REPUBLIQUE DU SENEGAL

Sagesse Devoir

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

TITRE *Conception d'un programme de simulation des reseaux electriques en regime permanent*

AUTEUR *Ousmane AGNE*

DIRECTEUR *A. D. DIARRA*

JE DEDIE CE TRAVAIL

A

MA FAMILLE

REMERCIEMENTS

Avant toute chose je tiens à remercier les personnes suivantes , sans qui l'aboutissement de ce travail ce serait avéré difficile ,voir douteuse .

Il s'agit de

- Monsieur ADAMA D.DIARRA Professeur à l'E.P.T. en Génie Mécanique ,qui a bien voulu proposer et assumer la direction de ce projet .

- Monsieur J.C.LANGEVIN pour les efforts réels consentis à l'accés au centre de calcul,ceci malgré une demande croissante .

- A Monsieur A.L.NDOYE technicien au centre de calcul : pour sa disponibilité

- A toute personne qui a oeuvré à la réalisation de ce projet .

SOMMAIRE

O O o o . o o O O

Ce travail sanctionne un PROJET DE FIN D'ETUDES effectué sur la répartition des charges dans un réseau électrique opérant en régime permanent .

Ce projet entre dans le cadre de la formation d'Ingénieur et sanctionne un travail personnel effectué par l'éléve en vue de l'obtention du DIPLOME d'Ingénieur ELECTRO MECANICIEN de l'ECOLE POLYTECNIQUE DE THIES .

Il comprend :

- Des généralités sur les réseaux électriques
- Un aperçu sur la modélistion des réseaux électriques
- Un exposé sur les différentes méthodes de résolution des équations d'écoulement des charges en régime permanent
- L'application de la méthode de résolution adoptée sur un micro ordinateur , et la conception du programme .
- Enfin , le lecteur pourra trouver dans les différents annexes les résultats et théories utilisées pour concevoir le programme , ainsi que les diverses références bibliographiques utilisées.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE i

AVANT PROPOS ii

TABLE DES MATIERES I

LISTE DES NOTATIONS UTILISES II

INTRODUCTION 1

Chap 1 - GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES 3

1.1 Présentation d'un réseau électrique 3

1.2 Représentation en Systéme Par Unité 4

1.3 Fondements du courant alternatif 6

1.4 Caractéristiques des données d'un réseau électrique de puissance sur ordinateur 7

1.5 Matrices des réseaux électriques de puissance 9

Chap 2 - APERCU SUR LA MODELISATION DES RESEAUX 16

2.1 Principe de fonctionnement du réseau 16

2.2 Etude des lignes en régime permanent 25

Chap 3 - METHODES NUMERIQUES DE RESOLUTION 31

3.1 Présentation et choix d'une méthode de résolution 31

3.2 Méthode de NEWTON RAPHSON 33

3.3 Considérations supplémentaires 45

Chap 4 - PROGRAMMATION DE LA METHODE DE RESOLUTION 53

4.1 Choix du langage de résolution des équations 54

4.2 Dévelopement du programme 57

CONCLUSIONS 70

BIBLIOGRAPHIE 72

ANNEXES 73

LISTE DES NOTATIONS UTILISES

S_{Gi} = Puissance apparente complexe générée au noeud i

S_{Di} = Puissance apparente complexe consommée au noeud i

S_i = Puissance apparente complexe injectée au noeud i

P_{Gi} = Puissance active générée au noeud i

P_{Di} = Puissance active consommée au noeud i

Q_{Gi} = Puissance réactive générée au noeud i

Q_{Di} = Puissance réactive consommée au noeud i

I_i = Courant complexe entrant au noeud i

R_{ij} = Résistance de la ligne i --> j

X_{ij} = Réactance inductive de la ligne i --> j

y_{ij} = Admittance totale de charge de la ligne i --> j

V_i = Tension complexe au noeud i

v_i = Amplitude ou module de la tension i

θ_i = Phase de la tension

Z_{ij} = Elément de la matrice impédance barre

Y_{ij} = Elément de la matrice admittance barre

S_{ij} = Ecoulement de puissance complexe à travers la ligne i --> j

P_{ij} = Ecoulement de puissance active à travers la ligne i --> j

Q_{ij} = Ecoulement de puissance réactive à travers la ligne i --> j

N = Nombre de noeuds ou de barres du systéme

L = Nombre de lignes de transmission

G = Nombre de génératrices

ref = Barre de référence du systéme (parfois notée S)

P_i = Puissance active injectée au noeud i

Q_i = Puissance réactive injectée au noeud i

Dans tout le texte , l'indice supérieur (*) désignera la valeur conjuguée de l'expression ;les indices m et M désignent respectivement le minimum et le maximum de l'expression considérée

RESUME DU TRAVAIL EFFECTUE

Il existe de nos jours plusieurs méthodes d'analyse des réseaux électriques en vue d'une meilleure exploitation ou d'une planification adéquate.

Cependant , il faut remarquer que malgré une formulation trés élégante et dans d'autre cas une précision des calculs qui semble être des meilleures , les résultats obtenus ne conviennent pas pour une exploitation dans des conditions réelles de fonctionnement .

Cela est du en gros

- Au temps de calcul énorme pour obtenir la solution d'une distribution optimale

- Aux évenements fortuits qui peuvent intervenir dans le réseau

- Et souvent à une capacité de mémoire qui est insuffisante pour la taille des réseaux réels qui sont en général trés grands

Dans ce travail nous examinons uniquement l'écoulement des charges en régime permanent .

L'algorithme développé a permit la réalisation d'un programme pouvant simuler les cas de figure suivants:

- Calcul des puissances actives et réactives injectées
- Calcul des écoulements dans les lignes de transmission
- Calcul du profil des tensions et phases des barres
- Simulation de lignes de transmission coupées
- Simulation de génératrices en panne

La méthode utilisée est une méthode itérative qui présente de nombreux avantages qui seront donnés dans les pages à venir

Les données d'entré du programme sont les divers paramétres électriques des lignes de transmission , et les données relatives aux puissances consommées et ou générées . Il faut cependant y ajouter les données relatives aux tensions de barres de certains noeuds tels que les noeuds de génération ou le noeud de référence du réseau à étudier .

Le programme concu entre dans le cadre de la conception d'un logiciel didactitiel de simulation de réseaux electriques en régime permanent et constitue de par sa présentation un outil assez utile pour l'étude qu'il est sensé effectuer.

chap 1 GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

1.1 PRESENTATION D'UN RESEAU ELECTRIQUE

Un réseau d'énergie électrique se compose des principales parties suivantes:

- Des centrales de production
- Un réseau de transport
- Un réseau de distribution

a) <u>Les centrales de production</u>

Elles sont en général thermiques ou hydrauliques . Les premiéres produisent dabord de la chaleur pour obtenir de l'électricité :
La chaleur fait bouillir de l'eau qui se transforme en vapeur et qui aprés plusieurs étapes non décrites ici fait tourner les pâles d'une turbine reliée à un alternateur

Les centrales hydrauliques quant à elles produisent de l'énergie électique à partir d'une certaine quantité d'eau s'écoulant depuis une hauteur donnée , et qui fait tourner une turbine reliée comme dans le cas précédent à un alternateur

b) <u>Réseau de transport d'énergie électrique</u>

L'énergie électrique produite aux centrales doit être livrée au consommateur . Cette livraison s'effectue en deux étapes : Le transport et la distribution .

Le transport consiste à conduire l'énergie électrique depuis la centrale jusqu'aux postes de transformation situés prés des centres de consommation .Pour réduire au maximum le coût de l'énergie ainsi que celui du transport on augmente la tension à la sortie des génératrices . Cette opération ce fait dans des postes prévus à cet effet .

c) Les réseaux de distribution

Les besoins en énergie électrique ainsi que la tension requise dépendent des types d'abonnés . Ainsi les grosses industries sont reliées directement au réseau de transport (à cause de leur forte consommation) , tandis que les moyennes et petites empruntent un niveau de tension plus bas .

1.2 REPESENTATION EN SYSTEME PAR UNITE

L'étude des réseaux triphasés équilibrés peut être simplifiée par l'analyse d'une seule phase et ensuite , étendre les résultats obtenus aux autres phases.

Pour une meilleure utilisation du programme et surtout pour une meilleure meilleure exploitation ,les quantités utilisées seront exprimées en méthode standard Systéme par unité (Per Unit System) .

Cette méthode présente l'avantage :

a) De réduire les valeurs utilisées dans une certaine plage ce qui permet d'écarter les valeurs hors plage qui seront évidemment fausses

b) De réduire les possibles erreurs dues aux unités et conversions.

L'équation de la conversion est

$$\text{"Valeur par unité "} = \frac{\text{Valeur réelle}}{\text{Valeur de base}}$$

Ou valeur réelle et valeur de base ont les même unités , obligeant ainsi notre valeur finale à être adimentionnelle

Il faut remarquer que la valeur de base est un nombre réel (bien que la valeur réelle ,contrairement à ce que pourrait indiquer son nom peut parfaitement être complexe) et que les déphasages des quantités à l'echelle sont les mêmes que celles sans échelle

Un autre avantage de l'utilisation du systéme par unité est l'élimination facteur 3 ou √3 lors de l'utilisation de régime triphasé avec neutre .

On a en effet Vln=Vlp.u , Sbase =Sphase , et 3Zybase =Zδbase

En résumé quatre quantités sont concernées par notre analyse: Il s'agit de S,V,I et Z .

Les données du probléme seront résolus par les méthodes habituelles d'analyse et aprés traitement ,converties aux valeurs actuelles. Pour les études des systèmes de puissance, nous utiliserons 2 variables de base qui sont Sbase et Vbase.

*) Pour V_{base} nous choisirons une base de telle maniére que les voltages tendent vers l'unité.

**) Pour S_{base} les valeurs les plus couremment utilisées sont $1, 10, 10^2, 10^3$ MVA dépendemment de la taille du systéme .

Les autres variables du réseau à étudier seront exprimées à partir des précédentes du fait que l'on a une certaine interdé pendance entre les variables utilisées .

1.3 FONDEMENTS DU COURANT ALTERNATIF

L'analyse des systémes de puissance est en général effectuée pour des régimes sinusoidaux stationnaires dans lesquels les courants et voltages sinusoidaux ont des angles de phase et des fréquences constants .

Ainsi si V est la tension à la barre et I l'injection de courant à cette même barre ,on a entre les deux :

$P = |V|*|I|*\text{Cos}\delta$ et $Q = |V|*|I|*\text{Sin}\delta$

Ou δ = Arg(v)-arg(I) désigne l'angle de phase.

La puissance apparente s'écrit alors S=V.I=P+jQ

Pour un réseau de puissance de n barres y compris la barre de puissance on a le vecteur courant injecté Ibarre qui s'écrit

$$\text{Ibarre} = \begin{bmatrix} I1 \\ . \\ In \end{bmatrix}$$

représente les n injections de courant dont le retour se fait au noeud de référence .

Ainsi l'expression de la puissance totale apparente est

$$S = \text{Ibar Vbar} \quad \text{ou} \quad S = I_1V_1 + I_{12}V_{12} + \ldots$$

Dans l'étude des réseaux le courant Ibar est considéré comme un courant injecté.

Dans le cas d'une charge réelle , la partie de I_1V_1 est négative comme la puissance active "injectée" de la charge au systéme est négative .

Les lois fondamentales décrivant les systémes de puissance sont les lois de KIRCHHOFF :

i) Pour les voltages : La somme phasorielle des voltages dans une boucle fermée est nulle .

ii) La somme vectorielle des courants dans un noeud est nulle .

A ces lois simples et pourtant suffisantes pour décrire le comportement des réseaux en régime permanant seront ajoutées les formules et expressions donnant les puissances apparentes aux noeuds ou barres en fonction des tensions et divers paramétres de ligne

1.4 CARACTERISTIQUES DES DONNEES D'UN RESEAU ELECTRIQUE DE PUISSANCE

1.4.1 GENERALITES

La description et l'analyse des systémes électriques de puissance se fait traditionnellement par les lois de Kirchhoff et des relations entre voltages courants et puissances .

Ces relations simples à manipuler et à résoudre ,deviennent trés vite fastidieuses pour de gros systémes ou le nombre d'équations et d'inconnues ne permet pas l'utilisation des méthodes de résolution habituelles.

Nous utiliserons donc dans ce qui va suivre une approche matricielle.

cette approche permet la représentation vectorielle des voltages et des courants .Ainsi,la loi de Kirchhoff sera écrite en utilisant les relations matricielles concernées,et en utilisant la résolution par les méthodes numériques programmables sur micro ordinateur

1.4.2 CONFIGURATION DES RESEAUX A ANALYSER

La modélisation d'un réseau consiste à adapter notre réseau (en le transformant en modéle mathématique) aux exigences des méthodes de résolution futures. Ainsi les paramétres d'un réseau sont de deux types : Les données numériques et les données alphanumériques.

*) Les données numériques

Ce sont en gros les paramétres de ligne (résistance, inductance etc..) ,les niveaux de génération et de consommation de puissance ... Ces données sont en général des nombres complexes et doivent être entrés comme tels dans les divers langages d'ordinateur .

**) Les données alphanumériques

Ce sont essentiellement les noms des variables ou éléments des barres de voltage qui elles n'ont pas besoin d'être déclarées dans l'ordinateur .

Ces données sont lues et rassemblées dans une sorte de dictionnaire qui assigne un numéro à l'étiquette de la barre en question .

Ainsi par exemple le numéro de noeud k correspondra à la ville (ou région ,ect..) "Thiés"

1.5 MATRICE DES SYSTEMES DE PUISSANCE

1.5.1 MATRICE DE CONNEXION BINAIRE

Cette matrice est une matrice carrée définie pour un réseau à n noeuds comme étant constituée d'éléments (B_{ij})tels que

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si la barre } i \text{ est connectée à } j \\ 1 & \text{Si } i = j \\ 0 & \text{Autrement} \end{cases}$$

L'utilité de cette matrice est de trouver si un noeud donné est connecté à un autre noeud .Elle permet également de trouver la "proximité " en évaluant $(B^{ij})(m)$. Si le résultat est 1 , alors la barre i et la barre j sont connectées par l'intermédiaire de m lignes ou plus .

L'expression $B_{(m)}$ est évaluée par

$$(B)_{(m)} = (B \text{ o } B \text{ o } B \dots B) \text{ m fois}$$

Il faut remarquer que le chiffre 1 désigne l'expression vrai et que le nombre 0 désigne l'expression faux .

$$(A \text{ o } B)_{ij} = (A)_{i1}(B)_{1j} + (A_{i2})(B_{2j}) + \dots + (A_{im})(B)_{mj}$$

L'application immédiate de cette relation de proximité est lors des calculs des courants de court circuits ou de défauts : En effet un défaut en k,et seules les barres proches de k seront examinées

L'autre application est de voir si un réseau donné est relié entiérement en examinant l'allure de la matrice de connexion.

REMARQUE

La matrice (B_{ij}) peut également s'écrire sous la forme

$$L_{ij}=\begin{cases} 1 & \text{Si la ligne i débute à la barre j} \\ -1 & \text{Si la ligne i finit à la barre j} \\ 0 & \text{Autrement .} \end{cases}$$

Pour un systéme de N barres et de L lignes la matrice (NxL) est utilisée pour évaluer la différance de voltage entre les phases finales de chaque ligne .

Si V_{ligne} est un vecteur unicolone à l vecteurs "voltage de ligne " on a lors $V_{ligne}=L.V_{bar}$.

Cependant ,pour évaluer les chutes de tension on considérera les lignes comme étant orientées : Le début des lignes correspondra à la plus haute tension,et la fin de la ligne elle aura le plus bas voltage (par analogie à la définition de L) .

1.5.2 MATRICES DES ADMITTANCES DE BARRE

Les matrices de connexion précédemment examinées ne donnent aucune information sur les impédances du réseau et ne permet pas d'appliquer les lois de KIRCHHOFF .

Dans cette partie nous distinguons la matrice admittance de la matrice impédance .

Considérons la loi de KIRCHHOFF relative aux courants dans un noeud quelconque j autre que le noeud de référence :

On a alors

$$\sum_{i=1}^{n} I_{ji} = \bar{I}_j \qquad (*)$$

Ou I_j est le courant injecté d'une source externe vers le noeud J et I_{ji} est le courant s'écoulant du noeud I vers le noeud J via la ligne de transmission

<u>REMARQUE</u>

La barre au dessus de I_{ij} désigne un courant de ligne et non un courant de noeud .Evidemment on a $I_{ij} = Y_{ij}(V_j-V_i)$ ou Y_{ij} est l'admittance de la ligne joignant les lignes I et J .Il est à remarquer que dans un réseau réel plusieurs des éléments de (*) sont nuls

- Le courant I_{jj} est nul comme on a pas de lignes de J à J .
- Le courant I_{ij} est nul s'il n'existe pas de lignes entre les noeuds I et j

- L'élément Y_{ij} est nul s'il n'existe pas de lignes entre les noeuds I et j

En remplacant l'expression de I_{ij} dans la relation (*) notre équation devient

$$\sum_{i=1}^{n} Y_{ij}(V_j-V_i) = I_j$$

Relation ou V_i et V_j sont exprimées par rapport à la barre de référence et ou i={1,2, ...n}

Le coefficient de V_j dans l'équation des courants de KIRCHHOFF est

$(\sum_{i=1}^{n} Y_{ji})$ et les coefficients des V_i sont $-Y_{ij}$.

Les équations de barre s'écrivent donc pour notre réseau :

$$I_1=(\sum_{i=1}^{n} Y_{1i})v_1+(-Y_{12})V_2 +(-Y_{13})V_3+...+(-Y_{1n})V_n$$

$$I_2=(\sum_{i=1}^{n} Y_{2i})v_1+(-Y_{22})V_2 +(-Y_{23})V_3+...+(-Y_{2n})V_n$$

$$I_3=(\sum_{i=1}^{n} Y_{3i})v_1+(-Y_{32})V_2 +(-Y_{33})V_3+...+(-Y_{3n})V_n$$

... ...

$$I_n=(\sum_{i=1}^{n} Y_{ni})v_1+(-Y_{n2})V_2 +(-Y_{n3})V_3+...+(-Y_{nn})V_n$$

Soit encore sous forme matricielle :

$$|I_{barre}| = |Y_{barre}|\ |V_{barre}|$$

Ou $|I_{barre}|$ désigne le vecteur injection des courants de barre

Et ou $|Y_{barre}|$ désigne une matrice NxN de coefficients obtenus tel qu'indiqué dans les pages suivantes .

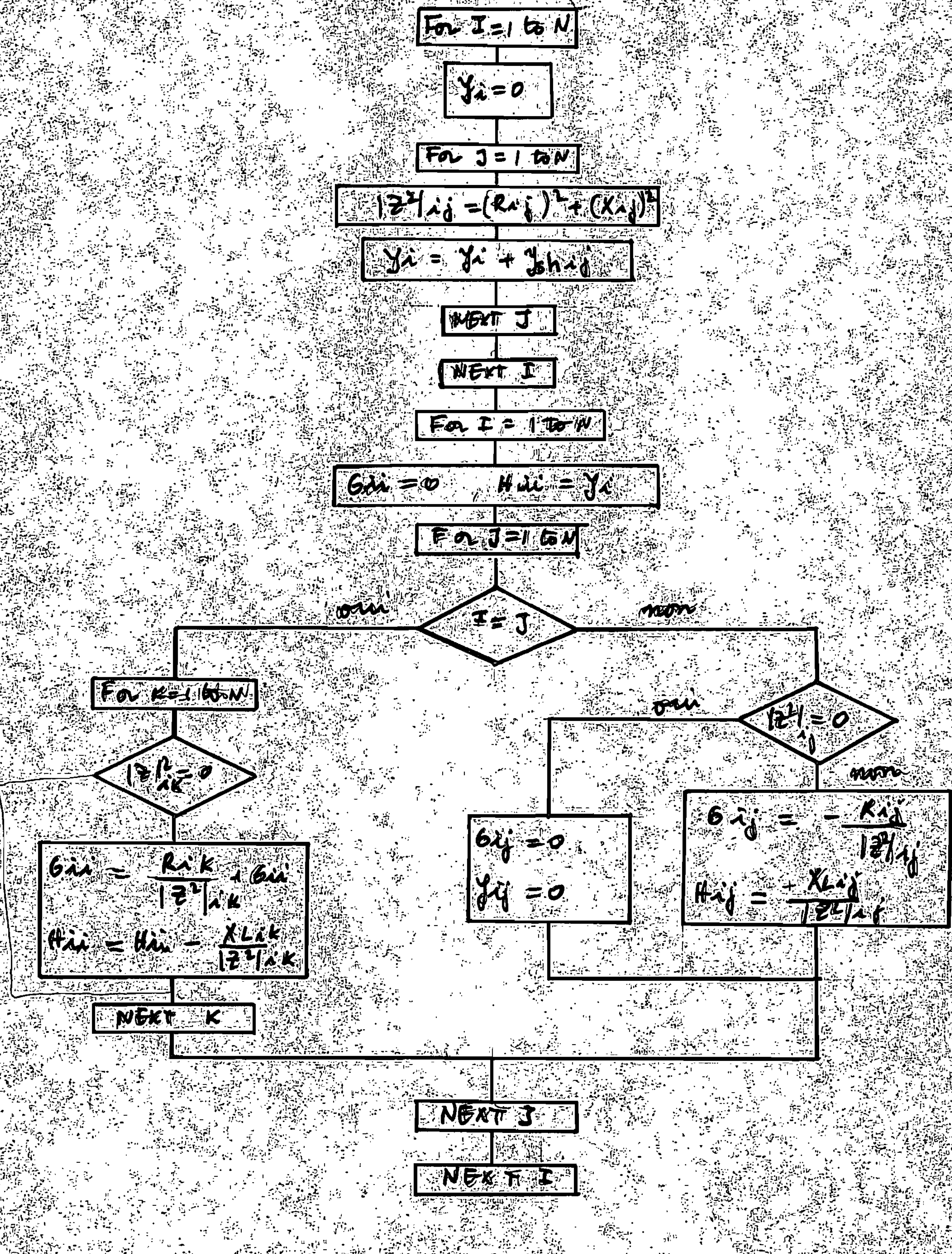
$|V_{barre}|$ désigne le vecteur des tensions ou voltages de barres calculé par rapport au noeud de la référence. Il faut remarquer que le retour du courant injecté se fait par rapport à la terre que nous noterons barre zéro (0)

ALGORITHME de Ybarre

1 / Les éléments diagonnaux sont obtenus comme étant la somme de l'admittance nodale au noeud considéré et des diverses lignes qui lui sont connectées .

2 / Les éléments non diagonaux sont les admittances (négatives) des lignes reliant l'ordre de la colonne à celle de la ligne . Ainsi la valeur de l'élément (Y_{ij}) est nulle si j et i ne sont pas connectés

Il est bon de remarquer que cette construction de la matrice des admittances suppose que la référence du systéme est la barre zéro c'est à dire la terre



Formation de la matrice Ybare.

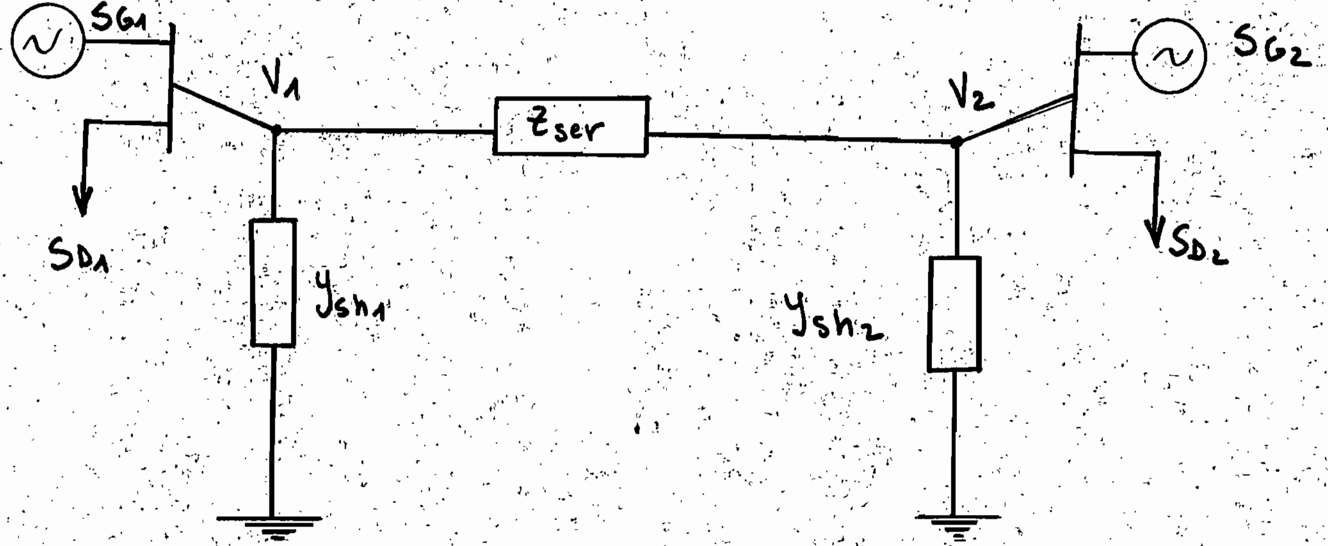
L'examen de la matrice des amittances nous montre

i) Que les éléments sont de la matrice sont des complexes

ii) Que la matrice est symétrique et possède dans la réalité de nombreux éléments nuls (ceci du fait que dans la réalité seuls les neuds proches sont connectés les entre eux)

iii) Du fait que l'on a une admittance nodale non nulle pour chaque noeud on peut trouver le vecteur V_{barre} en résolvant l'équation matricielle précédente

Cette puissance est injectée dans la barre par une "source de puissance barre " représentée par la figure suivante



Réseau à deux barre

Les puissances injectées sont

$S_1 = (P_1 + jQ_1) = [(P_{g1} - P_{d1}) + j(Q_{g1} - Q_{d1})]$ et

$S_2 = (P_2 + jQ_2) = [(P_{g1} - P_{d1}) + j(Q_{g1} - Q_{d1})]$

En agissant sur le couple moteur de la génératrice , on établit un équilibre entre la puissance active générée et la puisance active demandée plus les pertes de transmission .

Le critére essentiel à respecter étant l'amplitude des barres constante .

Pour le circuit précédent on a une continuité du courant équivalent au rapport de la puissance injectée et de la tension aux noeuds

Ainsi si S^* désigne le conjugué de la puissance apparente S on a

Chap 2 INTRODUCTION SUR LA MODELATION DES RESEAUX ELECTRIQUES

Le rôle essentiel d'un réseau électrique est de pourvoir les puissances actives et réactives demandées par les équipements variés qui y sont connectés .

La plupart des réseaux actuels sont des réseaux maillés. Le maillage présente plusieurs avantages qui entre autre sont

- La continuité de l'alimentation
- Synchronisation de la production et de la fréquence
- Réserve commune à tous le réseau
- Réduction des longueurs des cables, fiabilité ect ..

2.1 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Considérons un systéme de distribution à deux barres alimentés par des unités de production qui génèrent chacune les puissances respectives S_{G1} et S_{G2} .

Supposons également que les demandes au niveau de chaque barre soient S_{d1} et S_{d2},et que les deux barres soient connectées par une ligne de transmission représentée par son modéle PI avec comme impédance série Z et comme admittances shunt ou parrallele Yshi

Prenons V_1 et V_2 comme étant les tensions aux barres et considérons un niveau de puissance nette S_i ou i={1,2} est défini comme étant la différence entre la production et la consommation de puissance à la barre considérée .

$$\frac{S^{*}_{1}}{V1^{*}} = V_1 Ysh_1 + \frac{(V_1-V_2)}{Zser}$$

et

$$\frac{S_2^{*}}{V_2^{*}} = V_1 Ysh_2 + \frac{(V_2-V_1)}{Zser}$$

Zser et Ysh désignent les paramétres de la ligne joignant 1 et 2

2.2.0 ECOULEMENT STATIQUE DES CHARGES

2.2.1 Formulation des équations d'écoulement des charges

Dans le cas général , la relation d'injection de puissance de toute barre i d'un réseau électrique à N noeuds s'écrit

$$Si^{*} = P_i - jQ_i = V_i^{*} I_i$$

D'ou

$$I_i = (S_i^{*}/V_i^{*}) = (P_i - jQ_i)/V_i^{*} \qquad (2.1)$$

Dans lequel Ii est positif lorsque entrant dans le systéme .

Dans la formulation des équations du systéme, si chacun des éléments shunt par rapport à la terre sont inclus dans la matrice paramétrique , alors la relation (2.1) est le courant total de barre .

Dans le cas contraire, si les éléments shunt n'ont pas étés inclus le courant total de la barre i s'obtient par :

$$I_i = \frac{(P_i - jQ_i)}{V_i^*} - Y_i V_i \qquad (2.2)$$

Dans lequel Y_i est le total des admittances shunt connectés à la barre i, V_i^* est la tension et le terme $Y_i V_i$ est le courant circulant à la terre .

Le membre de gauche de la relation (2.1) peut être remplacé par l'expression (2.2) écrite en fonction des éléments de la matrice de noeud . On obtient alors la relation :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_1 . Y_{i1} + V_2 . Y_{i2} + V_3 . Y_{i3} + \ldots + V_n . Y_{in} \qquad (2.21)$$

En Réarrangeant , on obtient

$$P_i - jQ_i = V_i^* [V_1 . Y_{i1} + V_2 . Y_{i2} + V_3 . Y_{i3} + \ldots + V_n . Y_{in}] \qquad (2.22)$$

Que l'on peut compacter par

$$\boxed{P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^{N} V_j Y_{ij}} \qquad \text{S.L.F.E}$$

Qui dans la littérature est la forme la plus répandue de l'écoulement des charges (SLFE) dans laquelle :

$P_i = P_{gi} - P_{di}$

$Q_i = Q_{gi} - Q_{di}$

Connaissant le profil des tensions du systéme , le courant sortant de la barre i et s'écoulant dans la ligne ij (de i vers j) à partir des composantes du *modéle* PI s'écrit :

$I_{ij}=(V_i-V_j).Y_{ij}+V_i(Y'_{ij}/2)$

Le premier produit du membre de gauche exprime une valeur série et le deuxiéme une valeur shunt ou parralléle .

Y_{ij} est l'admittance série de la ligne ij

Y'_{ij} est l'admittance de charge totale de cette même ligne .

L'écoulement de puissance apparente (S_{ij}) s'écrit alors :

$$S_{ij}=P_{ij}-jQ_{ij}=V_i.I_{ij}=V^*_i(V_i-V_j)Y_{ij}+V^*_iV_i\frac{Y'_{ij}}{2} \qquad (2.3)$$

Dans cette équation P_{ij} et Q_{ij} sont respectivement les puissances actives et réactives s'écoulant dans la ligne ij .

Par similitude des écoulements de puissance de j à i on a :

$$S_{ji}=P_{ji}-jQ_{ji}=V_j.I_{ji}=V^*_j(V_j-V_i)Y_{ij}+V^*_jV_j\frac{Y'_{ij}}{2} \qquad (2.4)$$

La puissance complexe perdue dans la ligne ij due à la transmission est obtenue en faisant la somme al gébrique des écoulements des puissances déterminées par les équations (2.3) et (2.4) .

<u>Développement des équations d'écoulement de ligne</u>

considérons le noeud numéro 1 comme la référence du réseau , avec un module de tension V_1 et une phase $\theta_1=0$.

Pour toute autre tension du réseau , on peut écrire

$$V_i=v_ie^{j\theta_i}=v_i(\cos\theta_{ij}-j\sin\theta_{ij})$$

comme

$$V^*_i = v_i \angle -\theta_i \quad \text{et que} \quad V_j = v_j \angle \theta_j$$

et

$$V^*_i = v_i v_j \angle -\theta_{ij} = v_i v_j (\cos\theta_{ij} - j\sin\theta_{ij})$$

(expression ou θ_{ij} désigne $\theta_i - \theta_j$)

on a en écrivant en écrivant la matrice des admittance sous forme de partie réelle et partie immaginaire de la maniére suivante :

$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij}$

et en remplaçant dans la relation (SLFE)

En applicant (2.21) à (2.22) on a

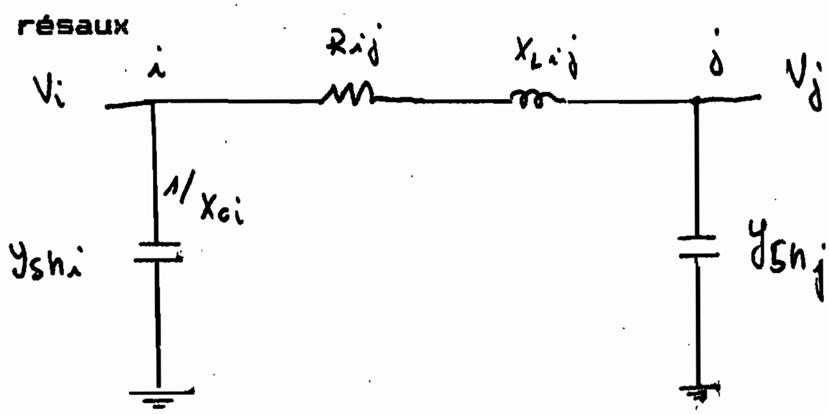
Par comparaison des deux expressions et en égalant parties réelles et parties imaginaires des deux membres de l'Equation d'Ecoulement des Charges ,on a comme expression de la puissance active et réactive

$$P_i = P_{gi} - P_{di} = v_i \sum_{j=1}^{N} v_j \, G_{ij} \cos\theta_{ij} + B_{ij} \sin\theta_{ij} \qquad (2.5)$$

au même noeud :

$$Q_i = Q_{gi} - Q_{di} = v_i \sum_{j=1}^{N} v_j \, G_{ij} \sin\theta_{ij} - B_{ij} \cos\theta_{ij} \qquad (2.6)$$

Considérons à présent le schéma suivant représentant une partie du résaux



Pour l'impédance de ligne Zser de la ligne joignant i et k on a :

$Zser = Z_{ik} = R_{ik} + jX_{ik}$

et son admittance nodale y_i

$$y_i = \sum_{j=1}^{n} Ysh_j = j \frac{1}{Xc_i}$$

On peut alors écrire la forme équivalente de Y_{ij}

$$Y_{ij} = \begin{cases} j \dfrac{1}{Xc_i} + \displaystyle\sum_{k=1}^{n} \dfrac{R_{ik} - jX_{ik}}{|Z_{ik}|^2} & \text{si } i=j \\ \dfrac{R_{ik} - jX_{ik}}{|Z_{ik}|^2} & \text{si } i \# j=k \end{cases}$$

P_{Li} et Q_{Li} respectivement les pertes actives au noeud i

et P_{ij} et Q_{ij} celles liées à la transmission de l'énergie à travers la ligne ij (écoulement positif de i --> j)

Les relations (25) et (26) peuvent alors être décomposées en :

$$P_i = P_{Li} + \sum_{j=1}^{N} P_{ij}$$

$$Q_i = Q_{Li} + \sum_{j=1}^{N} Q_{ij}$$

En remplaçant Y_{ij} par son expression pécédente , les termes de notre équation deviennent:

- Pour les puissances actives

$$P_{Li} = |Z_{ii}|^{-2} R_{ii} v_i^2$$

$$P_{ij} = |Z_{ij}|^{-2}(R_{ij} v_i^2 - R_{ij} v_i v_j Cos(\theta_{ij} + X_{ij} v_i v_j Sin(\theta_{ij})$$

- Pour les puissances réactives on a

$$Q_{Li} = |Z_{ii}|^{-2} X_{ii} v_i^2$$

$$Q_{ij} = |Z_{ij}|^{-2}(X_{ij} v_i^2 - X_{ij} v_i v_j Cos(\theta_{ij} - R_{ij} v_i v_j Sin(\theta_{ij})$$

Pour l'ensemble du réseau les pertes actives et réactives totales sont données respectivement par

$$P_L = \sum_{i=1}^{N} P_i = \Sigma P_{Li} + \Sigma^{NL} P_{ij}$$

et

$$Q_L = \sum_{i=1}^{N} Q_i = \Sigma Q_{Li} + \sum_{j=1}^{NL} Q_{ij}$$

En résolvant on trouve pour l'expression des pertes actives liées uniquement à la transmission

$$P_{LT} = \Sigma (v_i^2 + v_j^2 - 2 v_i v_j Cos(\theta_{ij}) . R_{ij} / |Z_{ij}|^2$$

Et pour l'expression des pertes réactives liées toujours à la transmission .

$$Q_{LT} = \Sigma (v_i^2 + v_j^2 - 2 v_i v_j Cos(\theta_{ij}) . X_{ij} / |Z_{ij}|^2$$

Caractéristiques des équations d'écoulement des charges

En observant la relation (SLF.6) on constate :

i) Les équations sont algébiques , car elles représentent un systéme en régime permanent

ii) Les équations sont non linéaires donc difficilement solvables de facon analytique . On utilise en pratique les méthodes du calcul numérique

iii) Pour chaque équation de barre on peut écrire deux équations simultannées en séparant parties réeles et parties immaginaires

Ce qui pour un réseau de N barres donne 2N équations du même type que (2.5) et (2.6) contenant 6N variables qui sont .

(N)	- Les modules des tensions	Vi
(N)	- Les phases des tensions	i
(N)	- Les puissances actives générées	Pgi
(N)	- Les puissances réactives générées	Qgi
(N)	- Les puissances actives demandées	Pdi
(N)	- Les puissances réactives demandées	Qdi

Par conséquent il s'agit de réduire le nombre d'inconnes de 6N à 2N en spécifiant 4N variables pour que nombre d'équations et nombre d'inconnues soient égales , et que l'on puisse résoudre .

Les 4N inconnues qui sont généralement spécifiées sont

2N variables 'demande' Pdi et Qgi (clientéle)

2N autres variables par barre dépendemment de leur type

- On spécifie V_1 et θ_1 pour la référence du systéme
- Pgi et Vi pour les barres de contrôle de voltage
- Pgi et Qgi pour les barres PQ

Contraintes sur les variables

Pour être acceptables sur le plan pratique , les variables spécifiées doivent être à l'intérieur de certaines limites :

- Les modules des tensions Vi au niveau de chaque noeud sont comprises entre des valeurs maximales et minimales ceci pour des raisons diverses (sécurité limitations technologiques ect..)
La tolérence permise est en général de 5%

- Les mêmes contraintes s'appliquent pour les phases des tensions ou des angles de tranfert maximals sont à considérer

- Les limitations physiques des génératrices donnent pour les puissances générées aussi des bornes de production inférieures et supérieures.

2.2 ETUDE DES LIGNES EN REGIME PERMANENT

L'un des états les plus importants dans un réseau électrique est son fonctionnement en régime permanent

Comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent,les points de production sont reliés au points de consommation par l'intermédaire des lignes de transmission .

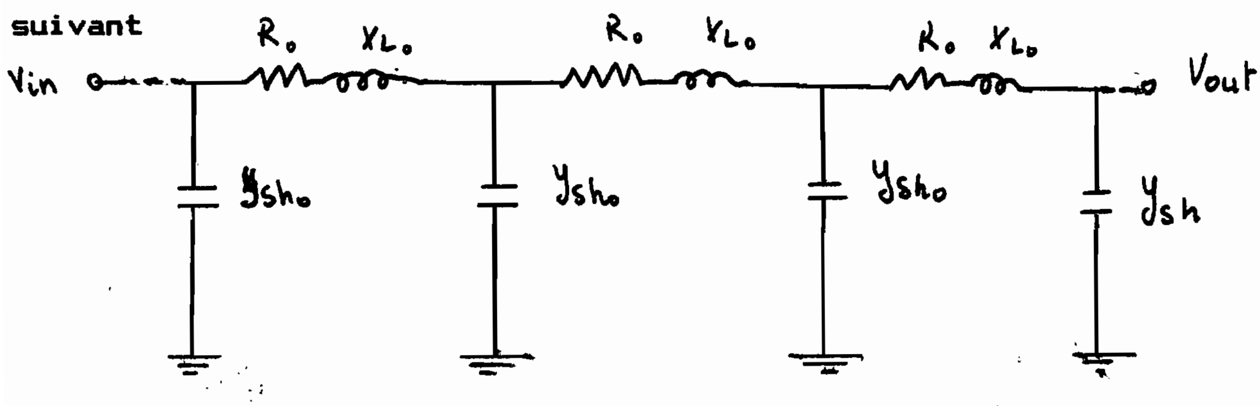
Dans le fonctionnement des lignes en régime permanent les paramétres électriques les plus importants sont :

- Sa résitance R (que nous noterons Res)
- Sa réactance inductive Xl
- Sa réactance capacitive Y_{sh}

Ces paramétres sont pour une ligne donnée exprimmés par unité de longueur .

La question est :Connaisant les paramétres d'une ligne ainsi que sa longueur de savoir comment se comporte une ligne dans des conditions normales d'opération . Pour tenter de répondre à cette question des modéles représentant des lignes de longueur arbitraire ont été développés .

Ces modéles cadrent parfaitement avec la réalité . Le modéle général de représentation d'une ligne de transmission est le suivant



Son impédance est Z=(R + jXl) et son admittance Y=j/Xc

.Suivant les modéles il existe trois types de lignes : Ce sont les lignes courtes , le lignes moyennes et le lignes longues .

a) <u>La ligne courte</u>

Elle est caractérisée par une longueur inférieure ou égale à quatre vingts kilométres .

Pour une pareille ligne nous considérerons l'effet capacitif comme négligeable .On ne tient compte que de l'effet inductif et de la résistance du conducteur

Son circuit équivalent est le suivant :

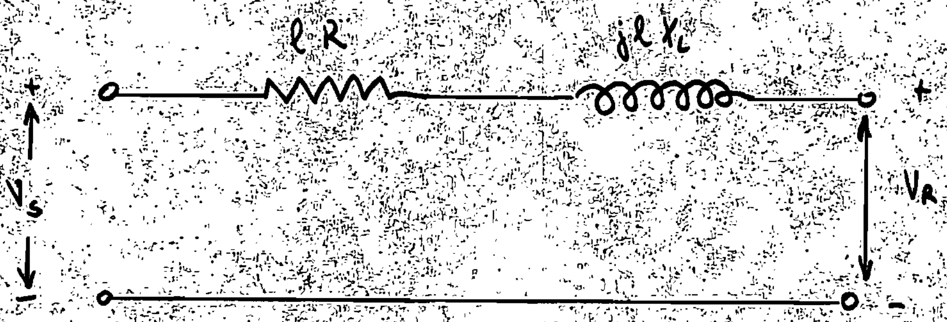


schéma équivalent ligne courte

Les paramétres d'une ligne courte sont R et Xl

- R est la résistance du conducteur exprimée en ohms par kilométre

- Xl est la réactance inductive de la ligne dans les mêmes unités.

b) <u>Lignes de longueur moyenne</u>

Dans de pareilles lignes ,l'effet capacitif n'est plus négligeable et On doit en tenir compte dans notre modéle .

Cet effet capacitif sera pris en compte en en ajoutant au modéle précedent deux condensateurs identiques placés à la sortie et à l'entrée de la ligne .

Son schéma équivalent devient le suivant :

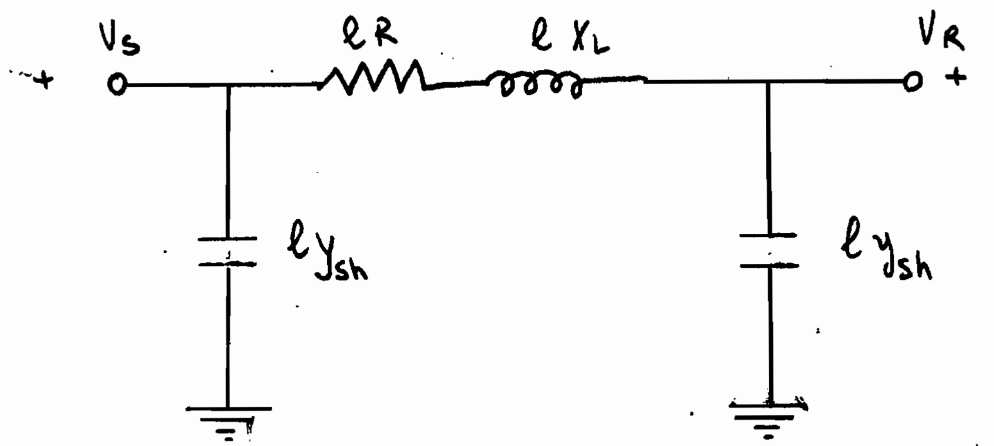


Schéma équivalent ligne moyenne

- R est la résistance du conducteur (exprimmée en ohm par kilométres)
- Xl est sa réactance inductive (meme unités)
- Y est l'admittance de la ligne en général exprimmée en microsiemens par kilométres

L'impédance du conducteur par unité de longueur devient alors

Z=(R+jXl) et son admittance Y=(G+jwC) .

G est la conductance de la ligne exprimmée en microsiemens par kilométre et représente les pertes due a l'effet couronne et aux imperfections de l'isolation. Dans la majorité des cas elle est négligée .

Quant à la variable C, elle représente la capacitance du conducteur en microfarads par kilométres .

La réactance capacitive est reliée à sa capacitance par la relation Xc=1/wC avec comme valeur de w, 60 ou 50 hertz selon que l'on soit dans un pays Nord Américain ou pas .

c) <u>Les lignes longues</u>

Ce sont les lignes de longueur L supérieure à qatre cents kilométres .

Les approximations effectuées jusque là ne sont donc plus valables .

Ces approximations sont :

i) Le courant parcourant la ligne est le même partout

ii) Les chutes de tension causées par l'impédance de ligne sont constantes tout au long de la ligne

iii) L'effet capcitif est uniformémment distribué le long de la ligne .

Cependant pour des lignes longues , ces hypothéses ne seront plus valables .

Un modéle mathématique est développé à partir des équations différentielles fondamentales des lignes et dont voici les principaux résultats :

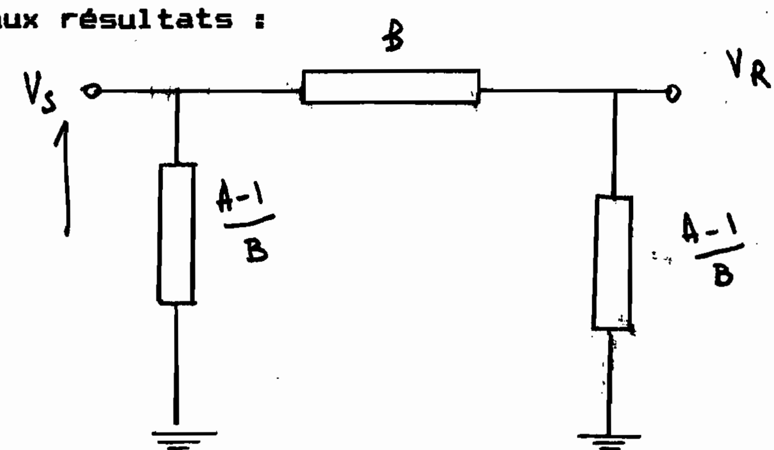


Schéma équivalent ligne longue

Z est l'impédance totale de la ligne et Y son admittance shunt.

Ce modéle est identique au modéle ligne moyenne avec cependant la valeur des paramétres qui différe : On a en effet Z=B et Ysh=(A-1)/B

Chap 3 METHODES NUMERIQUES DE RESOLUTION DES EQUATIONS D'ECOULEMENT DES CHARGES EN REGIME PERMANENT

3.1 PRESENTATION ET CHOIX DE LA METHODE

En observant la relation qui caractérise l'écoulement statique des charges (équation numéro S.L.FE) on constate

a) Que nos équations sont algébriques ,

b) Les équations sont non linéaires ; d'ou la necessité de méthodes de résolutions numériques sur micro ordinateur

c) On observe également que les courants interviennent trés peu dans les équations ,et que contrairement à ce qui se passe dans la plus part des cas on a ici nos tensions qui sont reliées non pas aux courants mais aux puissances .

d) Pour chaque équation de barre on peut noter que l'on a deux équations suppémentaires en séparant parties réelles et partie immaginaires .

Pour résoudre les équations d'écoulement statique des charges , un grand nombre de solutions numériques sont disponibles . Ce sont en gros

- La méthode de GAUSS
- La méthode de GAUSS-SEIDEL
- La méthode de relaxation ou des résidus
- La méthode de NEWTON-RAPHSON

Ces méthodes étant itératives ,la procédure de résolution est alors présentée comme étant la suivante :

i / Supposer une solution initiale des variables

ii / Utiliser cette solution conjointement avec la relation étudiée pour obtenir une deuxiéme et meilleure solution

iii / Cette deuxiéme solution est utilisée pour obtenir une troisiéme ect... la procédure se poursuivant jusqu'a l'obtention d'une différence (entre deux termes consécutifs) suffisamment petite.

A ce moment on considére notre solution comme étant la valeur approchée du résultat recherché.

Parmi les diverses méthodes de résolution passées en revue de facon trés sommaire une seule a été retenue et sera utilisée dans la résolution du probléme posé :

Il s'agit de la méthode de NEWTON RAPHSON .

Cette méthode posséde sur les autres les avantages suivants :

_ La convergence est plus rapide (pour une solution initiale bien choisie) que les autres méthodes de GAUSS ou GAUSS SEIDEL

_ La méthode de NEWTON est facilement formulable en utilisant l'approche matricielle (qui dans un grand réseau est la plus appréciable)

_ La formulation permet de tenir en considération tout type de noeuds d'un réseau, et donc est plus réaliste ;

_ La méthode présente également egalement l'avantage de pouvoir être utilisée à la résolution de nombreux problémes qui contituent ausi des péocupations dans l'analyse des réseaux :
Ce sont les détections des courants de fautes , le dispatching économique ,le calcul des impédances de court circuit ect...

- Il faut aussi noter que malgré des itérations plus longues la solution par NEWTON donne un nombre d'itérations plus faible

3.2 METHODE DE NEWTON RAPHSON

3.2.1 Position du probléme

Considérons une équation de la forme F(X)=0 , ou F est une fonction vectorielle et X le vecteur à trouver . En écrivant l'équation précédente sous forme d'un dévellopement en série de TAYLOR au voisinage d'une solution Xs on a :

$$F(Xs)=F(Xs)+\frac{1}{1!}\,\frac{dF(Xs)}{dX}(X-Xs)+\frac{1}{2!}\,\frac{d_2F(Xs)}{dX^2}\,(X-Xs)^2+\cdots$$

Dans cette relation les autres termes s'écrivent sous la forme générale

$$F(Xs) = \frac{1}{n!} \frac{d^2F(Xs)}{dX^n} (X-Xs)^n + \dots$$

En négligeant les termes d'ordre supérieurs a l'unité on a alors

$$F(Xs) = F(Xs) + \frac{1}{1!} \frac{dF(Xs)}{dX} (X-Xs)$$

Soit encore en dévelopant et en posant $J = \dfrac{dF(Xs)}{dX}$

Que $Xs = X - J^{-1} F(Xs)$

Cette équation est utilisée pour trouver Xs de maniére itérative : on obtient

$$Xs^{(k+1)} = X^{(k)} - J^{-1(k)} F(Xs^{k})$$

Ou l'indice supérieur désigne l'ordre d'itération .

La matrice J est une matrice carrée de meme dimension que X et F et qui contient les dérivées partielles

$(J)_{ij} = (\delta F_i/\delta X_j)X_{(n)}$ ou i et j désignent respectivement l'indice de ligne et l'indice de colonne de la matrice J .

Cette matrice J n'est autre que le jacobien de l'équation (*).

Les éléments de F_i peuvent ainsi être utilisés pour obtenir l'équation F(Xs)=F(Xs) + J(X-Xs) sous forme scalaire .

<u>Remarque</u>

La formule d'itération de NEWTON RAPHSON peut s'écrire $\delta X^{(n)} = J^{-1}F^{n}$ ou $\delta X^{(n)}$ est la valeur de X à l'itération d'ordre n J^{-1} désigne à ce moment l'inverse du Jacobien et $F^{(n)}$ désigne $F(X^{(n)})$

2/ <u>Application de la méthode aux équations d'écoulement de puissance</u>

Nous avons précédemment vu que la puissance que la puissance apparente en une barre pouvait se décomposer en une partie réelle δP_i et une partie immaginaire δQ_i telle que

$$\delta P_i = \mathrm{Re}\ \{[-(\text{ligne } i\ Y_{barre})V_{barre}\ ]^{*}\ V_i \} + P_i$$

pour la puissance active et

$$\delta Q_i = \mathrm{Im}\ \{[-(\text{ligne } i\ Y_{barre})V_{barre}\ ]^{*}\ V_i \} + Q_i$$

pour la puissance réactive ou les termes Re et Im représentent respectivement la partie réelle et la partie imaginaire l'astérisque en exposant la partie conjuguée de l'expression considérée , P_i et Q_i les injections de puissance actives et réactive au noeud I

La suite de la formulation consiste à présent a trouver V_{barre} pour que les termes en δP et δQ représentant la différence de la puissance spécifiée à la puissance calculée tendent vers zero .

Il faut remarquer que P_i et Q_i sont spécifiées à toutes les barres sauf à la référence .

Si on considére δP_i et δ_i comme étant des fonctions vectorielles de V_{barre} on peut alors écrire :

$\delta P_i = F_p(V_{barre})$ et $\delta Q_i = F_q(V_{barre})$ ou l'indice de F reféré au terme puissance active P ou réactive Q considéré .

En appliquant la méthode de NEWTON à F_p et à F_q et en remarquant que la puissance est liée aux angles des voltages de barre et que la puissance réactive est liée aux modules des tensions , nous pouvons écrire

$\delta P_i = F_p(\theta, |V|)$ et $\delta Q_i = F_q(\theta, |V|)$

Dans toute la suite du probléme nous considérerons le vecteur voltage sous sa forme séparée (module,phase) .

On aura ainsi le vecteur V_{barre} qui s'écrira $[\theta, |V|]^t$ notre relation va alors s'écrire

$$\begin{vmatrix} \theta \\ \\ |V| \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \theta \\ \\ |V| \end{vmatrix} - J^{-1} \begin{vmatrix} F_p(\theta_{(k)}, |V|_{(k)}) \\ \\ F_q(\theta_{(k)}, |V|_{(k)}) \end{vmatrix}$$

Ou J^{-1} est l'inverse du jacobien J évalué à l'itération k

La matrice J s'écrit alors sous la forme

$$J = \begin{vmatrix} \dfrac{\delta F_p}{\delta(\theta)} & \dfrac{\delta F_q}{\delta(\theta)} \\ & \\ \dfrac{\delta F_p}{\delta(\theta)} & \dfrac{\delta F_q}{\delta(\theta)} \end{vmatrix}$$

Dans cette matrice chaque terme représente une sous matrice carée composée des dérivées partielles de la puissance active et de la puissance réactive au noeud consideré

Sauf bien entendu à la reférence

Ainsi la matice $J_1 = \dfrac{\delta F_p}{\delta(\theta)}$ s'écrit

$$J_1 = \begin{vmatrix} \dfrac{\delta P_2}{\delta(\theta_2)} & \dfrac{\delta P_2}{\delta(\theta_3)} & \cdots & \dfrac{\delta P_2}{\delta(\theta_n)} \\ \dfrac{\delta P_3}{\delta \theta_2} & \dfrac{\delta P_3}{\delta \theta_3} & \cdots & \dfrac{\delta P_3}{\delta(\theta_n)} \\ \cdots & & \cdots & \\ \dfrac{\delta P_n}{\delta(\theta_2)} & \dfrac{\delta P_n}{\delta(\theta_3)} & \cdots & \dfrac{\delta P_n}{\delta(\theta_n)} \end{vmatrix}$$

Cette matrice est obtenue en prenant comme référence la barre 1. Les autres sous matrices sont alors defines de la même manière , en écrivant les relations fixant δP_i et δQ_i en fonction de $|V|$ ou de θ .

La matrice des admittances Y_{barre} etant une matrice à elément complexes , nous pouvons decomposer tout composant de cette matrice en son module et son déphasage . On arrive ainsi a ecrire notre matrice sous la forme d'une somme de deux matrices du meme ordre .

L'utilisation de cette forme de la matrice Y_{barre} permet de simplifier considérablement l'expression des divers éléments de nos équations .

On écrit alors

$$(Y_{barre})_{ij} = |Y_{ij}| \angle \beta_{ij}$$

Ou $|Y_{ij}|$ est le module de l'élément $(Y)_{ij}$ et β_{ij} son déphasage

Les dérivées partielles s'écrivent donc

$$\begin{cases} J_1(i,i) = \dfrac{\partial P_i}{\partial \theta_i} = \sum\limits_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^{N} v_i v_j |y_{ij}| \sin(\theta_i - \theta_j - \beta_{ij}) \\ J_1(i,K) = \dfrac{\partial P_i}{\partial \theta_K} = - v_i v_K |y_{iK}| \sin(\theta_i - \theta_K - \beta_{iK}) \qquad (K \neq i) \end{cases}$$

$$\begin{cases} J_2(i,i) = \dfrac{\partial P_i}{\partial v_i} = -\sum\limits_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^{N} v_j |y_{ij}| \cos(\theta_i - \theta_j - \beta_{ij}) - 2 v_i |y_{ii}| \cos\theta_{ii} \\ J_2(i,K) = - v_i |y_{iK}| \cos(\theta_i - \theta_j - \beta_{ij}) \qquad (K \neq i) \end{cases}$$

$$\begin{cases} J_3(i,i) = \dfrac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} = -\sum\limits_{j \neq i = 1}^{N} v_i v_j |y_{ij}| \cos(\theta_i - \theta_j - \beta_{ij}) \\ J_3(i,K) = \dfrac{\partial Q_i}{\partial \theta_K} = v_i v_K \cos(\theta_i - \theta_K - \beta_{iK}) \qquad (K \neq i) \end{cases}$$

$$\begin{cases} J_4(i,i) = -\sum\limits_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^{N} v_j |y_{ij}| \sin(\theta_i - \theta_j - \beta_{ij}) - 2 v_i |y_{ii}| \sin(-\beta_{ii}) \\ J_4(i,K) = \dfrac{\partial Q_i}{\partial v_K} = - v_i |y_{iK}| \sin(\theta_i - \theta_K - \beta_{iK}) \qquad (K \neq i) \end{cases}$$

Par soucis de commodité on utilise P_i et Q_i a la place de ΔP_i et de ΔQ_i ainsi , $\dfrac{\partial P_i}{\partial i}$ doit etre considérée comme étant la dérivée partielle de la différence (spécifiée - calculée) de la puissance active

Le Jacobien s'écrit alors

$$J = \begin{vmatrix} J1 & J2 \\ & \\ J3 & J4 \end{vmatrix}$$

RESUME

nous pouvons donc en conclusion à cette étude ennoncer la procédure de resolution des systémes de puissance par la methode de NEWTON RAPHSON de la maniére suivante :

1/ Lecture des données de lignes de notre réseau (resistances , réactances...)

2/ Lecture des puissances actives et réactives consommés

3/ Former la matrice des admittances Y .

4/ Initialiser modules et déphasage des tensions de barres .

5/ Calculer les fonctions F_p et F_q qui representent les différences des puissances calculées aux puissances spécifiées.

6/ Tester les variations de F_p et de F_q

* Si les variations sont petites , aller à l'étape 8/

** Autrement procéder à l'étape 7/

7/ Résoudre $^t[(\theta),(|V|)]=-J^{-1}[F_p(\theta,V)\ ,\ F_q(\theta,V)]$

8/

i) Mettre à jour les valeurs du vecteur cherché : Pour cela faire $^t[\theta,V]^{(k+1)} = {}^t[\theta,V]^{(k)} + [\delta(\theta),\delta(V)]^{(k)}$

Ici encore l'orde de l'itération est en indice supérieur entre parenthéses)

ii) Aller à l'étape 4/

9/ Nous avons ici convergence des itérations : on calcule donc :

a) l'écoulement de ligne ,

b) les puissance actives et réactives à la référence

c) les pertes en puissances ect...

10/ On imprime les résultats obtenus

11/ STOP (Fin du programme)

<u>REMARQUES</u>

Dans le calcul du Jacobien ,il faudra remarquer les choses suivantes

1/ La barre de reference n'apparait pas dans le calcul des lignes des matrices J1 et J2 . Cela est du au fait que l'on a pas de termes en ΔP_1 representant la difference puissance specifiée et puissance calculée .

2/ Les mêmes raisons appliquées au terme en ΔQ_1 donnent le même résultat pour les matrices J3 et J4 .

3/ Pour les colonnes de l'ensemble des sous matrices utilisées le résultat précédent est à nouveau valable

En résumé nous avons donc la Référence de notre systéme qui n'apparait nulle part dans l'expression de la matrice J de notre jacobien .

Nous pouvons donc conclure

a) La ligne 1 du Jacobien correspond à la barre numéro 2

b) La ligne 2 du Jacobien correspond à la barre numéro 3

c) La ligne (N-1) du Jacobien correspond à la barre numéro (N-1)

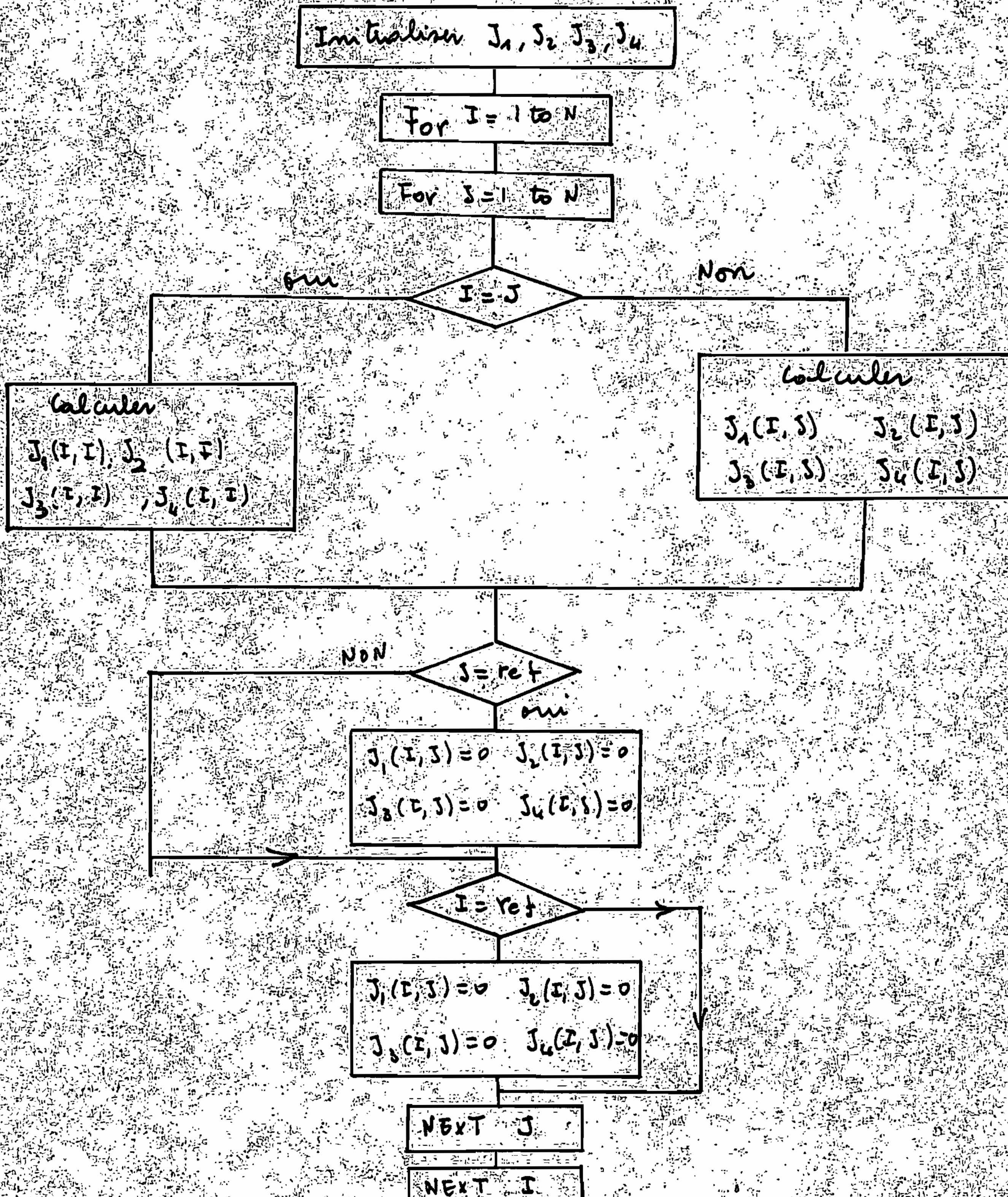
d) Les colonnes du jacobien correspondent aux barres 2 à n d'aprés la même correspondance .

Le jacobien devient alors pour un réseau de N noeuds ou de barres de dimension (N-1)x(N-1)

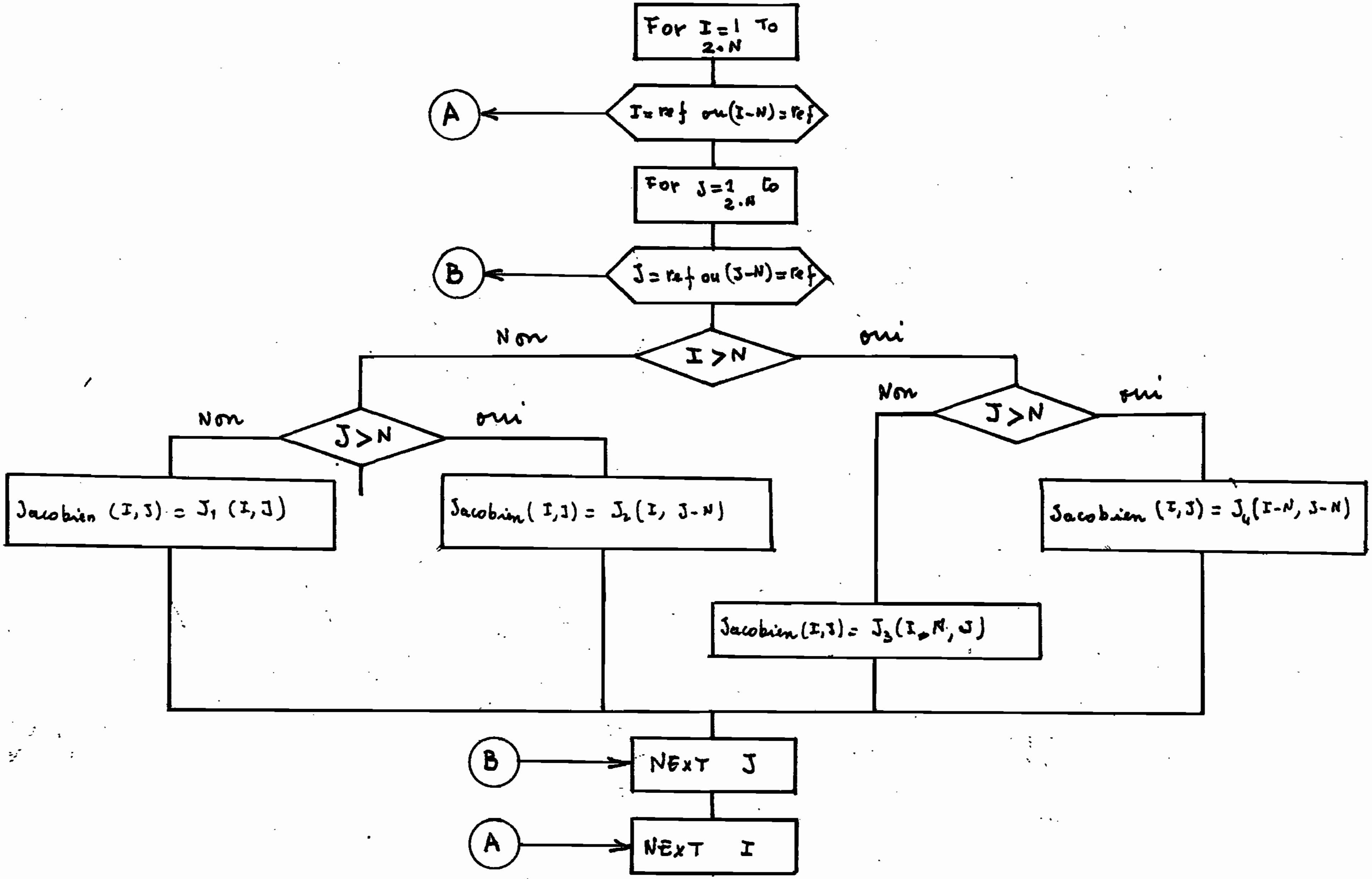
Il est à noter aussi que lors du calcul de la correction $[\theta, |V|]^t$ que la correspondance ligne/barre pour ce vecteur 2(N-1) est la même que celui du jacobien .

Une précaution particuliére est cependant à prendre lors du calcul des nouvelles tensions .

L'organigramme de calcul du jacobien est illustré à la page suivante .



Calcul des sous matrices J_1, J_2, J_3, J_4



Formation du Jacobien

3.3 CONSIDERATIONS SUPPLEMENTAIRES

Le modéle considéré jusqu'a date est une version simplifée des réseaux tels q'étudiés dans la réalité .

Dans cette partie nous nous proposons d'étudier les conditions d'opération réelles et les diverses modifications à amener à notre modéle .

3.3.1 Les noeuds de génération de puissance

Les noeuds de génération de puissance sont des barres P.V telles que décrites précédemment , ou la turbine maintient la puissance générée fixe et les regulateurs de tension fixent le module de la puissance à la valeur désirée .

Pour un générateur synchrone nous avons la representation suivante :

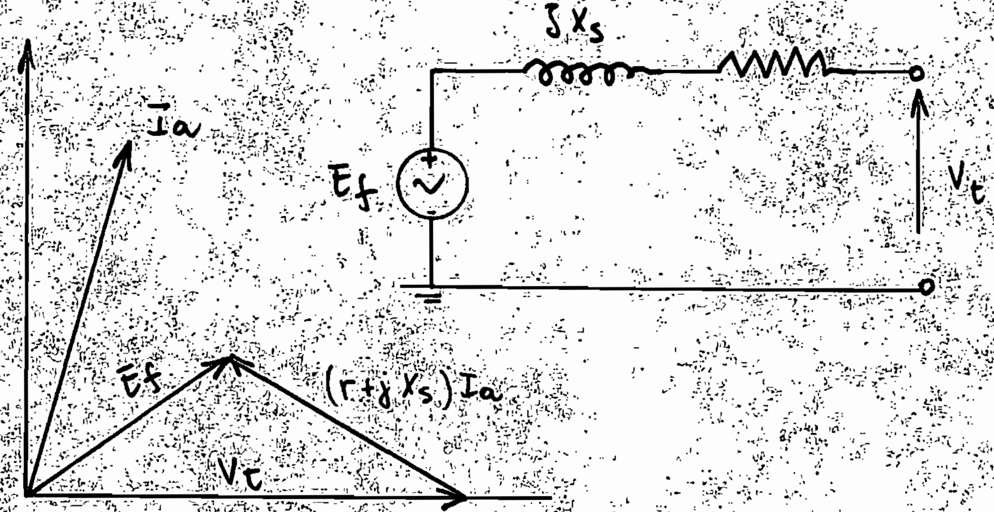


Diagramme de phase d'un générateur

D'aprés la figure précédente on s'aperçoit que pour augmenter le module de la tension V_t (noté $|V_T|$) il faut augmenter le courant d'armature de telle sorte que le courant augmente aussi Dans les conditions de puissance générée constante , l'angle de transfert diminue légérement ,mais la phase du courant I_a subit une " rotation " de telle sorte que l'angle du facteur de puissance ϕ augmente .

On a donc plus de puissance reactive injectée dans le noeud en question .Les limitations du controle de $|V|$interviennent alors du fait des limitations dans le courant d'armature (et donc de la puissance reactive Q) .

En général le générateur injecte la puissance réactive Q dans le noeud , ceci du fait de l'existance de pusieurs charges à facteur de puissance trés bas .

La limitation évidente concerne donc la limite supérieure du courant d'armature . Dans le cas ou la génératrice absorbe de la puissance reactive , le courant d'armatuture doit être réduit . Les limitations sont alors dans cette région de deux sortes

i) Limites de la valeur maximale de $|I_a|$

ii) Limites de stabilité associées à $|I_a|$ minimal .

Une approche simplifiée du controle des génératrices consiste donc à imposer une limite supérieure pour la puissance réactive

Pour notre barre PV la différance δQ_i de la puissance réactive spécifiée à celle calculée n'est pas évaluée du fait que l'on a pas de puissance réactive spécifiée à cette barre $Q^{générée}$ est une inconnue.

Cependant on doit avoir que la puissance générée Q de la machine doit "égaler l'écoulement de puissance réactive dans les lignes augmente de la puissance réactive consommée au noeud dont il est question :

$$Q_{gen}=Q+\sum_{j=1}^{N}V_i.V_j[G_{ij}Sin(\theta_i-\theta_j)-H_{ij}Cos(\theta_i-\theta_j)] \quad (5)$$

La relation suivante que nous appelerons (5) doit être vérifiée pour toute génératrice i du réseau à étudier .

L'origine des limites de Q provient essentiellement des limitations du courant d'armature de la tension et des conditions de stabilité en régime d'opération du générateur . Dépendamment de la réalisation ou non de la relation (5) , on classe les noeuds en trois catégories ou sous ensembles notés I,J,K .

- Le sous ensemble I est celui où la relation (5) est satisfaite .
- Le sous ensemble J correspond à une puissance réactive Q_{gen} inférieure à Q_{min} .
- Le sous ensemble K lui est celui ou Q_{gen} > Q_{gen}

On commence par corriger les noeuds du sous ensemble K ou J en fixant la valeur de Q_{gen} à la valeur la plus proche de du sous ensemble considéré :

$$Q_{[k]} = Q_{[k]min} \text{ d'où } \delta Q_{[k]} = Q_{max} - Q_{[k]spec} .$$

Le meme resultat appliqué au sous ensemble J donne

$$Q_{[j]} = Q_{[j]min} \text{ d'où } \delta Q_{[j]} = Q_{spec} - Q_{[j]min} .$$

Dans les deux cas on a l'indice entre crochets qui donne le sous ensensemble de la Puissance générée.

La contrainte V_i fixée est alors abandonné pour les sous ensembles J et K .

Dés lors V et Q changent de rôles comme constante et inconnues , et notre barre devient donc une barre de type (1) i.e. une barre P,Q ou les itérations se poursuivent jusqu'a ce que Q_{gen} tombe dans des limites acceptables .

A ce moment notre barre devient à nouveau de type (2) i.e. une barre P,V , la valeur de la tension trouvée est maintenue comme étant la nouvelle valeur V_{spec} fixe et les itérations continuent alors mais pour le déphasage θ jusqu'a convergence .

3.3.2 BARRES DE MAINTIENT DU VOLTAGE

Ces noeuds sont utilisés pour maintenir le voltage d'un noeud qui est généralement un noeud de consommation à une valeur constante spécifiée .

Cette technique est aussi utilisée pour controler le voltage dans le systéme .
Ces noeuds sont en général composés de transformateurs speciaux contrairement au cas précedent ou on avait des génératrices .

Dans la methode de NEWTON RAPHSON telle qu'étudiée dans les pages antéreures il n'a pas fait état de ce type de noeuds . Les modifications à apporter sont

1/ Au niveau des impédances : l'impédance des transformateurs doit être additionnée à celle des lignes de transmission

2/ Au niveau du Jacobien on a également des modifications à cause de l'introduction d'une variable supplémentaire qui est le rapport de contrôle ou en anglais 'Tap position 'dont la variation se situe en général entre 5% et 8% du voltage à controler .

Il apparait donc dans la formulation du Jacobien de nouveaux termes qui sont

$$J_5(i,i) = \frac{\delta P_i}{\delta t_i} \quad , \quad J_5(k,i) = \frac{\delta P_k}{\delta t_i}$$

$$J_{\delta}(i,i) = \frac{\delta Q_i}{\delta t_i} \quad , \quad J_{\delta}(k,i) = \frac{\delta Q_k}{\delta t_i}$$

Dans l'expression de notre vecteur colonne il apparait alors cette inconnue de plus . Une formulation possible pour ce vecteur est alors

$$\begin{vmatrix} \theta \\ |V_{bar}| \\ t \end{vmatrix}$$

Si x_{bcv} est le nombre de barres de controle de voltage dans un réseau de N noeuds , alors notre matrice est repartie de la maniére suivante :

(N-1) premiers éléments du vecteur inconnu sont les angles de phases on a ensuite du rang 2(N-1) à $[2(n-1)-x_{bcv}]$ inclus les barres de controle de voltage

Comme précédemment décrit la relation fondamentale devient

$$\begin{vmatrix} \delta P \\ \\ \delta Q \end{vmatrix} = -J \begin{vmatrix} \delta(\theta) \\ \delta|V_{bar}|| \\ \delta t \end{vmatrix}$$

Où la matrice J contient deux nouveaux éléments J_5 et J_6 et s'écrit

$$J = \begin{vmatrix} J_1 & J_2 & J_5 \\ & & \\ J_3 & J_4 & J_6 \end{vmatrix}$$

L'expression des matrices J_5 J_6 est alors

$$J_5(i,i)=-2t_iV_i^2\,|Y_{ik}|\mathrm{Cos}(\sigma_{ikp})+V_kV_i\,|Y_{ik}|\mathrm{Cos}(\theta_i-\theta_k-\sigma_{ikp})$$

$$J_5(k,i)=V_kV_i\,|Y_{ik}|\mathrm{Cos}(\theta_i-\theta_k-\sigma_{ikp})$$

$$J_6(i,i)=-2t_iV_i^2\,|Y_{ik}|\mathrm{Sin}(\sigma_{ikp})+V_kV_i\,|y_{ik}|\mathrm{Sin}(\theta_i-\theta_k-\sigma_{ikp})$$

$$J_6(k,i)=V_kV_i\,|Y_{ik}|\mathrm{Sin}(\theta_i-\theta_k-\sigma_{ikp})$$

Notre transformateur est relié entre le noeud I et le noeud $|y_{ik}|$ désigne le module de l'élément (i,k) de la matrice des admittances et qui n'est rien d'autre que l'admittance du transformateur .

Il est bon de remarquer que les autres valeurs de J_5 et de J_6 existent pour I et K mais sont nulles partout ailleurs .

L'introduction des barres de controle de voltage n'a pas été faite dans le programme que nous avons realisé . Les rectifications a amener sont decrites dans la partie que nous venons d'étudier .

Nous nous interesserons dans la suite au developpement du programme proprement dit , et aux aux diverses possibilités d'extension qu'il présente

Chap 4 PROGRAMMATION DE LA RESOLUTION DES EQUATIONS D'ECOULEMENT STATIQUE DES CHARGES PAR LA METHODE DE NEWTON

GENERALITES

L'objectif du développement qui suit n'est pas de présenter les divers langages de programmation qui existent actuellement ; le lecteur étant sensé savoir ce qu'est la programmation nous supposerons qu'il connait les différences qui existent entre les langages evolués et les langages bas de gamme les plus utilisés .

Alors qu'il existe trés peu de différences entre les langages evolués du même genre , les langages bas de gamme (assembleurs , machine ect...) différent d'un ordinateur à un autre dépendemment du fabriquant .

Notre objectif étant de faire un programme le plus interactif possible , nous avons dés le début écarté l'utilisation du langage symbolique , qui en plus d'introduire la possibilité de fréquentes erreurs limite l'interactité du programme .

Il présente cependant de nombreux avantages tels que la possibité d'interroger l'horloge interne de l'ordinateur , le décalage de informations dans leur zone , les opérations réalisées au niveau du bit , le déplacement de labels ect...

Les langages évolués permettent quant à eux de programmer grace à de instructions dont la syntaxe est assez proche de celle des langues courantes (Anglais en général) .
Les programmes rédigés en langage évolué sont donc

- Plus aisés de compréhension
- plus faciles à mettre au point
- plus faciles à modifier .
- Il faut également remarquer que les programmes écrit en langage évolué sont plus dispandieux .

4.1 CHOIX DU LANGAGE DE RESOLUTION

Ayant éliminé les langages symboliques (assembleurs en particulier) constitués d'instructions difficiles à lire et utilisant l'ordinateur a un niveau tres élémentaire , nous examinerons par la suite les langages evolués .

Deux grands groupes existent : Les langages compilés et les langages interprétés

1 / Les langages compilés

Ce sont essentiellement , le Fortran , le Pascal , le Cobol ...
Les deux premiers sont de nos jours d'usage plus fréquent et plus applicables à la résolution de problémes numériques .

Tout programme , qu'il soit rédigé en langage symbolique ou non doit être traduit en code machine pour pouvoir être executé , utilisé .Pour les langages compilés cette traduction se fait avec un compilateur .

les compilateurs sont en général relativemnet lent pour faire les traductions de programmes , mais produisent des programmes en code machine optimisés , trés rapides à l'execution

2 / Les langages interprétés

Cette catégorie de langages est essentiellement constitué des divers des différents BASICS existant . Dans les langages interprétés , la traduction du programme en code machine (compilation) se fait lors de l'execution et en plus ligne par ligne .

Nous avons donc plusieurs incovénients associés a cette facon de faire .

- L'exécution du programme est plus lente
- Les erreurs de syntaxe n'apparaissent que lors de l'exécution

Cependant ce langage est plus aisé à comprendre et est moindrement structurée : de nombreux branchements et sauts peuvent être faits sans peine et sans déclarations préalables contrairement aux langages compilés ou tout paramétre utilisé a besoins d'être connu avant utilisation dans une quelconque procédure ou formule.

3 / Langages utilisés

Dans notre programme , le langage utlisé est le basic . Malgrés les limitations précédemment décrites , ce langage est trés intéractif et de plus existe sur tout les ordinateurs .

L'exécution du programme concu est pour un nombre d'itérations fixé d'autant plus long que le nombre de noeuds augmente , et pour un nombre de noeuds de l'ordre de huit (8) on a un temps d'execution assez grand surtout en comparaison aux résultats que donneraient un langage compilé .

Cette difficulté inhérante au temps d'exécution a été contournée par l'utilisasation du compilateur BASIC ce qui nous a permit d'avoir des vitesses d'exécution assez bonnes .

Le programme réalisé a été aussi en partie traduit en PASCAL . Cette traduction a été effectué compte tenu de la limitation des possibités d'utilisation des fichiers en BASIC :

- Les fichiers en basic sont en effet difficiles a mettre a jour
- Les insertions au milieu des fichiers restent impossibles
- L'accés des fichiers est en général séquentiel

Et donc on a une limitation certainne des fichires en BASIC comparé aux autres langages .

La traduction du programme en PASCAL permet a l'utilisateur la possibilité d'avoir une plus grande souplesse dans l'utilisation des fichiers et de pouvoir ainsi étendre le programme à la possibilité de faire une éventuelle optimisation des différentes installation qu'il aura à étudier

4.2 DEVELOPPEMENT DU LOGIGRAMME

Dans cette partie nous examinons en détail le programme ainsi que les divers algorithmes et logigrammes utilisés pour le réaliser .

1 / L'écoulement général des charges

Cette partie constitue la base du programme . Ce programme commence ainsi :

- Lecture de la configuration du réseau

- Lecture des paramétres de ligne

- Lecture des paramétres de noeud

- Initialisation des valeurs d'itération

- Lecture du critére de convergence ou du nombre d'itérations

- Calculs proprement dits (itérations)

a) La lecture de la configuration du réseau consiste consiste à lire le nombre de noeuds du réseau , ainsi que le nombre de lignes reliant ces divers noeuds Le nombre de noeuds du réseau pour des considérations d'ordre pratique est limité a quinze noeuds . Le nombre de lignes correspondant est ainsi (15x14)/2 soit encore

b) La lecture des paramétres de lignes consiste à lire les données électriques des lignes de transmission que sont la résistance , la réactance inductive , la réactance capacitive , et enfin , la puissance maximale d'utilisation
Ces paramétres sont notés comme précédemment indiqué par Res , X1 Ysh et Srat
Dans l'introduction du paramétre Ysh (réactance inductive) une précaution particuliére est à apporter : En effet ce paramétre représente la moitié de la valeur totale des condensateurs de la ligne considérée (voir section 'Lignes de transmission ') .

Les valeurs des paramétres de ligne sont entrés à partir de l'existence ou non de lignes connectées , pour un sommet donné . La procédure est alors la suivante :

- L'extrémité est dabord lue pour un sommet donné

- Les paramétres de ligne sont ensuite lus dans une matrice carré Dans ce cas , le numero de ligne de la matrice correspond à l'origine de la ligne de transmission et celui de la colonne a l'extrémité de la ligne .

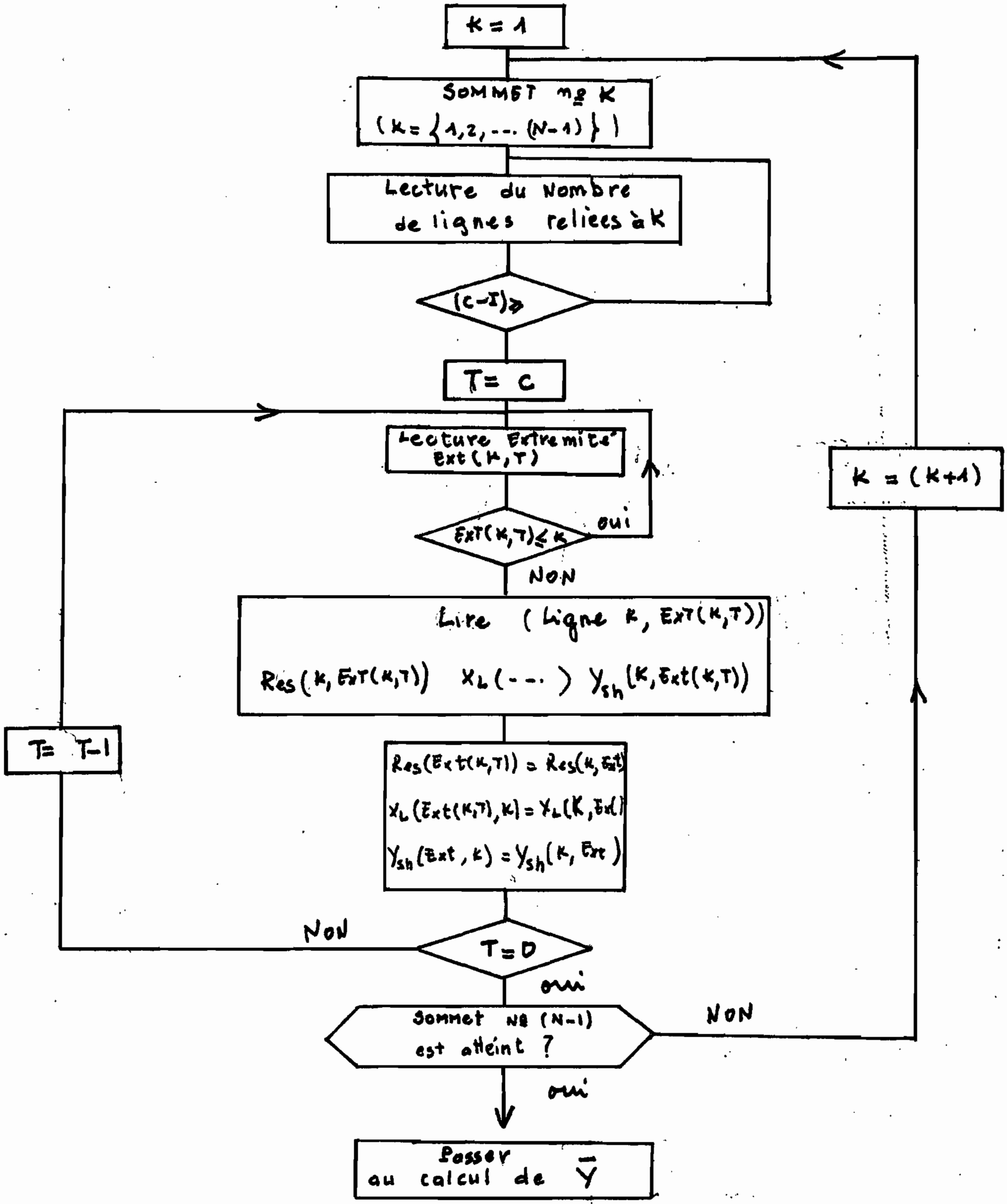
Exemple Res (i,j) voudra dire la resistance de la ligne issue du sommet i et aboutissant en j .

On remarquera bien entendu que Res(i,j)= Res(j,i) . Cette remarque trés importante nous permettra de dimunuer le nombre de paramétres à entrer en lisant pour un noeud donné , les extrémités d'ordre ou d'indice supérieures uniquement . Ceci bien entendu pour tous les sommet origine à l'exeption de la barre indicée ' 1 ' ou notre artifice n'aurait aucune signification .

Ainsi les paramétres de la ligne issue du sommet numéro 2 et aboutissant sommet numéro 7 seront lus une seule fois , lors de l'examen du sommet numéro 2 et ignorés lors de l'examen du sommet numéro 7

Une série de petits artifices et instructions sont insérés à l'intérieur du programme pour éviter que l'usager ne se trompe lors de l'introduction des paramétres .

Il faut encore une fois rappeler que les valeurs à introduire sont converties initialement en systéme par unité , et que les valeurs supérieures à trois (3) seront rejetées parce que considérées comme étant hors plage .



Algorithme de lecture des Paramètres des lignes

c) Lecture des paramétres des noeuds

Ici aussi les données sont introduites en systéme par unité Cette partie du programme marche de la maniére suivante :

- Le noeud de la référence est tout dabord indiqué . Ce noeud doit être fixe pendant toute l'analyse du réseau , et doit présenter une puissance suffisament grande pour pour pouvoir équilibrer les demandes non satisfaites .
Le noeud de la référence étant lu , ils'agit dans un deuxiéme temps de lire les caractéristiques suivantes du réseau .

- Le code de chaque noeud est lu . le code d'un noeud est un numéro qui peut prendre la valeur 1 ou la valeur 2 dépendemment des conditions réelles à représenter . Le code 1 correspond à une barre P,Q (l'équivalent d'un noeud de consommation pur) , et le code numèro 2 à une barre P,V (l'équivalent d'un noeud de génération de puissance) .
Le code de la référence est fixé par nous comme étant 0 , et demeure le seul code nul de tout le réseau : Le programme est fait de telle sorte qu'un autre code ne puisse pas être entré .

- Aprés avoir introduit le code , l'utilisateur doit introduire la tension de barre des différents noeuds du réseau qu'il veut étudier . Il s'agit alors de lire les tensions (en module) qui vont ou doivent demeurer constants pendant toute notre analyse .

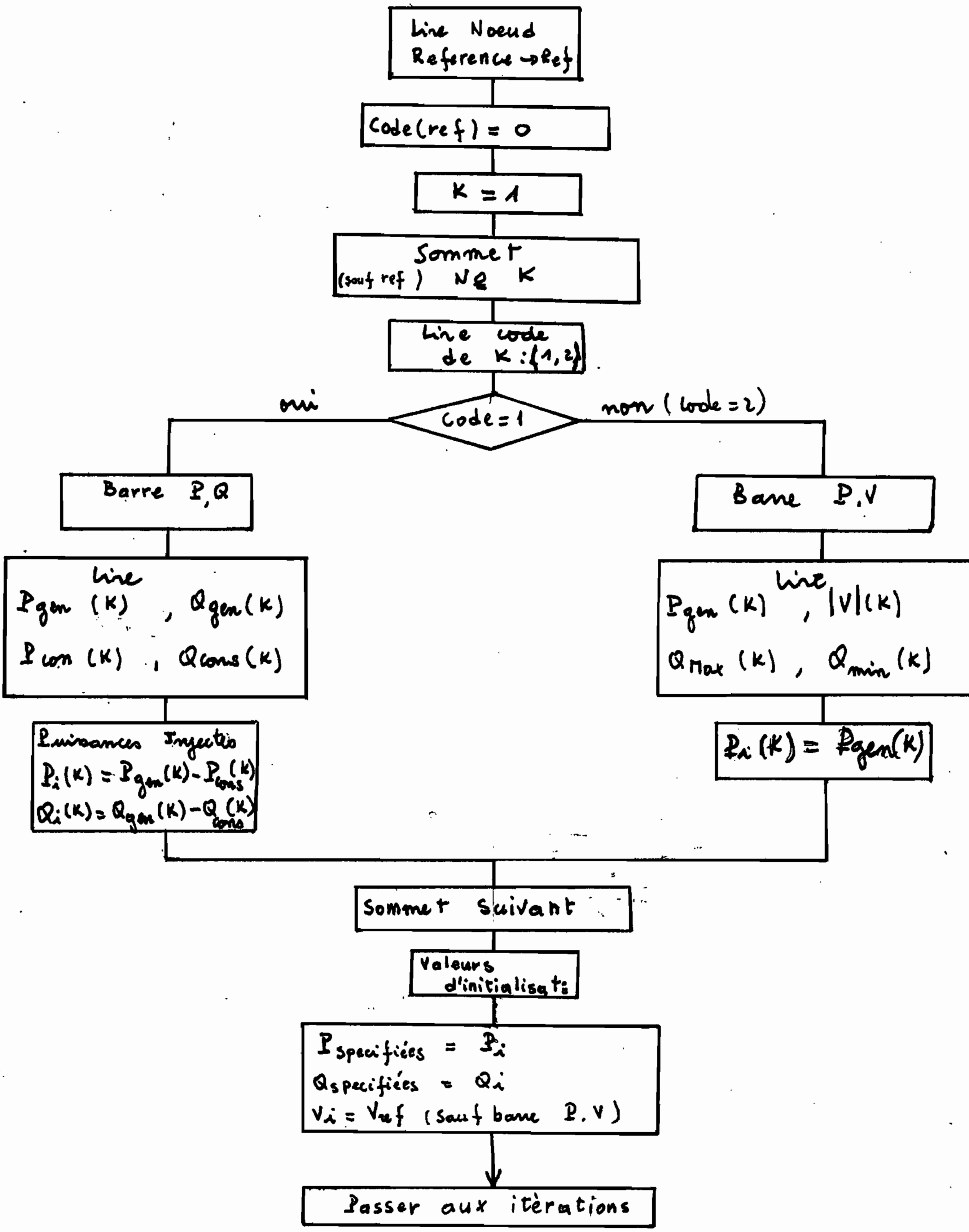
Ces noeuds ou les tensions doivent rester constantes sont comme nous l'avions prévu lors de l'étude des divers types de barres du réseau les noeuds de génération et le noeud de la référence .

- L'introduction du déphasage aussi se fait pour certains noeuds . Ces noeuds sont les mêmes que ceux précédemment décris , à la différence prés que le déphasage tension courant est pris pour la référence comme étant nul , et que celui des noeuds de type '2 ' est une inconnue et peut ne pas être introduite .

- Les puissances consommées au niveau de chaque noeuds sont aussi à introduire par l'usager du programme . Ces puissances comprennent la puissance active et la puissance réactive pour toute les barres du réseau , y compris la référence .Ces deux données que nous venons de citer comme toutes les autres données du réseau sont aussi introduites en systéme par unité .

- Les puissances générées constituent enfin les derniéres données à être introduites . Comme on peut s'en rendre compte lors de l'utilisation du programme , il s'agit de donner pour les noeuds de type 2 la puissance active générée et les limites de génération des puissances réactives que nous notons Qmin pour la puissance réactive minimale et Qmax pour la puissance réactive maximale du générateur étudié

. Les explications relatives à l'origine de Qmin et Qmax sont données plus haut Initialisation des valeurs d'itération



Lecture des paramètres de Noeud.

Dans cette partie , l'usager a à introduire les paramétres d'initialisation . Ces paramétres sont trés importants et constituent la solution de départ du processus itératif .

De leur choix judicieux va dépendre la convergence ainsi que la rapidité du processus itératif .
Ces valeurs sont

- Le module de la tension
- Son déphasage (en degré cette fois ci)
- La puissance spécifiée active
- La puissance spécifiée réactive

Cependant,pour les barres de type 2,la puissance réactive spécifiée ne sera pas lue ,et la puissance active spécifiée sera prise comme étant la puissance du générateur pendant toute la durée des calculs . Cette étape d'initialisation ne concerne en définitive que les paramétres à inconnus de notre réseau .
Dans la pratique , on utilise comme solution de départ du processus d'itération les mêmes valeurs de tension que la référence du systéme avec des déphasages tension-courant nuls

e) L'étape suivante concerne le choix du processus itératif .
Deux choix sont possibles :
- Calcul suivant un nombre maximal d'itérations : A ce moment l'ordinateur compte le nombre d'itérations qu'il fait , et le compare à la valeur demandée par l"usager . Les calculs seront terminés si les deux valeurs sont égales .

- L'autre possibilité est le calcul en utilisant la précision demandée pour les calculs . Cette précision epsilon est introduite par l'usager du programme .

Le calcul se fait de la maniére suivante : Le calcul des écarts de puissance est dabord effectué (différence entre puissances spécifiées et puissance calculées),puis la valeur la plus grande des écarts de puissance active et réactive est comparée à la valeur à laquelle nous avons fixé la précision des calculs . Si la valeur calculée est inférieure à notre précision epsilon , alors le processus itératif prend fin et les écoulements de puissance sont calculés ,sinon le processus itératif continue .

e) Calculs proprement dits

Cette étape concerne les différents calculs effectués par notre programme . L'organnigramme de calcul est établi à la page suivante à partir de la méthode de NEWTON RAPHSON .

Cette partie du programme se fait sans intervention de l'utilisateur jusqu'a convergence des résultats .Il apparait à l'écran le nombres ou l'ordre des itérations , ce qui permet à l'utilisateur de pouvoir suivre le bon déroulement de ses calculs .

Le temps de calcul peut être trés long dépendemment de la solution initiale ainsi que du degré de précision requi par l'usager du programme

Le developpement de chacune de ces parties du logigramme est donné en annexe , avec les listing de programme correspondants .

2 / Etude de cas particuliers du programme

Aprés avoir calculé pour un réseau donné les différents paramétres de l'écoulement des charges , le programme se poursuit en analysant les cas de figure suivants :

- Analyse des pannes de génératrices du réseau
- Analyse des modifications des paramétres de ligne

L'usager peut donc choisir d'examiner ces différents cas ,ou sortir du programme .

a) Modifications des paramétres de ligne

Plusieurs cas de figure sont examinés ce sont :

i) Coupure de lignes de transmission

lorsqu'une ligne de transmission est coupée , la matrice des admittances change certaine de ces valeurs : Du fait que cette matrice a ses éléments non diagonnaux qui représentent la valeur de l'admittance de certaines lignes , on aura à la place d'un élément donné la valeur zéro si la ligne de transmission connectant les noeuds représentés par ligne et par colonne de la matrice n'existe pas ,ou est coupée . Nous aurons par exemple , si la ligne joignant le noeud i et le noeud j est coupée ,que son représentant dans la matrice Y_{barre} situés à la ligne i (resp à la ligne j) et à la colonne j (resp à la colonne i) sera nul

L'influence d'un quelconque changement dans la matrice des admittances change alors tout nos résultats précedents : puissances injectées , profil des voltages ,écoulement dans les ligne ect ..

Dans le programme il est possible de modifier la matrice des admittances en procédant de la maniére suivante

- Soit nous ajoutons à la matrice , et à la place des éléments concernés les valeurs opposées des admittances des lignes de transmission coupées , ce qui a pour effet de les annuler .

- Soit encore annuler directement les paramétres des lignes affectée et reprendre ainsi le calcul de la matrice des admmittances . Cette méthode présente l'inconvénient d'être plus longue .

ii) Changement des paramétres des lignes existantes

Cette partie du progamme sert à changer les paramétres des lignes . Pour une raison ou pour une autre (erreurs dans l'introduction des données , changement des lignes existantes) il peut y avoir un besoin de changer les paramétres d'une ou de plusieurs lignes .

Le programme procéde alors en cas de désir de changer les paramétres de ligne à une lecture des nouveaux paramétres à partir desquels se fera le nouveau calcul des paramétres de barre .Pour ce faire l'origine de la ligne et son extémité sont lus , ainsi que les nouveaux paramétres de barre .

iii) Changement du nombre de noeuds du réseau

Pour simplifier le programme cette procédure renvoit au début du programme procédent ainsi à une réintroduction de tous les paramétres

b) Génératrices en panne

Lorsqu'une génératrice tombe en panne , son noeud change de numéro de code : Le code de la génératrice en panne (qui était initialement de 2) devient égal à 1 , réduisant ainsi ce noeud à l'équivalent de noeud de transition :On a ni production ni consommation

La puissance générée devient à ce moment nulle , et le module de sa tension n'est plus maintenue à une valeur constante , mais devient une inconnue tout comme les modules de tension ces autres barres .
Ici aussi divers paramétres et artifices ont étés introduits pour éviter que l'usager ne se trompe dans l'introduction des noeuds en panne de production (exemple introduction de noeuds non conformes)

c) Modification de la demande

Au niveau de chaque noeud , la puissance consommée est spécifiée.En cas de modification de la demande soit au niveau d'un noeud ou au niveau du réseau tout entier : Il survient les modifications suivantes

- Les puissances consommées varient (actives et réactives)
- les puissances reactives générées changent aussi pour les génératrices
- et enfin les profils des voltages aux différents noeuds prennent de nouvelles valeurs

D'autres cas particuliers pourraient être introduits dans le programme :Par exemple augmentation du nombre de ligne du réseau étudié ...

Nous n'avons ici voulu esquiser que les cas de figures les plus simples et qui permettent à l'usager de modifier à volonté son réseau pour une éventuelle recherche de l'influence de certains facteurs tels que la tension,la puissance de ligne admissible ect...

CONCLUSIONS

Le programme que nous avons effectué constitue en soit une manière de résoudre les équations d'écoulement des charges d'un réseau électrique de puissance .

Comme tout programme il est perfectible tant qalitativement que quantitativement .

L'analyse des résultats tirés des réseaux de puissance catalogués et dont les résultats sont connus à l'avance ,par notre programme nous permet de dire que ce programme est dans une large mesure utilisable , mais présente l'inconvénient de limiter l'usager à un nombre maximal de noeuds (Quinze).

Les améliorations que nous suggérons afin de disposer d'un meilleur outil sont les suivantes :

1/ Traduction du langage en pascal ou autre langage compilé afin de disposer d'une vitesse d'exécution plus grande (la traduction est en partie amorceé en annexe)

2/ Comme nous avons pour un réseau réel une configuration telle que seules les lignes voisines sont interconnectées ,nous avons pour les matrices des systémes de puissance la possibilité de minimiser la taille des registre de memoire utilisés en stockant uniquement les variables non nulles sous forme de tableau ou elles sont repérées par leur indice de ligne et (ou) de colonne .

3/ Dans le calcul des éléments du Jacobien ; les sommations peuvent être remplacées par des calculs simples ,ceci surtout au voisinnage de la solution (qui pour un réseau existant peut être connu avec une bonne approximation).

Cela présente en outre l'avantage de dimunier le nombre de boucles que l'ordinateur a à effectuer et de réduire considérablement le temps de calcul .

BIBLIOGRAPHIE

[1] B.M.WEEDY   Electric Power Systems , Wiley 1972

[2] C.A.GROSS   Power System Analysis , Wiley 1979

[3] G.T.HEYD   Computer Analysis Methods For Power Systems

[4] A.D.DIARRA   Mémoire sur La Répartition Optimale de La Puissance Réactive Pour le Controle de Barre d'un Réseau Electrique par Simplex LP

[5] BORLAND Inc,   Turbo Tutorial

[6] GREGOIRE   Informatique Programmation
La programmation Structurée
Tome 1 , Masson 1982

[7] CASTELLANI   Méthode Générale d'Analyse d'une application Informatique
Tome 2 ,Masson 1981

[8] SHAN.S.KUO   Computer Applications of Numérical Méthods
Addison-Wesley 1970

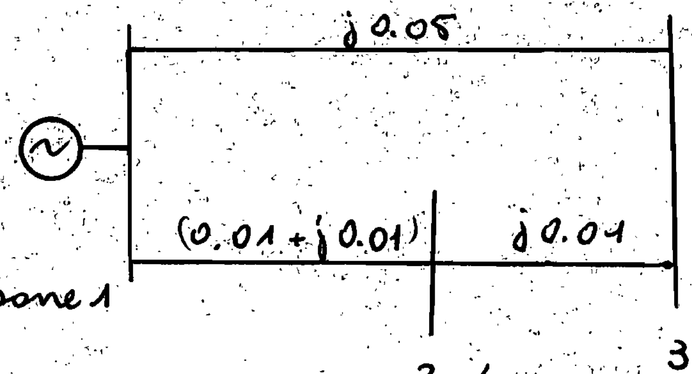
ANNEXES

Annexe 1

Exemple de résolution

Application du programme.

Considérons un système simple de puissance composé de trois barres (3) dont une référence et deux barres P.Q



les admittances de lignes sont écrites sur les lignes considérés. (on suppose les admittances shunt nulles)

soit $V_1 = (1.05 \angle 0)$ en système par unité la tension à la références

Posons $P^2_{cons} = 0,96$, $P^3_{cons} = 3,15$ les puissances actives consommées en (2) et (3) et comme puissance réactive $Q^2_{cons} = -2,07$ $Q^3_{cons} = 2,85$ (par unité)

le vecteur initial solution est choisi comme étant celui composé de V_1 et noté V_{barre} tel que

$$|V_{barre}| = \begin{bmatrix} 1.05 \\ 1.05 \\ 1.05 \end{bmatrix} \qquad \delta_{barre} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

La matrice des admittances $\bar{Y}$ est composée des éléments $Y_{ij} = G_{ij} + jH_{ij}$ tels que

$$y_{ij} = \begin{cases} j\dfrac{1}{X_{ci}} + \sum\limits_{k=1}^{N} \dfrac{R_{ik} - jX_{ik}}{|Z_{ik}|^2} & \text{si } i=j \\ -\dfrac{R_{ik} - jX_{ik}}{|Z_{ik}|^2} & \text{si } i \neq j = k \end{cases}$$

d'où $y_{11} = 0 + \left(\dfrac{0{,}01 - j0{,}01}{|2(0{,}01)|^2} + \dfrac{0 - j0{,}05}{|0{,}05|^2} \right) = 50 - j70$

$y_{12} = -\dfrac{(0{,}01 - j0{,}01)}{|2(0{,}01)|^2} = -50 + j50$

$y_{13} = \dfrac{j0{,}05}{|0{,}05|^2} = j20$

en appliquant les mêmes calculs à la bare 2 et à la bare 3 on obtient la matrice des admittance ci dessous :

$$Y_{bare} = \begin{bmatrix} 50 - j70 & -50 + j50 & 0 + j20 \\ -50 + j50 & 50 - j150 & 0 + j100 \\ 0 + j20 & 0 + j100 & 0 - j120 \end{bmatrix}$$

les variations ΔP_i et ΔQ_i s'écrivent

$$\Delta P_2 = P_i - \sum_{j=1}^{N} |Y_{ij}|\, v_j v_i \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad \text{et}$$

$$\Delta Q_2 = Q_i - \sum_{j=1}^{N} |Y_{ij}|\, v_j v_i \sin(\delta_i - \delta_i\ \theta_{ij})$$

où $|Y_{ij}|$ est le module de l'element (ij) de Y_{bare} et θ_{ij} sa phase.

d'où

$$\Delta P_2 = P_2 - \Big[|Y_{21}| v_1 v_2 \cos(\delta_2 - \delta_1 - \theta_{21}) + |Y_{22}| v_2 v_2 \cos(\delta_2 - \delta_2 - \theta_{22}) + |Y_{23}| v_3 v_2 \cos(\delta_2 - \delta_3 - \theta_{23}) \Big]$$

$$\Delta P_2 = -0,96 - \Big[70,711 (1,05)^2 \cos(0 - 135) + 158,114 (1,05)^2 \cos(0 + 71,565) + 100 (1,05)^2 \cos(0 - 90) \Big]$$

$$= -0,96 - [-50,0 + 50,0 + 0] (1.05)^2 = 0,96$$

$$\Delta Q_2 = Q_2 - \Big[|Y_{21}| v_1 v_2 \sin(\delta_2 - \delta_1 - \theta_{21}) + |Y_{22}| v_2 v_2 \sin(\delta_2 - \delta_2 - \theta_{22}) + |Y_{23}| v_3 v_2 \cos(\delta_2 - \delta_3 - \theta_{23}) \Big]$$

$$\Delta Q_2 = 2,07 - \Big[70,711 (1,05)^2 \sin(0 - 135) + 158,114 (1,05)^2 \sin(0 + 71,565) + 100 (1,05)^2 \sin(-90) \Big]$$

$$= 2,07 - [-50,0 + 150.0 - 100] (1,05)^2 = 2,07$$

de même pour ΔP_3 et ΔQ_3 on trouve

$\Delta P_3 = -3,15$ et $\Delta Q_3 = -2,85$

les P_i et Q_i sont les puissances injectées spécifiées obtenus par différence $(-P_{cons}$ et $P_{gen})_i$ et $(Q_{gen} - Q_{cons})_i$

Pour le Jacobien on a après calcul

$$J = \begin{vmatrix} -165,370 & 110,25 & -52,500 & 0 \\ 110,250 & -132,300 & 0 & 0 \\ 55,125 & 0 & -157,5 & +105,000 \\ 0 & 0 & +105,000 & -126,000 \end{vmatrix}$$

Exemple

$$J_3(2,2) = \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} = -\sum_{\substack{j=1 \\ \neq 2}}^{N} v_2 v_j |Y_{2j}| \cos(\delta_2 - \delta_j - \theta_{2j})$$

$$J_3(2,2) = -\left[v_2 v_1 |Y_{21}| \cos(\delta_2 - \delta_1 - \theta_{21}) + v_2 v_3 |Y_{23}| \cos(\delta_2 - \delta_3 - \theta_{32})\right]$$

$$= (1{,}05)^2 \left[70{,}711 \cos(0 - 135) + 100 \cos(0 - 90)\right]$$

$$= (1{,}05)^2 (50) = 55{,}125$$

$$J_3(2,3) = \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} = v_2 v_3 |Y_{23}| \cos(\delta_2 - \delta_3 - \theta_{23})$$

$$= (1{,}05)^2 \left[100 \cos(0 - 90)\right] = 0$$

comme $J = \begin{vmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{vmatrix}$ et que J ne comprend pas d'éléments en $(1,i)$ du fait que la bone (1) est la référence, on a alors

$J_3(2,2)$ qui correspond à $J(3,1)$ et

$J_3(3,2)$ qui corresspond à $J(4,1)$

nous avons alors à résoudre

$$\begin{vmatrix} -0{,}96 \\ -3{,}15 \\ 2{,}07 \\ -2{,}85 \end{vmatrix} = J \begin{vmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta|V_2| \\ \Delta|V_3| \end{vmatrix}$$

soit encore

$$\begin{vmatrix} \Delta P_i \\ \overline{\Delta Q_i} \end{vmatrix} = J \begin{vmatrix} \Delta\delta \\ \overline{\Delta V} \end{vmatrix}$$

ce qui s'écrit $\begin{vmatrix} \dfrac{\Delta \delta}{\Delta V} \end{vmatrix} = J^{-1} \begin{vmatrix} \dfrac{\Delta P_i}{\Delta Q_i} \end{vmatrix}$ où J^{-1} = inverse J

soit encore

$$J^{-1} = \begin{vmatrix} -0,0087 & -0,0073 & 0,0065 & 0,0054 \\ -0,0073 & -0,0136 & 0,0054 & 0,0045 \\ -0,0069 & -0,0057 & -0,0091 & -0,0076 \\ -0,0057 & -0,0048 & -0,0076 & -0,0143 \end{vmatrix}$$

et $J^{-1} \begin{vmatrix} \dfrac{\Delta P_i}{\Delta Q_i} \end{vmatrix} = J^{-1} \cdot \begin{vmatrix} -0,96 \\ -3,15 \\ 2,07 \\ -2,85 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,0292 \\ 0,0482 \\ 0,0274 \\ 0,0454 \end{vmatrix}$

en soustrayant ces valeurs des termes de l'itération (1) on obtient les valeurs de l'itération 2 qui sont

$$\begin{bmatrix} \delta^{(2)} \\ |V^{(2)}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,02922 \\ -0,04816 \\ 1,02263 \\ 1,00457 \end{bmatrix}$$

les variations de puissances sont alors à l'étape (2)

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\Delta P}{\Delta Q} \end{bmatrix}^{(2)} = \begin{vmatrix} 0,03993 \\ -0,18887 \\ 0,01284 \\ -0,16619 \end{vmatrix}$$

le jacobien est

$$J = \begin{vmatrix} -154,8082 & 102,712 & -50,1536 & -1,9366 \\ 102,7119 & -123,7835 & 1,9024 & 2,9477 \\ 53,2884 & 1,9455 & -155,406 & 102,245 \\ -1,9455 & 2,9611 & 100,499 & -117,877 \end{vmatrix}$$

ainsi $\begin{vmatrix} \dfrac{\Delta \delta}{\Delta V} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,0001818 \\ 0,0017890 \\ 0,0021786 \\ 0,0033082 \end{vmatrix}$ et $\begin{vmatrix} \delta \\ |V| \end{vmatrix}^3 = \begin{vmatrix} -0,029406 \\ -0,04952 \\ 1,020450 \\ 1,00126 \end{vmatrix}$

Les valeurs des écarts de puissance specifiées et calculees sont de l'ordre de 0,001 par unité à la troisième itération ce qui nous permet de dire que la solution à l'itération d'ordre 3 donne une bonne approximation du profil de voltage recherché.

les valeurs obtenues par le programmes sont par ailleurs presques identiques.

L'écoulement dans les lignes ~~et~~ la puissance injecté au noeud de reference est aussi donneé par le programme (voir pages suivantes).

les angles calculés par le programme sont en radian, ceci pour faciliter la comparaison avec les valeurs obtenues

* * * * PARAMETRES ELECTRIQUES DES LIGNES * * * *

Origine	Extremite	RESISTANCE	REACTANCE X1	ADMITTANCE SHUNT	S admissible
1	<----> 3	0	.05	0	5
1	<----> 2	.01	.01	0	5
2	<----> 3	0	.01	0	5

Ecoulement de puissance convergente 2 Iterations necessaires

N.B. La tolerance des calculs est Epsilon = .0011

####### PARAMETRES DE BARRES ########

No NOEUD	CODE	TENSION	ANGLE	Pgen	Q gen	P cons	Q cons
1	-ref-	1.05	0	0	0	0	0
2	1	1.02045	-2.940635E-02	0	2.07	.96	0
3	1	1.001263	-4.995224E-02	0	0	3.15	2.85

######### ECOULEMENT DE PUISSANCES ##########

* * * * PARAMETRES DE LIGNES * * * *

Origine	Extremite	P ligne	Q ligne	S tot ligne
1	<----> 3	1.049886	1.049697	1.484629
3	<----> 1	-1.049886	-.9497391	1.41572
1	<----> 2	3.149716	-6.405171E-04	3.149716
2	<----> 1	-3.059734	9.062234E-02	3.061075
2	<----> 3	2.099106	1.979455	2.885219
3	<----> 2	-2.099106	-1.899529	2.830981

######## PUISSANCES INJECTEES #########

NOEUD	CODE	P injectee	Q injectee	S injectee
1	Ref	4.199601	1.049059	4.328646
2	1	-.960628	2.07008	2.282112
3	1	-3.148992	-2.849268	4.246701

######### BILAN DU RESEAU TOTAL ###########

* * * GENERATION de PUISSANCE * * *

P active * * * Pgen = 0

Q reactive * * * Qgen = 2.07

(Reference non comprise)

* * * Consommation de puissance * * *

P active 4.11
Q reactive 2.85

+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+

* * * * PARAMETRES ELECTRIQUES DES LIGNES * * * *

Origine	Extremite	RESISTANCE	REACTANCE X1	ADMITTANCE SHUNT	S admissible
1	<----> 3	0	.5	0	5
1	<----> 2	.01	.01	0	5
2	<----> 3	0	.01	0	5

Ecoulement de puissance convergente 3 Iterations necessaires

N.B. La tolerance des calculs est Epsilon = .001

******* PARAMETRES DE BARRES ********

No NOEUD	CODE	TENSION	ANGLE	Pgen	Q gen	P cons	Q cons
1	-ref-	1.05	0	0	0	0	0
2	1	1.001667	-3.020588E-02	0	2.07	.96	0
3	1	.9733985	-6.123486E-02	0	0	3.15	2.85

********* ECOULEMENT DE PUISSANCES **********

* * * * PARAMETRES DE LIGNES * * * *

Origine	Extremite	P ligne	Q ligne	S tot ligne
1	<----> 3	.1250942	.1646944	.2068159
3	<----> 1	-.1250942	-.1452961	.1917277
1	<----> 2	4.14968	.9732632	4.262287
2	<----> 1	-3.984915	-.8084947	4.066105
2	<----> 3	3.024905	2.87847	4.1756
3	<----> 2	-3.024905	-2.704704	4.057768

******** PUISSANCES INJECTEES *********

NOEUD	CODE	P injectee	Q injectee	S injectee
1	Ref	4.274778	1.137961	4.42365
2	1	-.9600051	2.069973	2.281753
3	1	-3.15	-2.849993	4.247936

********* BILAN DU RESEAU TOTAL ***********

* * * GENERATION de PUISSANCE * * *

P active * * * Pgen = 0

Q reactive * * * Qgen = 2.07

(Reference non comprise)

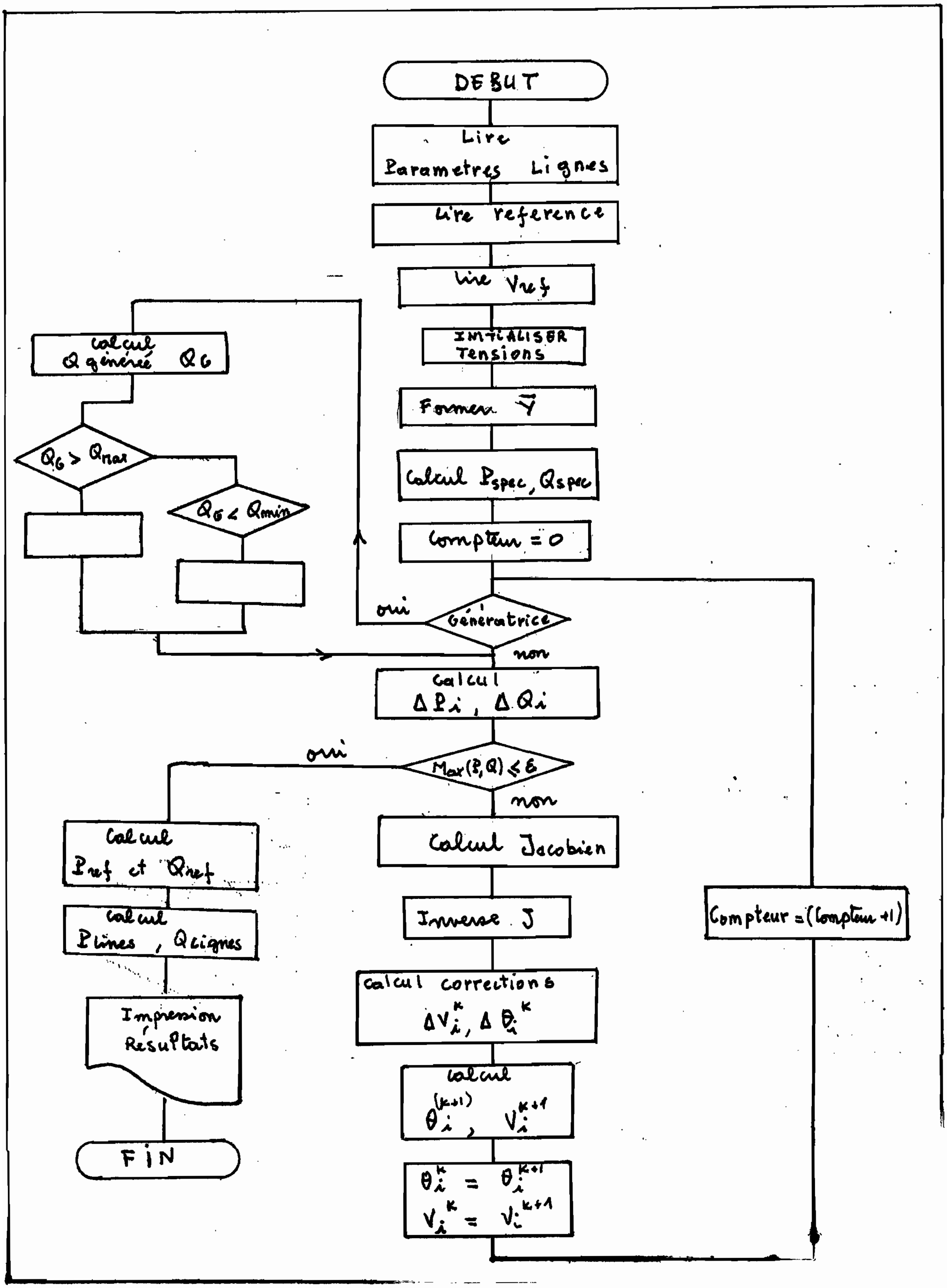
* * * Consommation de puissance * * *

P active 4.11
Q reactive 2.85

+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+

Annexe 2

Listing des programmes



DEBUT
Lire Parametres Lignes
Lire reference
Lire Vref
INITIALISER Tensions
Former Y
Calcul Pspec, Qspec
Compteur = 0
Génératrice
oui
non
calcul Q généré QG
QG > Qmax
QG < Qmin
calcul ΔPi , ΔQi
Max(P,Q) ≤ ε
oui
non
Calcul Jacobien
Inverse J
calcul corrections ΔVik, Δθik
calcul θi(k+1), Vik+1
θik = θik+1
Vik = Vik+1
Compteur =(Compteur +1)
Calcul Pref et Qref
calcul Plignes , Qlignes
Impression Résultats
FIN

```
10  REM *******************************************************************
20  REM *                                                                 *
30  REM *          ECOULEMENT DE PUISSANCE DANS UN RESEAU ELECTRIQUE      *
40  REM *                                                                 *
50  REM *                         EN REGIME PERMANENT                     *
60  REM *                                                                 *
70  REM *******************************************************************
80  REM *   Auteur OUSMANE AGNE    Directeur  A.D.DIARRA  Professeur      *
90  REM *******************************************************************
100 REM
110 REM *******************************************************************
120 REM *                  DIMENSIONS DES MATRICES UTILISEES              *
130 REM *******************************************************************
140 DIM EXT(20,20),YSH(20,20),RES(20,20),XL(20,20),SRAT(20,20)
150 DIM CO(20),TEMOIN(20),P(20,20)
160 DIM PGEN(20),QMAX(20),QMIN(20),TENS(20),Q(20,20)
170 DIM ANG(20),PSPEC(20),QSPEC(20),PCONS(20),N(20)
180 DIM ZCAR(20,20),Y(20),YRE(20,20),YIM(20,20),QCONS(20)
190 DIM PCAL(20),QCAL(20),DELTAP(20),DELTAQ(20),QGEN(20)
200 DIM J1(20,20),J2(20,20),J3(20,20),J4(20,20),JACOB(40,40)
210 DIM MATPQ(40),UPDATE(20),S(20,20),SCAL(20)
220 REM ********************************************************************

230 PI=3.141592654# : WIDTH "lpt1:",132
240 CLS
250 ITER=0
260 GOSUB 480
270 GOSUB 1180
280 COMPTEUR=0
290 GOSUB 1910
300 GOSUB 2060
310 GOSUB 2330
320 GOSUB 2610
330 IF ITER=1 THEN GOTO 350
340 IF ABS(MAX)>EPSILON THEN GOTO 360 ELSE GOTO 440
350 IF COMPTEUR <KMAX THEN GOTO 360 ELSE GOTO 440
360 GOSUB 3020
370 GOSUB 3870
380 GOSUB 4190
390 GOSUB 4330
400 GOSUB 4630
410 COMPTEUR=(COMPTEUR+1)
420 GOSUB 4470
430 GOTO 320
440 GOSUB 4860
450 GOSUB 6420
460 GOSUB 5190
470 GOTO  6000
480  PRINT
490 REM *******************************************************************
500 REM *          LECTURE DU NOMBRE DE NOEUDS ET DE LIGNES DU RESEAU     *
510 REM *******************************************************************
520 REM
530 LOCATE 20,15 :PRINT "( LE NOMBRE DE NOEUDS MAXIMAL EST FIXE    15 ) "
540 LOCATE 5,15 :INPUT"ENTREZ LE NOMBRE DE NOEUDS DU RESEAU A ETUDIER   ",N
550 LET R = N * (N-1)/2 :CLS
560 IF N=1 THEN CLS : GOTO 530
570  LOCATE 25,10 :PRINT "( LE NOMBRE MAXIMAL DE LIGNES DU RESEAU EST",R;")"
580  LOCATE 10,15 :INPUT "ENTREZ LE NOMBRE DE LIGNES DU RESEAU   " ,A
590  IF A=0 THEN CLS: GOTO 530
600  LET R = N * (N-1)/2  :IF A>R THEN BEEP : LOCATE 23,18 :PRINT "ERREUR !" : L
OCATE 10,52 : PRINT "         " : GOTO 580
610 REM *******************************************************************
620 REM *     LECTURE DES PARAMETRES ELECTRIQUES DES LIGNES DU RESEAU     *
630 REM *******************************************************************
640 NS=0
650 FOR I=1 TO N :CLS
660 IF NS=>A THEN 1130
670 IF TROMPE=1 THEN TROMPE=0 : CLS
680 LOCATE 1,35 : PRINT "SOMMET NO   " ;I
690 IF I=1 THEN GOTO   720
700 LOCATE 23 : PRINT "EXCLURE LES LIGNES ";
710 FOR K=1 TO (I-1):PRINT K;"-";I;"  ";:NEXT K
720 LOCATE 7,15 : INPUT " COMBIEN DE LIGNES SONT RELIEES A CE NOEUD ?    ",C
730 IF C<>0 THEN GOTO  800 ELSE BEEP
740 CLS : LOCATE 16,10:PRINT "ATTENTION LE NOEUD ";I;" N'EST CONNECTE A AUCUN AU
```

```
TRE NOEUD "
750 LOCATE 25,5 : PRINT "appuyer sur une touche pour continuer "
760 TROMPE = 1
770 TOUCHE$ = INKEY$
780 IF TOUCHE$ ="" THEN 770
790 GOTO 670
800 IF C>(N-I) THEN CLS : LOCATE 25,5 :PRINT " ERREUR SUR LE NOMBRE DE LIGNES CO
NNECTEES AU NOEUD ";I
810 IF C>(N-I) THEN LOCATE 7,50 :PRINT "      " :BEEP
820 IF C>(N-I) THEN GOTO 680 ELSE NS=(NS+C)
830 CLS : LOCATE 1,35 : PRINT "SOMMET NO   ";I
840 IF I=1 THEN GOTO 860 ELSE LOCATE 23 :PRINT "EXCLURE LES LIGNES ";
850 FOR K=1 TO (I-1):PRINT K;"-";I;"  ";:NEXT K
860  LOCATE 4,1 : PRINT "No extremite    ";" Admittance Ysh  ";"  Reactance  XL
   ";"Resistance  R  ";"   S admise"
870  FOR T=1 TO C
880  W=(T+5)
890  P2=0
900  LOCATE W,1 : INPUT " " , EXT(I,T)
910  MISTAKE=EXT(I,T)
920  IF EXT(I,T)<=1 OR EXT(I,T)>N THEN BEEP : LOCATE W,1: PRINT "       " : GOTO
 890
930  IF (INT(EXT(I,T))-EXT(I,T))<>0 THEN BEEP : LOCATE W,1: PRINT "       " : GO
TO 890
940  FOR M=1 TO C
950  IF M=T THEN GOTO 970
960  IF EXT(I,M)=MISTAKE THEN P2=1
970  NEXT M
980  IF P2=1  THEN BEEP : LOCATE W,1: PRINT "       " : GOTO 890 ELSE GOTO 990
990  LOCATE W,18 :INPUT " " , YSH(I,EXT(I,T))
1000  YSH(EXT(I,T),I)=YSH(I,EXT(I,T))
1010  LOCATE W,35 :INPUT " " , XL(I,EXT(I,T))
1020  XL(EXT(I,T),I)=XL(I,EXT(I,T))
1030  LOCATE W,52 :INPUT " " , RES(I,EXT(I,T))
1040  RES(EXT(I,T),I)=RES(I,EXT(I,T))
1050  IF RES(I,EXT(I,T))=0 AND  XL(I,EXT(I,T))=0  THEN 1070 ELSE 1090
1060  IF XL(I,EXT(I,T))=0 AND GTD =1 THEN 1070 ELSE 1090
1070  BEEP : LOCATE W,35 : PRINT "                                        "
1080  GOTO 1010
1090  LOCATE W,69 :INPUT " " , SRAT(I,EXT(I,T))
1100  SRAT(EXT(I,T),I)=SRAT(I,EXT(I,T))
1110  NEXT T
1120  IF NS =>A THEN GOTO  1130
1130  NEXT I
1140  RETURN
1150  REM ***************************************************************

1160 REM *     LECTURE DES PARAMETRES ELECTRIQUES DES NOEUDS DU RESEAU        *

1170 REM ******************************************************************

1180  CLS
1190  LOCATE 2,20 :PRINT"PARAMETRES  DES BARRES DU RESEAU "
1200 LOCATE 20 : PRINT "TOUS LES ANGLES SONT EN DEGRE !"
1210 FOR H=1 TO 30 : PRINT " " ;: NEXT H
1220  LOCATE 7,5  :PRINT"SPECIFIEZ LA BARRE DE REFERENCE (Elle sera fixe lors du
 calcul)";
1230  INPUT " " ,REF
1240 IF REF>N OR REF<1 THEN LOCATE 7,68 : PRINT "    " :BEEP :GOTO 1220 ELSE CLS

1250  LOCATE 4 : PRINT "NOEUD ";:PRINT "    CODE  ";:PRINT "  MODULE TENSION    A
NGLE ";:PRINT "   P active cons ";:PRINT "  Q reactive cons"
1260  FOR I=1 TO N
1270  Z=(5+I)
1280  LOCATE Z   : PRINT I : LOCATE Z,10
1290 IF I=REF THEN PRINT " Ref " : GOTO 1310 ELSE  INPUT " ",CO(I)
1300 IF CO(I)<>1 AND CO(I)<>2 THEN BEEP :LOCATE Z,8 :PRINT "     " : GOTO 1280
1310 LOCATE Z,20 : IF CO(I)=1 THEN PRINT "********" ELSE  INPUT " ",TENS(I)
1320 LOCATE Z,36 : IF I=REF THEN PRINT " 0" : GOTO 1370
1330 LOCATE Z,36 : IF CO(I)<>0 THEN PRINT " ****"
1340 IF CO(I)=2 THEN 1370
1350 LOCATE Z,45 : INPUT " ",PCONS(I)
1360 LOCATE Z,63 : INPUT " ",QCONS(I)
1370 NEXT I
1380 CLS
1390 INDIC=0
1400 LOCATE 2,20: PRINT "VALEURS DES PUISSANCES GENEREES "
```

```
1410 LOCATE 4,1: PRINT "No NOEUD " ; "     P GENEREE " ; "     Q GENEREE   " ;"
    Q max. gen  ";"      Q min. gen    "
1420 LOCATE 25,20 :PRINT " attention aux limites ! ( Qmax > Qmin )"
1430 FOR I=1 TO N
1440 IF INDIC=1 THEN 1520
1450 Z=(5+I)
1460 LOCATE Z,1 : PRINT I : LOCATE Z,12 : IF CO(I)= 0 THEN PRINT "********" ELSE
 INPUT "    " ,PGEN(I)
1470 LOCATE Z,30 : IF CO(I)<>1 THEN PRINT "********" ELSE INPUT " " , QGEN(I)
1480 LOCATE Z,48 : IF CO(I)<>2 THEN PRINT "********" ELSE INPUT " " , QMAX(I)
1490 LOCATE Z,62 : IF CO(I)<>2 THEN PRINT "********" ELSE INPUT " " , QMIN(I)
1500 IF CO(I) =2 AND QMAX(I)<QMIN(I) THEN 1510 ELSE 1520
1510 LOCATE 25,20 :PRINT " ERREUR : Qmax < Qmin " :LOCATE Z,48:PRINT "
              " : GOTO 1480
1520 NEXT I
1530 IF INDIC=1 THEN BEEP : GOTO 1380
1540 FOR I=1 TO N
1550 IF I=REF THEN 1590
1560 PSPEC(I) =(PGEN(I)-PCONS(I))
1570 IF CO(I)=2 AND TEMOIN(I)=0 THEN 1590
1580 QSPEC(I) =(QGEN(I)-QCONS(I))
1590 NEXT I
1600 REM ********************************************************************
1610 REM *            LECTURE DES VALEURS INITIALES DES ITERATIONS             *
1620 REM ********************************************************************
1630 REM
1640 CLS : LOCATE 2,15 : PRINT " LES VALEURS D'INITIALISATION DES ITERATIONS "
1650 LOCATE 4,15 : PRINT "  SONT CHOISIES EGALES A LA TENSION DE LA"
1660 LOCATE 6,15 : PRINT "                 REFERENCE                "
1670 LOCATE 25,5 : PRINT "POUR LES CHANGER APPUYER SUR  C      "
1680 CHANGER$=INKEY$
1690 IF CHANGER$="c" OR CHANGER$="C" THEN 1710
1700 IF CHANGER$="" THEN 1680 ELSE 1810
1710 CLS  :  LOCATE 1,15 : PRINT "INITIALISATION DES VALEURS DES ITERATIONS "
1720 LOCATE 4,20: PRINT "No NOEUD " ; "   TENSION 3V3   " ; "ANGLE (degre) "
1730 FOR I=1 TO N
1740 IF CO(I)=0 THEN GOTO 1790
1750 Z=(5+I) : LOCATE Z,22
1760 PRINT I : LOCATE Z,35
1770 IF CO(I)=2 THEN PRINT "******" ELSE INPUT " ",TENS(I)
1780 LOCATE Z,50 : INPUT " ",ANG(I) : ANG(I)=ANG(I)*(PI/180)
1790 NEXT I
1800 GOTO 1850
1810 FOR I=1 TO N
1820 IF CO(I)=1 THEN TENS(I)=TENS(REF)
1830 IF CO(I)<>0 THEN ANG(I)=0
1840 NEXT I
1850 RETURN
1860 REM
1870  REM ********************************************************************
1880  REM *         LECTURE DE LA TOLERANCE OU DU NOMBRE D'ITERATIONS         *
1890  REM ********************************************************************
1900  REM
1910 CLS : LOCATE 1,10 : PRINT "CALCUL ITERATIF DES TENSIONS ET DES PUISSANCES
1920 LOCATE 9,1 : PRINT "DONNER LE CRITERE DE CALCUL ( 1 ou 2 )"
1930 LOCATE 20 : PRINT " 1x/ Choix d'un nombre maximal d'iterations "
1940 LOCATE 22 : PRINT " 2x/ Choix d'une Tolerance (epsilon) "
1950 LOCATE 9,42 : INPUT F : IF F=1 THEN GOTO 1980
1960 IF F=2 THEN GOTO 1990
1970 BEEP:LOCATE 5,42 : PRINT "      " : GOTO 1940
1980 CLS: LOCATE 20,4 : INPUT " ENTRER LE NOMBRE D'ITERATIONS  ",KMAX :ITER =1:
GOTO 2000
1990 CLS: LOCATE 5,4 : INPUT " ENTRER LA TOLERANCE EPSILON  ",EPSILON
2000 RETURN
2010  REM
2020  REM ********************************************************************
2030  REM *       FORMATION DE LA MATRICE DES ADMITTANCES DE BARRE  Y          *
2040  REM ********************************************************************
2050  REM
2060  FOR I=1 TO N
2070  Y(I)=0
2080  FOR J=1 TO N
2090  ZCAR(I,J)=(RES(I,J)*RES(I,J))+(XL(I,J)*XL(I,J))
2100  Y(I)=Y(I)+YSH(I,J)
2110  NEXT J
2120  NEXT I
2130  REM              ****************
```

```
2140  FOR  I=1 TO N
2150 YRE(I,I)=0 : YIM(I,I)=Y(I)
2160  FOR  J=I TO N
2170 IF I = J THEN  2240
2180 IF ZCAR(I,J)<>0 THEN 2210
2190 YRE(I,J)=0 : YIM(I,J)=0
2200 GOTO 2290
2210 YRE(I,J) = (-RES(I,J)/ZCAR(I,J))
2220 YIM(I,J) = (XL(I,J)/ZCAR(I,J))
2230 YRE(J,I) = YRE(I,J) : YIM(J,I)=YIM(I,J) : GOTO 2290
2240 FOR K=1 TO N
2250 IF ZCAR(I,K)=0 THEN 2280
2260 YRE(I,I)=(YRE(I,I)+(RES(I,K)/ZCAR(I,K)))
2270 YIM(I,I)=(YIM(I,I)-(XL(I,K)/ZCAR(I,K)))
2280 NEXT K
2290 NEXT J
2300 NEXT I
2310 RETURN
2330 CLS : IF N > 7 THEN PRINT "L'IMPRESSION DES RESULTATS EST SUR LE PRINTER "
2340 PRINT:PRINT
2350 FOR I=1 TO N
2360 FOR J=1 TO N
2370 IF N>8 THEN GOTO 2380 ELSE PRINT USING"##.####    " ; YRE(I,J);
2380 LPRINT USING "##.####  " ; YRE(I,J) ,
2390 NEXT J
2400 LPRINT : PRINT
2410 NEXT I
2420 PRINT : PRINT : LOCATE ,15 :PRINT "PARTIE REELLE DE Ybarre  "
2430 LPRINT : LPRINT : LOCATE ,15 :LPRINT "PARTIE REELLE DE Ybarre  "
2440 PRINT : CLS
2450 FOR I=1 TO N
2460 FOR J=1 TO N
2470 IF N>8 THEN GOTO 2480 ELSE PRINT USING"##.####    " ; YIM(I,J),
2480 LPRINT USING "##.####  " ; YIM(I,J) ,
2490 NEXT J
2500 LPRINT : PRINT
2510 NEXT I
2520 PRINT : PRINT : LOCATE ,15 :PRINT "PARTIE IMMAGINAIRE DE Ybarre  "
2530 LPRINT : LPRINT : LOCATE ,15 :LPRINT "PARTIE IMMAGINAIRE DE Ybarre  "
2540 LPRINT : LPRINT "      RESEAU   a   ";N;" NOEUDS  ET  ";A;" LIGNES"
2550 RETURN
2560  REM
2570 REM ********************************************************************
2580 REM *                  CALCUL DE LA PUISSANCE INJECTEE                   *
2590 REM ********************************************************************
2600 REM
2610 FOR I=1 TO N
2620 PCAL(I)=0 : QCAL(I)=0
2630 FOR J=1 TO N
2640 PCAL  =      YRE(I,J)*COS(ANG(I)-ANG(J))
2650 PCAL  =PCAL+ YIM(I,J)*SIN(ANG(I)-ANG(J))
2660 PCAL  =PCAL*TENS(J)
2670 QCAL  =      YRE(I,J)*SIN(ANG(I)-ANG(J))
2680 QCAL  =QCAL- YIM(I,J)*COS(ANG(I)-ANG(J))
2690 QCAL  =QCAL*TENS(J)
2700 QCAL(I)=QCAL+QCAL(I)
2710 PCAL(I)=PCAL+PCAL(I)
2720 NEXT J
2730 PCAL(I)=PCAL(I)*TENS(I)
2740 QCAL(I)=QCAL(I)*TENS(I)
2750 NEXT I
2760  REM
2770 REM ********************************************************************
2780 REM *  CALCUL DES VARIATIONS PUISSANCES  ( SPECIFIEES - CALCULEES )     *
2790 REM ********************************************************************
2800 REM
2810 FOR I=1 TO N
2820 IF I=REF THEN GOTO 2860
2830 DELTAP(I) =PSPEC(I)-PCAL(I)
2840 IF CO(I)=2 AND TEMOIN(I)=0 THEN 2860
2850 DELTAQ(I) =QSPEC(I)-QCAL(I)
2860 NEXT I
2870  REM
2880 REM ********************************************************************
2890 REM *  CALCUL DE LA VALEUR MAXIMALE  PUISSANCE (SPECIFIEE - CALCULEE)  *
2900 REM ********************************************************************
```

```
2910 REM
2920 DPMAX=0
2930 DQMAX=0
2940 FOR I=1 TO N
2950 IF I=REF THEN GOTO 2980
2960 IF DPMAX>ABS(DELTAP(I)) THEN  DPMAX=ABS(DELTAP(I))
2970 IF DQMAX>ABS(DELTAQ(I)) THEN  DQMAX=ABS(DELTAQ(I))
2980 NEXT I
2990 IF DPMAX >DQMAX THEN MAX=DPMAX ELSE MAX=DQMAX
3000 RETURN
3010 REM
3020 CLS : LOCATE 10,25 : PRINT " ITERATION NUMERO ";(COMPTEUR+1)
3030 REM
3040 REM
3050 REM ***************************************************************
3060 REM *         CALCUL DES ELEMENTS  J1  J2  J3  J4  DU JACOBIEN  J        *
3070 REM ***************************************************************
3080 REM
3090 FOR I=1 TO N
3100 IF I=REF THEN GOTO 3550
3110 J1(I,I)=0 : J2(I,I)=0
3120 J3(I,I)=0 : J4(I,I)=0
3130 J2=-2*TENS(I)*YRE(I,I)
3140 J4=+2*TENS(I)*YIM(I,I)
3150 FOR J=1 TO N
3160 IF J=REF THEN GOTO 3540
3170 T=(ANG(I)-ANG(J))
3180 CER =COS(T) : SER=SIN(T)
3190 IF I=J THEN GOTO 3200 ELSE GOTO 3440
3200 FOR ST=1 TO N
3210 IF ST=I THEN 3380
3220 IF ST=REF THEN GOTO 3380
3230 X=(ANG(I)-ANG(ST))
3240 SIR=SIN(X)
3250 CIR=COS(X)
3260 J1=   YRE(I,ST)*SIR
3270 J1=J1-YIM(I,ST)*CIR
3280 J1(I,I)=(J1)*TENS(ST) +J1(I,I)
3290 J2D=   YRE(I,ST)*CIR
3300 J2D=J2D+YIM(I,ST)*SIR
3310 J2(I,I)=(J2D)*TENS(ST)+J2(I,I)
3320 J3=   YRE(I,ST)*CIR
3330 J3=J3+YIM(I,ST)*SIR
3340 J3(I,I)=(J3)*TENS(ST)+J3(I,I)
3350 J4D=  - YRE(I,ST)*SIR
3360 J4D=(J4D)-YIM(I,ST)*CIR
3370 J4(I,I)=(J4D)*TENS(ST)+J4(I,I)
3380 NEXT ST
3390 J1(I,I)=J1(I,I)*TENS(I)
3400 J2(I,I)=-J2(I,I)+J2
3410 J3(I,I)=-J3(I,I)*TENS(I)
3420 J4(I,I)=-J4(I,I)+J4
3430 GOTO 3540
3440 J1(I,J)= YRE(I,J)*SER-YIM(I,J)*CER
3450 J1(I,J)= J1(I,J)*TENS(J)
3460 J2(I,J)= YRE(I,J)*CER+YIM(I,J)*SER
3470 J3(I,J)= YRE(I,J)*CER+YIM(I,J)*SER
3480 J3(I,J)= J3(I,J)*TENS(J)
3490 J4(I,J)= YRE(I,J)*SER-YIM(I,J)*CER
3500 J1(I,J)=-TENS(I)*J1(I,J)
3510 J2(I,J)=-TENS(I)*J2(I,J)
3520 J3(I,J)=TENS(I)*J3(I,J)
3530 J4(I,J)=-TENS(I)*J4(I,J)
3540 NEXT J
3550 NEXT I
3560 REM
3570 REM ***************************************************************
3580 REM *    ASSEMBLAGE DES ELEMENTS  J1  J2  J3  J4  DU JACOBIEN  J          *
3590 REM ***************************************************************
3600 REM
3610 FOR I=1 TO 2*N
3620 FOR J=1 TO 2*N
3630 IF I<=N THEN GOTO 3640 ELSE GOTO 3720
3640 IF I=REF THEN GOTO 3800
3650 IF J>N THEN GOTO 3690
3660 IF J=REF THEN GOTO  3790
```

```
3670 JACOB(I,J)=J1(I,J)
3680 GOTO 3790
3690 IF (J-N)=REF THEN GOTO 3790
3700 JACOB(I,J)=J2(I,(J-N))
3710 GOTO 3790
3720 IF (I-N)=REF THEN 3800
3730 IF J>N THEN GOTO 3770
3740 IF J=REF THEN GOTO  3790
3750 JACOB(I,J)=J3((I-N),J)
3760 GOTO 3790
3770 IF (J-N)=REF THEN GOTO 3790
3780 JACOB(I,J)=J4((I-N),(J-N))
3790 NEXT J
3800 NEXT I
3810 RETURN
3820 REM
3830 REM **********************************************************************
3840 REM *                 INVERSION DE LA MATRICE   J   DU JACOBIEN           *
3850 REM **********************************************************************
3860 REM
3870 FOR I=1 TO 2*N
3880 IF I=REF OR (I-N)=REF THEN GOTO 4070
3890 FOR J=1 TO 2*N
3900 IF J=REF OR (J-N)=REF THEN GOTO 3990
3910 IF I=J THEN 3990
3920 FOR K=1 TO 2*N
3930 IF K=REF OR (K-N)=REF THEN GOTO 3980
3940 IF K=I THEN 3980
3950 JAC=JACOB(J,I)*JACOB(I,K)
3960 JAC=JAC/JACOB(I,I)
3970 JACOB(J,K)=JACOB(J,K)-JAC
3980 NEXT K
3990 NEXT J
4000 JACOB(I,I)=-1/JACOB(I,I)
4010 FOR Z=1 TO 2*N
4020 IF Z=REF OR (Z-N)=REF THEN GOTO 4060
4030 IF Z=I THEN 4060
4040 JACOB(Z,I)=JACOB(Z,I)*JACOB(I,I)
4050 JACOB(I,Z)=JACOB(I,Z)*JACOB(I,I)
4060 NEXT Z
4070 NEXT I
4080 FOR ROW=1 TO 2*N
4090 FOR COLON=1 TO 2*N
4100 JACOB(ROW,COLON)=-JACOB(ROW,COLON)
4110 NEXT COLON
4120 NEXT ROW
4130 RETURN
4140 REM
4150 REM **********************************************************************
4160 REM *                 FORMATION DE LA MATRICE   [ DP , DQ ]               *
4170 REM ****************************************************************4170 REM *
*******************************************************************
4180 REM
4190 FOR K=1 TO 2*N
4200 IF K<=N THEN GOTO 4210 ELSE GOTO 4240
4210 IF K=REF THEN GOTO  4260
4220 MATPQ(K)=DELTAP(K)
4230 GOTO 4260
4240 IF (K-N)=REF THEN GOTO 4260
4250 MATPQ(K)=DELTAQ((K-N))
4260 NEXT K
4270 RETURN
4280 REM
4290 REM **********************************************************************
4300 REM *                 FORMATION DU PRODUIT J-1.[ DP , DQ ]
4310 REM **********************************************************************
4320 REM
4330 FOR I=1 TO (2*N)
4340 IF I=REF OR (I-N)=REF THEN GOTO 4400
4350 FOR J=1 TO (2*N)
4360 IF J=REF OR (J-N)=REF THEN GOTO 4390
4370 TEMP=JACOB(I,J)*MATPQ(J)
4380 UPDATE(I)=UPDATE(I)+TEMP
4390 NEXT J
4400 NEXT I
4410 RETURN
```

```
4420 REM
4430 REM ******************************************************************
4440 REM *        CALCUL DES NOUVEAUX PROFILS DE TENSIONS ET DE PHASES        *
4450 REM ******************************************************************
4460 REM
4470 FOR I=1 TO 2*N
4480 IF I>N THEN GOTO 4520
4490 IF I=REF THEN GOTO 4510
4500 ANG(I)=ANG(I)-UPDATE(I)
4510 GOTO 4560
4520 IF (I-N)=REF THEN GOTO 4560
4530 IF CD(I-N)=1 THEN 4550
4540 IF CD(I-N)=2 AND TEMOIN(I)=0 THEN 4560 ELSE 4550
4550 TENS(I-N)=TENS(I-N)-UPDATE(I)
4560 NEXT I
4570 RETURN
4580 REM
4590 REM ******************************************************************
4600 REM *     CALCUL DES PUISSANCES REACTIVES PRODUITES AUX GENERATRICES     *
4610 REM ******************************************************************
4620 REM
4630 FOR I=1 TO N
4640 IF CD(I)<>2 THEN GOTO 4730
4650 QGEN(I)=0
4660 FOR J=1 TO N
4670 QG=YRE(I,J)*SIN(ANG(I)-ANG(J))
4680 QG=QG-YIM(I,J)*COS(ANG(I)-ANG(J))
4690 QG=QG*TENS(J)
4700 QGEN(I)=QGEN(I)+QT
4710 NEXT J
4720 QGEN(I)=QGEN(I)+QCONS(I)
4730 NEXT I
4740 FOR I=1 TO N
4750 IF CD(I)<> 2 THEN 4790
4760 IF QGEN(I)<=QMAX(I) AND QMIN(I)<=QGEN(I) THEN TEMOIN(I)=0:GOTO 4790
4770 IF QGEN(I)>QMAX(I) THEN QSPEC(I)=QMAX(I) ELSE QSPEC(I)=QMIN(I)
4780 TEMOIN(I)=1
4790 NEXT I
4800 RETURN
4810 REM
4820 REM ******************************************************************
4830 REM *        CALCUL DES ECOULEMENTS DE PUISSANCES DANS LES LIGNES        *
4840 REM ******************************************************************
4850 REM
4860 FOR I=1 TO N
4870 FOR J=1 TO N
4880 Q(I,J)=0
4890 P(I,J)=0
4900 NEXT J
4910 NEXT I
4920 FOR  I=1 TO N
4930 FOR  J=1 TO N
4940 Q=-TENS(J)*COS(ANG(I)-ANG(J))
4950 Q=Q*XL(I,J)
4960 P=-TENS(J)*COS(ANG(I)-ANG(J))
4970 P=P*RES(I,J)
4980 Q=Q-RES(I,J)*TENS(J)*(SIN(ANG(I)-ANG(J)))
4990 P=P+ XL(I,J)*TENS(J)*(SIN(ANG(I)-ANG(J)))
5000 Q(I,J)=Q+TENS(I)*XL(I,J)
5010 P(I,J)=P+TENS(I)*RES(I,J)
5020 IF ZCAR(I,J)=0 THEN 5050
5030 Q(I,J)=TENS(I)*Q(I,J)/ZCAR(I,J)
5040 P(I,J)=P(I,J)*TENS(I)/ZCAR(I,J)
5050 NEXT J
5060 NEXT I
5070 FOR I=1 TO N
5080 FOR J=1 TO N
5090 O=P(I,I)*P(I,J)+Q(I,J)*Q(I,J)
5100 S(I,J)=(O)^(.5)
5110 NEXT J
5120 NEXT I
5130 RETURN
5140 REM
5150 REM ******************************************************************
5160 REM *        IMPRESSION DES RESULTATS  ET DES PARAMETRES DE DEPART       *
5170 REM ******************************************************************
```

```
5150 REM **************************************************************************
5160 REM *        IMPRESSION DES RESULTATS  ET DES PARAMETRES DE DEPART        *
5170 REM **************************************************************************
5180 REM
5190 LPRINT "* * * * PARAMETRES ELECTRIQUES DES LIGNES * * * *"
5200 LPRINT : LPRINT
5210 LPRINT "Origine  ";" Extremite ";"  RESISTANCE   ";"   REACTANCE  X1 ";"
 ADMITTANCE SHUNT ";"  S admissible  "
5220 FOR I=1 TO N
5230 FOR J=1 TO N
5240 LPRINT
5250 IF EXT(I,J)=0 THEN GOTO 5300
5260 LPRINT I TAB(8) "<---->" TAB(14) EXT(I,J) TAB(23)
5270 LPRINT RES(I,EXT(I,J)) TAB(37) XL(I,EXT(I,J)) TAB(56)
5280 LPRINT YSH(I,EXT(I,J))
5290 LPRINT TAB(71) SRAT(I,EXT(I,J))
5300 NEXT J
5310 NEXT I
5320 IF ITER =1 THEN LPRINT "Ecoulement de puissance ";KMAX;"Iterations demandee
s":GOTO 5340 ELSE GOTO 5330
5330 LPRINT "Ecoulement de puissance convergente ";COMPTEUR;"Iterations necessai
res"
5340 LPRINT : LPRINT
5350 LPRINT"******* PARAMETRES DE BARRES ********"
5360 LPRINT : LPRINT
5370 LPRINT "No NOEUD ";"  CODE  ";"  TENSION  ";"  ANGLE   " ;"  Pgen   ";"  Q
gen   "; "  P cons   ";"  Q cons  "
5380 LPRINT :LPRINT
5390 FOR I=1 TO N
5400 LPRINT USING "###" ;I;
5410 IF I=REF THEN LPRINT TAB(11) "-ref-";:GOTO 5430 ELSE GOTO 5420
5420 LPRINT TAB(12) CO(I);
5430 LPRINT TAB(19) TENS(I);
5440 IF I=REF THEN LPRINT TAB(30) "0" ; : GOTO 5470
5450 ANG(I)=(57.29579)*ANG(I)
5460 LPRINT TAB(30) ANG(I)
5470 LPRINT TAB(41) PGEN(I);
5480 LPRINT TAB(49) QGEN(I) TAB(60);
5490 LPRINT TAB(60) PCONS(I);
5500 LPRINT TAB(71) QCONS(I)
5510 NEXT I
5520 LPRINT : LPRINT
5530 LPRINT "********* ECOULEMENT DE PUISSANCES **********"
5540 LPRINT : LPRINT
5550 LPRINT "* * * * PARAMETRES DE LIGNES * * * *"
5560 LPRINT : LPRINT
5570 LPRINT "Origine  ";" Extremite ";"   P ligne   ";"   Q  ligne    ";"
 S tot  ligne    "
5580 FOR I=1 TO N
5590 FOR J=1 TO N
5600 LPRINT
5610 IF EXT(I,J)=0 THEN GOTO 5680
5620 LPRINT I TAB(8) "<---->" TAB(14) EXT(I,J) TAB(23)
5630 LPRINT P(I,EXT(I,J)) TAB(37) Q(I,EXT(I,J)) TAB(56)
5640 LPRINT S(I,EXT(I,J)) :IF S(I,EXT(I,J))>SRAT(I,EXT(I,J)) THEN LPRINT TAB(82)
 "* * * ligne Surchargee * * * "
5650 LPRINT EXT(I,J) TAB(8) "<---->" TAB(14) I TAB(23)
5660 LPRINT P(EXT(I,J),I) TAB(37) Q(EXT(I,J),I) TAB(56)
5670 LPRINT S(EXT(I,J),I) : IF S(EXT(I,J),I)>SRAT(I,EXT(I,J)) THEN LPRINT TAB(82
) "* * * Ligne Surchargee * * *"
5680 NEXT J
5690 NEXT I
5700 LPRINT "******** PUISSANCES INJECTEES *********"
5710 LPRINT : LPRINT
5720 LPRINT "NOEUD  ";"     CODE  ";"         P injectee  ";"          Q inj
ectee  ";"           S injectee "
5730 FOR I=1 TO N
5740 LPRINT I TAB(14)
5750 IF I=REF THEN LPRINT "Ref" TAB(31) ELSE LPRINT TAB(16) CO(I) TAB(41)
5760 LPRINT PCAL(I) TAB(56) QCAL(I) TAB(71) SCAL(I)
5770 NEXT I
5780 LPRINT : LPRINT
5790 LPRINT "*********   BILAN DU RESEAU TOTAL   ***********"
5800 LPRINT : LPRINT
5810 LPRINT " * * * GENERATION de PUISSANCE * * * "
5820 LPRINT : LPRINT
```

```
5830 LPRINT " P active  * * * ";" Pgen = ";PTOT
5840 LPRINT : LPRINT
5850 LPRINT " Q reactive  * * * ";" Qgen = ";QTOT
5860 LPRINT : LPRINT "(Reference non comprise )"
5870 LPRINT : LPRINT
5880 LPRINT "* * * Consommation de puissance * * *"
5890 LPRINT : LPRINT
5900 LPRINT "P active ....";PLOAD
5910 LPRINT "Q reactive ....";QLOAD
5920 LPRINT  : LPRINT
5930 LPRINT "+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+.*.+"
5940 RETURN
5950 REM
5960 REM ***********************************************************************
5970 REM *              CHANGEMENT DES PARAMETRES DU RESEAU                    *
5980 REM ***********************************************************************
5990 REM
6000 CLS: PTOT=0: QTOT=0 : QLOAD=0 : PLOAD=0
6010 LOCATE 4,15 : PRINT "LIGNES DE TRANSMISSIONS "
6020 LOCATE 25 :INPUT "AVEZ VOUS DES PARAMETRES A CHANGER DANS LE RESEAU ( O / N
 )  ",REP$
6030 IF REP$ ="n" OR REP$ ="N" THEN GOTO 6380 ELSE CLS
6040 LOCATE 1,15 : PRINT "CHANGEMENT DES PARAMETRES DU RESEAU INITIAL "
6050 LOCATE 6,4  : PRINT "1x/ CHANGEMENT DU NOMBRE DE NOEUDS "
6060 LOCATE 8,4 : PRINT "2x/ LIGNES ELECTRIQUES COUPEES   "
6070 LOCATE 10,4 : PRINT "3x/ CHANGEMENT DES PARAMETRES DE LIGNES EXISTANTES "
6080 LOCATE 12,4  : PRINT "4x/ EXAMINER LES GENERATRICES EN PANNE "
6090 LOCATE 20,5 : INPUT "CHOISISSEZ UNE OPTION ( 1 / 2 / 3 / 4 )  ",OP
6100 IF OP =1 THEN GOTO 240
6110 IF OP =2 THEN GOTO 6140
6120 IF OP =3 THEN GOTO 6150
6130 IF OP =4 THEN GOTO 6500 ELSE BEEP : LOCATE 20,50 : PRINT "       " : GOTO 6
090
6140 CLS:LOCATE 1,20 :INPUT "COMBIEN DE LIGNES SONT COUPEES ? ",JK : GOTO 6280
6150 CLS : LOCATE 1,25 :PRINT "* * * NOUVEAUX PARAMETRES DE LIGNES * * * "
6160 LOCATE 6,15 :INPUT "COMBIEN DE LIGNES ONT CHANGE DE PARAMETRES ?  ",LM
6170 IF LM =0 THEN GOTO 6000
6180 CLS: LOCATE 4,1 :PRINT "No ORIGINE   ";"  No EXTREMITE   ";" ADMITTANCE Ysh
  ";"  REACTANCE XL  ";"   RESISTANCE"
6190 FOR T=1 TO LM
6200 KL=(T+5)
6210 LOCATE KL,1  :INPUT " ",O :IF O >N THEN LOCATE KL,1:PRINT "    ":GOTO 6210
6220 LOCATE KL,15 :INPUT " ",EX: IF EX =0 THEN PRINT "      " : GOTO 6220
6230 LOCATE KL,30 :INPUT " ",YSH(O,EX) : YSH(EX,O)=YSH(O,EX)
6240 LOCATE KL,47 :INPUT " ",XL(O,EX)  :  XL(EX,O)=XL(O,EX)
6250 LOCATE KL,63 :INPUT " ",RES(O,EX) : RES(EX,O)=RES(O,EX)
6260 NEXT T
6270 GOTO 300
6280 LOCATE 4,15 : PRINT "ORIGINE DU NOEUD " : LOCATE 4,50 : PRINT "EXTREMITE DU
 NOEUD "
6290 FOR T=1 TO JK
6300 LOCATE (4+T),20 : INPUT " ",O : LOCATE (4+T),55 : INPUT " ",EX
6310 YSH(O,EX)=YSH(EX,O) =0
6320  XL(O,EX)=XL(EX,O)=0
6330 RES(O,EX)=RES(EX,O) =0
6340 FOR J=1 TO N
6350 IF EXT(O,J)=EX THEN EXT(O,J)=0
6360 NEXT J
6370 NEXT T : GOTO 300
6380 CLS: PRINT "GENERATRICES EN PANNE "
6390 INPUT " AVEZ VOUS DANS LE RESEAU DES GENERATRICES EN PANNE ";ANS$
6400 IF ANS$ ="N" OR ANS$="n" THEN GOTO 6650
6410 GOTO 6500
6420 FOR I=1 TO N
6430 PTOT=PTOT+PGEN(I)
6440 QTOT=QTOT+QGEN(I)
6450 SCAL(I)=SQR(PCAL(I)*PCAL(I)+QCAL(I)*QCAL(I))
6460 PLOAD =PLOAD+PCONS(I)
6470 QLOAD =QLOAD+QCONS(I)
6480 NEXT I
6490 RETURN
6500 CLS: LOCATE 2,17 : PRINT "GENERATRICES EN PANNE "
6510 GENE=0
6520 FOR I=1 TO N
6530 IF CO(I)=2 THEN GENE=(GENE+1) ELSE GOTO 6540
```

```
6540 NEXT I
6550 LOCATE 25 : PRINT "VOTRE RESEAU COMPORTE ";GENE;"GENERATRICES"
6560 LOCATE 10,4 : INPUT "COMBIEN DE GENERATRICES SONT EN PANNE ? ",PANNE
6570 IF PANNE>GENE THEN BEEP : GOTO 6500
6580 CLS : LOCATE 1,25 : PRINT " LES GENERATRICES EN PANNE ... "
6590 LOCATE 10 : PRINT " DONNEZ LES GENERATRICES EN PANNE ... "
6600 FOR I=1 TO GENE
6610 INPUT "    ",N(I) :IF CO(N(I))<>2 THEN LOCATE 20,25 :PRINT"ERREUR !" : BEEP:
 BEEP :GOTO 6610
6620 CO(N(I))=1
6630 NEXT I
6640 GOTO 320
6650 CLS : LOCATE 10,15 : PRINT "SI VOUS AVEZ D'AUTRES RESEAUX A ETUDIER  "
6660 LOCATE 12,15 : PRINT "          APPUYEZ SUR S                   "
6670 CONTINUER$=INKEY$
6680 IF CONTINUER$="s" OR CONTINUER$="S" THEN 240
6690 IF CONTINUER$=""THEN 6670 ELSE 6700
6700 LOCATE 25,10 : PRINT "PROGRAMME TERMINE"
6710 END
```

```
C:\TPASCAL>

                program CaracReseau ;

CONST
     MAX=40     ;
TYPE
     dim      =  1..max ;
     mat      =  array [dim,dim] of real     ;
     tableau  =  array [dim]     of real     ;
VAR
     i,j,ext,ndl,ndn,ndlr,s,z    : integer ;
     res  , ysh  , xl  ,
     moduly , teta               : mat     ;

    tension , angle             : tableau  ;

LABEL
     tetu , 1 ,2 ,3                       ;


            PROCEDURE Calculybarre( VAR  ao,bo : mat)  ;


VAR
     t,k                       :  integer  ;
     yi                        :  tableau  ;
     zcarre , yreel ,yim       :  mat      ;

BEGIN
  clrscr ;
  gotoxy(15,12) ;
  write('CALCUL YBARRE EN COURS ') ;
  FOR i:=1 to ndn
    DO BEGIN
       yi[i]:=0  ;
        ysh[i,i]:=0 ; res[i,i]:=0  ; xl[i,i]:=0 ; yreel[i,i]:=0  ;
      FOR T:=1 to ndn
       DO BEGIN
        zcarre[i,t]:=res[i,t]*res[i,t]+xl[i,t]*xl[i,t]  ;
          IF zcarre[i,t]=0 then zcarre[i,t]:=1  ;
        zcarre[t,i]:=zcarre[i,t]  ;
        yi[i]:=yi[i]+ysh[i,t]  ;
       END ;
      FOR j:=i to ndn
        DO BEGIN
          IF I<>J THEN

           BEGIN
              yreel[i,j]:=-(res[i,j]/zcarre[i,j])  ;
                yreel[j,i]:=yreel[i,j]  ;
              yim[i,j]:=xl[i,j]/zcarre[i,j]  ;
                yim[j,i]:=yim[i,j]
           END

          ELSE

            BEGIN
              yim[i,i]:=yi[i]  ;
                FOR k:=1 to ndn

               DO BEGIN
                  yreel[i,i]:=yreel[i,i]+res[i,k]/zcarre[i,k]  ;
                  yim[i,i]:=yim[i,i]+xl[i,k]/zcarre[i,k]  ;
               END ;

            END ;

         END  ;
     END ;

    BEGIN
      for i:=1 to ndn

       DO BEGIN
         for j:=i to ndn

          DO BEGIN
```

```
            ao[i,j]:=(yreel[i,j]*yreel[i,j]+yim[i,j]*yim[i,j])  ;
            ao[j,i]:=ao[i,j]  ;
            bo[i,j]:=arctan( yim[i,j]/yreel[i,j] )  ;
            bo[j,i]:=bo[i,j]  ;
         END  ;

      END  ;

   END ;

END  ;    {of procedure }

                        PROCEDURE CalculJacobien ( VAR J1J4 : mat ) ;


VAR
      t                             :  integer  ;
      cer , ser , kst               :  real  ;
      j1 , j2 , j3 , j4             :  mat  ;

LABEL    a,b,g    ;

  BEGIN
    for i:=1 to ndn

    DO BEGIN
      if i=s then goto a

      ELSE BEGIN
        j2[i,i]:=-2*tension[i]*moduly[i,i]*cos(teta[i,i])  ;
        j4[i,i]:=-2*tension[i]*moduly[i,i]*sin(teta[i,i])  ;

          for j:=1 to ndn

          DO BEGIN
               cer:=cos( angle[i]-angle[j]-teta[i,j] )  ;
               ser:=sin( angle[i]-angle[i]-teta[i,j] )   ;
                 if i=j

                 THEN BEGIN
                     for t:=1 to ndn

                     DO BEGIN
                        if t=s then goto b

                        ELSE BEGIN
                           kst:=tension[t]*moduly[i,t]  ;
                           j1[i,i]:=j1[i,i]+tension[i]*kst*ser  ;
                           j2[i,i]:=j2[i,i]-kst*ser  ;
                           j3[i,i]:=j3[i,i]+tension[i]*kst*cer  ;
                           j4[i,i]:=j4[i,i]-kst*ser  ;
                        END ;

                b:   END ;

                 END

                 ELSE BEGIN
                    J1[i,i]:=tension[i] * tension[j]*moduly[i,j]*ser  ;
                    j2[i,i]:=tension[i] * moduly[i,j]*cer  ;
                    j3[i,i]:=tension[i] * tension[j]*moduly[i,j]*cer  ;
                    j4[i,i]:=tension[i] * moduly[i,j]*ser ;
                 END ;

          END  ;

       END  ;

    END  ;

    for i:=1 to 2*(ndn-1)

    DO BEGIN
        for j:=1 to 2*(ndn-1)

        DO BEGIN
```

```
          if i<=(ndn-1)

          THEN

              BEGIN
                 IF J<=(ndn-1)
                   THEN
                      J1J4[i,j]:=j1[i,j]
                   ELSE
                      j1j4[i,j]:=j2[i,j-(ndn-1)]  ;
              END

          ELSE

              BEGIN
                 IF j<=(ndn-1)
                    THEN
                       J1J4[i,j]:=j3[i-(ndn-1),j]
                    ELSE
                       J1J4[i,j]:=j4[i-(ndn-1),j-(ndn-1)]  ;
              END  ;

       END  ;

    END  ;

  END  ; { of procedure  }


                    PROCEDURE InversionJACOBIEN ( VAR A : mat  ) ;

VAR

   Z , k , row , colon          :    integer  ;

LABEL   P , q , r  ;

   BEGIN
     for i:=1 to 2*(ndn-1)

     DO BEGIN
        for j:=1 to2*(ndn-1)

          DO BEGIN
             IF i:=j
                 THEN goto p

                 ELSE BEGIN
                   for k:=1 to 2*(ndn-1)

                     DO BEGIN
                       IF k:=i
                          THEN goto q

                          ELSE BEGIN
                             A[j,k]:=a[j,k]-(a[j,i]*a[i,k]/a[i,i])
                          END ;

                 q:   END  ;

                 END ;

      p :   END  ;

          a[i,i]:=-1/a[i,i]  ;
          for z:=1 to 2*(ndn-1)

          DO BEGIN
             IF z:=i

               THEN
                   goto r
               ELSE
                   BEGIN
                     a[z,i]:=a[z,i]*a[i,i]  ;
                     a[i,z]:=a[i,z]*a[i,i]  ;
                   END ;
```

```
        r : END  ;

      END  ;

      for row:=1 to 2*(n-1)

          DO BEGIN
            for colon:=1 to 2*(ndn-1)
            DO
              A[row,colon]:=-a[row,colon]  ;
          END  ;

  END  ; { of procedure }



BEGIN
  clrscr  ;
   gotoxy(15,2)  ;
  write ('Nombre de noeuds =  ') ;
    read (ndn) ;
   gotoxy(15,6)  ;
  write('Nombre de lignes = ') ;
    read (ndl) ;
  for i:=1 to ndn do

    BEGIN
      clrscr ;
      gotoxy(25,1)  ;
      writeln('Sommet No ',i)  ;
        IF I<>1 THEN

         BEGIN
           gotoxy(4,4)  ;
           writeln('Combien de lignes sont connectes a ce sommet ? ') ;
            gotoxy(5,20) ;

              BEGIN
                 write('EXCLURE LES LIGNES ')  ;
                 for z:=1 to (i-1) do
                 write(' ',i,' - ',z,'   ')  ;
              END  ;

            gotoxy( 55 ,4) ;
            read(ndlr) ;
         END

        ELSE

         BEGIN
             write('Combien de lignes sont connectes au sommet  ',i)  ;
             read (ndlr)  ;
          END ;

         clrscr ;
         gotoxy(5,1) ;
           write('SOMMET No ',i) ;
         gotoxy(1,4) ;
           write('No EXTREMITE    ','   RESISTANCE  ','   INDUCTANCE  ','  Y shunt')  ;
              for j:=1 to ndlr DO

               BEGIN
                 s:=(j+5)  ;
                  gotoxy(4,s)  ;
        tetu  :    read(ext) ;
                     IF ext<=j THEN

                       BEGIN
                         gotoxy(4,s)  ;
                         write('           ')  ;
                         goto tetu  ;
                       END

                     ELSE BEGIN
                         gotoxy(20,s) ;
                          read(res[i,ext]) ;  res[ext,i]:=res[i,ext] ;
                         gotoxy(36,s) ;
                          read(xl[i,ext]) ;   xl[ext,i] :=xl[i,ext]   ;
                         gotoxy(50,s) ;
                          read(ysh[i,ext]) ;  ysh[ext,i]:=ysh[i,ext]
                       END  ;
```

```
          END ;

      END ;

     clrscr  ;
     gotoxy(20,10)  ;
     writeln( 'PROGRAMME TERMINE ')

  END .
```