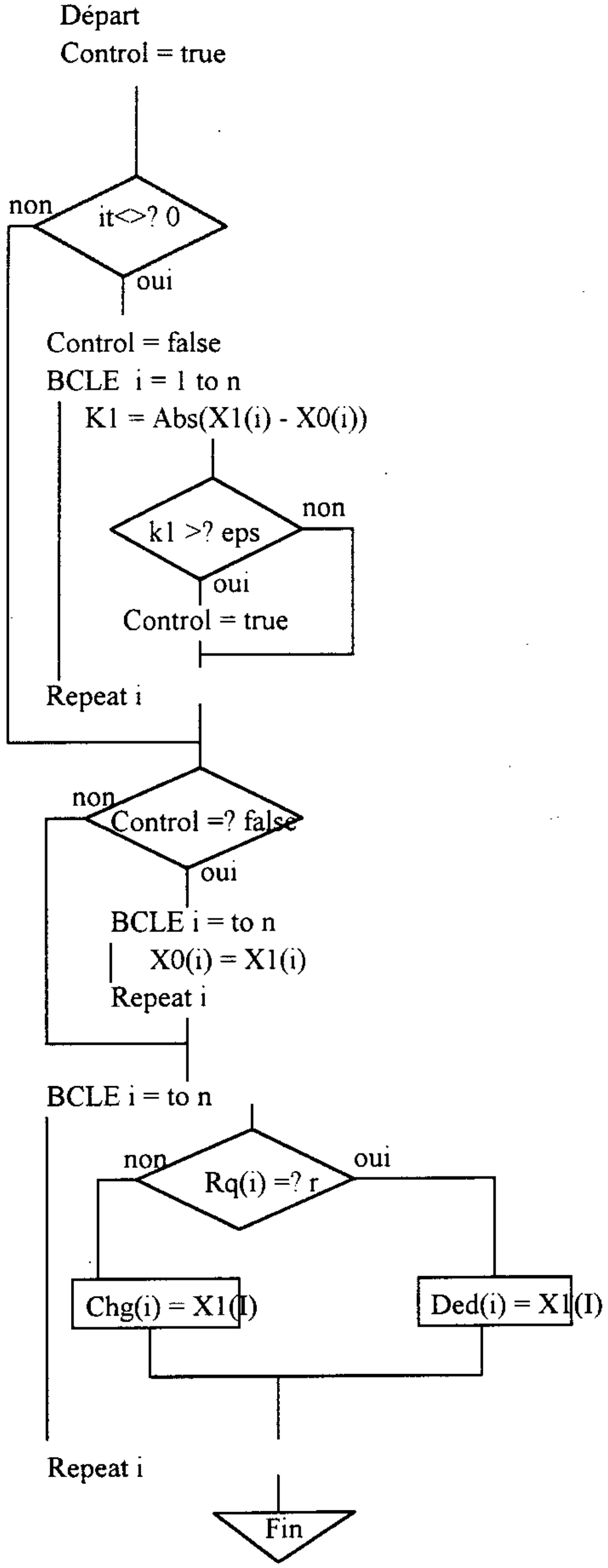
Pour chaque itération différente de " 0 " on calcul, pour tous i la différence entre la nouvelle et la précédante solution.

Si on trouve que pour tous i la valeur absolue de cette différence est inférieure d'une valeur epsilon déjà donnée. On arrête la calcul, si non on passe pour l'autre itération, et on stock les nouvelles solutions comme des solutions anciennes pour l'itération prochaine.

Si la condition est vérifiée ou non, on stock à la fin de chaque itération pour tous noeud i la solution correspondante :

Si i est un noeud réservoir, on stock le débit sortant.
Si non on stock la charge.

III-4-8-2 ORGANIGRAMME DE LA PROCEDURE "Verifresul"



Paramétre sert à
arrêter la vérification
ou le calcul itératif

Verifier si le noeud i
est un noeud
reservoir

Chapitre 4 :

APPLICATIONS

APPLICATIONS

IV - 1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on va présenter l'application du modèle sur trois réseaux : deux maillés et un ramifié , le premier réseau maillé constitué de cinq noeuds et six conduites ,le deuxième contient 12 noeuds et 16 tronçons , tandis que le réseau ramifié se compose de six noeuds et cinq conduites.

Pour chaque exemple on présente trois tableaux : Tableau des noeuds, tableau des conduites et le tableau du résultats .

En fin on donne quelques remarques sur l'application et les résultats.

IV-2 L'APPLICATIONS :

Exemple 1 :

Le nombre des noeuds 5

I	Altitude (m)	Debit soutiré (m3/s)	Charge (m)	Req
1	100	- 0.050	100	r
2	85	0.012	99.63	
3	80	0.015	98.62	
4	82	0.013	97.7	
5	75	0.01	92.31	

Le nombre des tronçons 6

L	I	J	Longueur (m)	Diametre (m)	Coeff
1	1	2	300	0.25	100
2	1	3	200	0.20	100
3	2	4	270	0.125	100
4	3	4	300	0.15	100
5	3	5	700	0.1	100
6	4	5	850	0.1	100

Exemple 1:

nombre d iterations : 10

L	I	J	DEBIT (m3/s)	Diametre (m)	VITESSE (m/s)
1	1	2	0.02069	0.125	1.686
2	1	3	0.02931	0.150	1.658
3	2	4	0.00869	0.080	1.729
4	3	4	0.00883	0.080	1.758
5	3	5	0.00547	0.080	1.089
6	4	5	0.00453	0.080	0.900

Le nombre des noeuds 12

I	Altitude (m)	Debit soutiré (m3/s)	Charge (m)	Req
1	141	- 0.06646	141	r
2	127	0.00816	134.7	
3	115	0.00602	130.76	
4	89.30	0.00381	119.94	
5	96.20	0.00674	115.54	
6	109	0.00517	126.7	
7	102.5	0.00656	126.15	
8	95	0.00456	103.98	
9	96.20	0.00674	101.11	
10	88.5	0.00789	93.23	
11	78	0.00574	88.52	
12	80	0.00507	88.77	

Le nombre des tronçons 16

L	I	J	Longueur (m)	Diametre (m)	Coeff
1	1	2	200	0.2	106
2	2	3	350	0.2	106
3	2	7	610	0.15	106
4	3	6	100	0.125	106
5	3	4	400	0.1	106
6	6	7	230	0.125	106
7	5	9	400	0.1	106
8	6	5	280	0.1	106
9	7	8	260	0.1	106
10	4	5	400	0.1	106
11	8	9	390	0.1	106
12	8	10	480	0.1	106
13	9	10	300	0.1	106
14	10	12	420	0.1	106
15	10	11	660	0.1	106
16	11	12	770	0.1	106

Exemple 2 :

nombre d iterations : 18

L	I	J	DEBIT (m3/s)	Diametre (m)	VITESSE (m/s)
1	1	2	0.06646	0.250	1.354
2	2	3	0.03813	0.200	1.214
3	2	8	0.02017	0.125	1.644
4	3	4	0.02219	0.125	1.809
5	3	7	0.03760	0.200	1.197
6	4	8	0.00481	0.080	0.957
7	6	9	0.01158	0.100	1.474
8	4	6	0.01222	0.100	1.555
9	8	5	0.01842	0.125	1.501
10	7	6	0.00610	0.080	1.214
11	5	9	0.00491	0.080	0.977
12	5	10	0.00895	0.080	1.780
13	9	10	0.00975	0.100	1.241
14	10	11	0.00598	0.080	1.190
15	10	12	0.00343	0.080	0.683
16	12	11	-0.00091	0.080	0.182

Exemple 3 :

Le nombre des noeuds 6

I	Altitude (m)	Debit soutiré (m3/s)	Charge (m)	Req
1	100	- 0.2	100	r
2	85	0.03	90.63	
3	80	0.02	90.62	
4	82	0.05	87.7	
5	75	0.06	85.5	
6	78	0.04	80.5	

Le nombre des tronçons 5

L	I	J	Longueur (m)	Diametre (m)	Coeff
1	1	2	300	0.6	100
2	2	3	250	0.40	100
3	2	4	200	0.3	100
4	3	5	150	0.35	100
5	4	6	580	0.25	100

Exemple 3 :

nombre d iterations : 13

L	I	J	DEBIT (m3/s)	Diametre (m)	VITESSE (m/s)
1	1	2	0.20000	0.400	1.592
2	2	3	0.08000	0.250	1.630
3	2	4	0.09000	0.300	1.273
4	3	5	0.06000	0.250	1.222
5	4	6	0.04000	0.200	1.273

CONCLUSION

Après ces exemples, on constate que le programme est applicable aux deux types du réseau (maillé et ramifié).

Notons que le temps de calcul et le nombre des itérations sont acceptables.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude du dimensionnement des grands réseaux maillés de distribution d'eau potable, à été faite par plusieurs techniques d'équilibrage, parmi elles ; la méthode de Hardy - Cross, Newton - Raphson et la linéarisation de l'équation de perte de charge.

La technique de linéarisation de l'équation du perte de charge permettant l'élimination de l'inconvénient du choix d'une répartition initiale des débits ou des charges mais le problème de l'existence de plusieurs réservoirs dans le réseau a lieu.

L'usage de la méthode des noeuds linéarisée permet et d'apporter une solution à ce problème.

On notera que la matrice du système d'équations linéaires de modèle a une forme particulière simple.

Cette technique dimensionne aussi les réseaux ramifiés et peut être utilisée pour l'étude des réseaux constitués par des conduites hétérogènes.

On a élaboré un logiciel pour cette méthode et on soulignera qu'après les résultats obtenus on a remarquer que le modèle converge quelque soit les données initiales.

En fin on notera qu'aux cours du calcul itératif on a remarquer qu'après les premières itérations les éléments de la matrice suivent un critère particulière de convergence.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE:

1- Aide mémoire de l'étudiant en analyse mathématique
1ére édition.

2- A.MASCE and Pierre, F. lemieux
Efficient ayorthm for distribution net works
journal of hydraulique division november 1972.

3- FL. Canstantine scu and Zarea.
An itérative method for the analysis of pipline net works.

4 -M. CARLIER
Hydraulique générale et appliquée
Ed. Eyrolles 1980

5- R. COMOLET
Mécanique expérimentale des fluides
Tome II 1982

6- B.DEMIDOVITCH
Recueil d'exercices et de problèmes d'analyse mathématique

7- A. GOURDIN and M. BOUMAHRAT
méthodes numériques appliquées

8- R. FONCK, A.LEJEUNE et M.SAHLOUL
techniques nouvelles dans la résolution par ordinateur des réseaux maillés de conduites
la technique de l'eau et de l'assainissement N° 438/435
Juin - juillet 1983

9- HANS-GEORG SCHUMANN
bien débuter turbo pascal micro application

10- Lewist. Isaacs and Keving- Mills
lineare theory methods for pipe network analysis
journal of the hydraulics division. july 1980.

11- Dominique Maille
Le langage pascal
du pascal standard au turbo-pascal.

12- MAITHE et J.CLAUDE
Guide P.S.I
Multi plan 4.2
Chart 3

13- T. MERABTENE
une contribution à l'étude du dimensionnement des réseaux maillés de distribution d'eau potable.

14- Roland w. jeppson and Masce
equivalent hydraulics pipe for parallel pipes
journal of the hydraulics division. january 1982

15- Simsek Sarikelle and Yutang chuang
Analysis of large scale water distribution systems [analyse de grands réseaux de distribution d'eau]
journal de recherches hydrauliques