

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTÉ A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN SCIENCES APPLIQUEES  
(RESSOURCES ET SYSTEMES)

PAR

ADAMA D. DIARRA

B. Ing. (Génie électrique)

LA REPARTITION OPTIMALE DE LA PUISSANCE REACTIVE  
POUR LE CONTROLE DES TENSIONS DE BARRE  
D'UN RESEAU ELECTRIQUE PAR SIMPLEX LP.

SEPTEMBRE 1984



### **Mise en garde/Advice**

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

TITRE DU MEMOIRE: La répartition optimale de la puissance réactive  
pour le contrôle des tensions de barre d'un réseau  
électrique par SIMPLEX LP.

AUTEUR : Adama D. Diarra

### R E S U M E

Jusqu'à maintenant, plusieurs modèles mathématiques ont été développés par différents chercheurs pour la planification, l'exploitation et la gestion des réseaux électriques. Malgré l'élégance de la formulation dans certains cas et une précision exceptionnelle dans d'autres, la majorité de ces modèles ne conviennent pas à une application industrielle en temps réel. Les raisons retenues et évoquées sont principalement le temps de calcul mis pour atteindre une solution optimale du problème lors de la simulation d'événements fortuits et aussi, l'espace mémoire requis en cas d'analyse de grands réseaux.

Dans ce travail de recherche, nous présentons une nouvelle formulation mathématique linéaire de la répartition optimale de la puissance réactive pour le contrôle de la variation des tensions de barre d'un réseau électrique et sa solution par la programmation linéaire Simplex. Le principe repose sur les propriétés de découplage des paramètres caractéristiques d'un système de distribution d'énergie électrique en deux modèles distincts:

- puissance active ( $P$ ) et angle de phase ( $\theta$ ), (BUI et GHADERPANAH, 1982);
- puissance réactive ( $Q$ ) et amplitude de la tension ( $v$ ), objet du présent mémoire.

Pour des raisons pratiques, le modèle minimise la somme des valeurs absolues des variations des tensions en cas de contingences, par une génération de puissance réactive appropriée. La formulation mathématique de cette fonction objective et celle des relations d'injections de puissance conduisent à des équations non linéaires. Ainsi, l'approche de ce modèle est basée sur la linéarisation de ces équations et de l'utilisation d'un support mathématique de transformation pour rendre l'énoncé final du problème compatible avec l'application de la programmation linéaire.

Les contraintes incluses tiennent compte de la physique et de la sécurité du réseau et sont introduites par les variations des tensions permises autour du point d'opération et les capacités de production des sources ou génératrices de puissance réactive.

L'algorithme de solution développé a permis l'écriture d'un programme en Fortran IV (PROGQV) pouvant simuler les situations telles:

- l'écoulement optimal des charges réactives;
- la fluctuation de la demande (consommation);
- la panne des lignes de transmission (circuit ouvert);
- la panne des génératrices (sources de puissance réactive hors circuit).

La méthode de solution est itérative et ne nécessite pas l'utilisation de fonction de pénalité ou de recherche orientée qui généralement, occasionne une difficulté de convergence. En plus, aucune inversion de matrice n'est effectuée, ce qui ajouté aux avantages mentionnés, entraîne une diminution du temps de calcul.

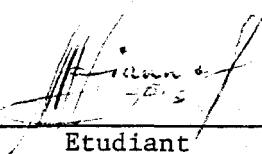
Les informations d'entrée du programme sont les données standard d'un problème de la répartition optimale des charges et celles de sortie sont les valeurs optimales des équipements de contrôle, soit les puissances réactives générées aux différents points de production.

Ainsi, afin de vérifier la validité de l'approche, les quatre sortes de contingences citées antérieurement ont été simulées comme application, à l'aide d'un système de distribution de 10 barres, et 14 lignes de transmission. Dans chacun des cas, l'idée de base était de garder le système aussi proche que possible de son point d'opération par une nouvelle réallocation des puissances réactives générées.

Les différentes solutions optimales obtenues sont toutes physiquement réalisables de par la nature des contraintes et d'une précision acceptable sur le plan pratique. Le temps de calcul moyen requis pour atteindre l'optimalité est de 5.5 CPS sur l'ordinateur CYBER 825.

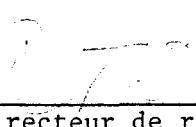
D'une manière générale, les résultats de l'application numérique nous portent à croire à la validité du concept et que l'utilisation de l'algorithme serait principalement efficace pour assister un opérateur dans la surveillance et la gestion en temps réel de grands réseaux électriques, où la maintenance des tensions à l'intérieur de tolérance spécifiée, une prise de décision et port d'action rapides sont exigés lors d'événements fortuits.

---



Etudiant

---



Directeur de recherche

## RESUME

Ce travail présente la formulation mathématique linéaire de la répartition optimale de la puissance réactive, basée sur le contrôle de la variation des tensions de barre d'un réseau électrique et les résultats de différentes situations simulées. Le modèle minimise la somme des valeurs absolues des variations des tensions dans chaque cas de contingence étudié par une génération de puissance réactive appropriée.

L'approche essentielle du modèle est axée sur la linéarisation des équations d'injection de puissance afin d'appliquer la programmation linéaire Simplex version révisée.

Les contraintes incluses tiennent compte de la physique et de la sécurité du réseau, et sont introduites par les variations des tensions permises autour du point d'opération et les capacités de production des sources ou génératrices de puissance réactive.

Différents cas ont été simulés à l'aide de l'algorithme développé, tels:

- l'écoulement optimal des charges réactives;
- la fluctuation de la demande (consommation);
- la panne des lignes de transmission (circuit ouvert);
- la panne des génératrices (sources de puissance réactive hors circuit).

La méthode est itérative et ne nécessite pas l'utilisation de fonction de pénalité ou de recherche orientée, qui généralement occasionne une difficulté de convergence. En plus, aucune inversion de matrice n'est effectuée, ce qui, ajouté aux avantages mentionnés, entraîne une diminution du temps de calcul.

Les résultats de l'application numérique nous portent à croire à la validité du concept et que son utilisation serait pratique dans la gestion et la surveillance en temps réel de grands réseaux électriques, où la stabilité des tensions et une prise d'action et de décision rapide sont exigées lors d'événements fortuits.

**ii**

*A ma femme et mes enfants*

### REMERCIEMENTS

Je désire adresser mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui, par leur assistance, ont contribué à rendre possible la réalisation de cette recherche.

Plus spécialement, je remercie vivement monsieur le professeur R.T. Bui, pour avoir accepté de diriger ce mémoire, qu'il veuille trouver ici l'expression de toute ma gratitude.

Ma reconnaissance va:

Aux membres du groupe de recherche, Ingénierie des systèmes de l'Université du Québec à Chicoutimi, pour leur aide financière durant toute la période de ce travail.

A monsieur Thierry Bourgeois, ingénieur de recherche, pour la bienveillance qu'il m'a témoignée.

A monsieur Camille Simard qui m'a fait profiter de son expertise pour les aspects qui touchent l'utilisation du système informatique de CYBER.

A madame Annette Marier, pour avoir accepté de mettre en forme ce document.

## SOMMAIRE

Dans ce travail, nous nous proposons de faire une étude bibliographique des articles publiés sur la répartition des charges. Nous effectuerons également un résumé de la programmation linéaire et un survol de la théorie des réseaux électriques afin d'introduire le concept de la modélisation et de la résolution numérique des systèmes de distribution d'énergie.

Nous basant sur les propriétés du découplage des paramètres ( $P-\theta$  et  $Q-V$ ), nous développerons un nouveau modèle linéaire de la répartition optimale de la puissance réactive pour le contrôle de la variation des tensions de barre et son algorithme de solution par la méthode du Simplex, version révisée. Nous développerons conformément à cet algorithme un programme d'ordinateur écrit en Fortran IV.

Nous concluerons par une analyse des résultats obtenus lors de la simulation de différents cas pratiques afin de démontrer la validité de l'approche et de ressortir les performances du modèle.

## TABLE DES MATIERES

	Page
RESUME.....	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
SOMMAIRE.....	iv
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
CHAPITRE I	
INTRODUCTION.....	1
1.1 GENERALITES.....	1
1.2 TRAVAUX ANTERIEURS ET ETUTES BIBLIOGRAPHIQUES.....	3
1.3 OBJECTIF DES TRAVAUX.....	8
CHAPITRE II	
PROGRAMMATION LINEAIRE.....	11
2.1 GENERALITES.....	11
2.2 ENONCE DU PROBLEME GENERAL DE PROGRAMMATION LINEAIRE.....	11
2.3 SOLUTION GRAPHIQUE.....	14
2.4 DEFINITIONS ET THEOREMES.....	14
2.5 METHODE DU SIMPLEX.....	17
2.5.1 Description de la méthode.....	17
2.5.2 Forme canonique.....	18
2.5.3 Fonctionnement de la méthode du Simplex.....	19

	Page
2.5.4 Résumé de l'algorithme du Simplex.....	23
2.6 CONCLUSION.....	23
 CHAPITRE III	
REPARTITION DES CHARGES DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES.....	25
3.1 INTRODUCTION.....	25
3.1.1 Généralités.....	25
3.1.2 Principe de fonctionnement d'un réseau électrique.....	28
3.1.3 Relations paramétriques du Système.....	31
3.2 ECOULEMENT STATIQUE DES CHARGES.....	35
3.2.1 Formulation des équations d'écoulement statique des charges.....	35
3.2.2 Caractéristique des équations d'écoulement statique des charges (SLFE).....	40
3.2.3 Principe de base de la solution du SLFE.....	42
3.2.4 Contraintes pratiques sur les variables.....	43
3.2.5 Méthodes numériques de solution du SLFE.....	43
3.3 ECOULEMENT OPTIMAL DES CHARGES (OPTIMAL LOAD FLOW).....	54
3.3.1 Formulation générale.....	54
3.3.2 Principe de base de solution de l'OLF.....	58
3.3.3 Méthode numérique de solution.....	60
3.4 RESUME.....	61
 CHAPITRE IV	
MODELES LINEAIRES.....	63
4.1 LINEARISATION DES EQUATIONS.....	63
4.1.1 Fondement du découplage.....	63

	Page	
4.1.2 Modèle linéaire de la puissance active.....	66	
4.1.3 Modèle linéaire de la puissance réactive.....	68	
4.2 FORMULATION DU PROBLEME.....	72	
4.2.1 Enoncé du problème.....	72	
4.2.2 Fonction objective.....	73	
4.2.3 Contraintes du modèle.....	74	
4.2.4 Enoncé final.....	75	
4.2.5 Algorithme de solution numérique.....	77	
 CHAPITRE V		
APPLICATION NUMERIQUE ET RESULTATS.....	82	
5.1 APPLICATION.....	82	
5.2 RESULTATS NUMERIQUES.....	84	
 CONCLUSION.....		100
BIBLIOGRAPHIE.....	102	
APPENDICE A.....	105	
APPENDICE B.....	106	
ANNEXE 1 - ZX3LP.....	108	
ANNEXE 2 - PROGQV.....	113	

## LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau 1	Information de base sur le système.....	88
Tableau 2	Ecoulement des charges.....	89
Tableau 3	Voltages de $G_2$ et $G_{10}$ contrôlés.....	90
Tableau 4	Augmentation de 25% de la demande totale.....	91
Tableau 5	Diminution de 50% de la demande totale.....	92
Tableau 6	Panne de la génératrice 1.....	93
Tableau 7	Panne de la génératrice 3.....	94
Tableau 8	Panne de la génératrice 10.....	95
Tableau 9	Ligne 1 coupée.....	96
Tableau 10	Ligne 3 coupée.....	97
Tableau 11	Ligne 5 coupée.....	98
Tableau 12	Ligne 10 coupée.....	99

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 2.1	Solution graphique.....
Figure 2.2	Définition des ensembles.....
Figure 3.1	Circuit équivalent d'un réseau à 2 barres.....
Figure 3.2	Réseaux de distribution à 3 noeuds.....
Figure 3.3	Méthode itérative de Gauss.....
Figure 3.4	Méthode itérative de Gauss-Seidel.....
Figure 3.5	Méthode de relaxation.....
Figure 3.6	Méthode de Newton-Raphson.....
Figure 4.1	Principe de découplage.....
Figure 4.2	Représentation de la fonction objective.....
Figure 4.3	Résumé de l'algorithme.....
Figure 4.4	Ordinogramme de PROGQV.....
Figure 5.7	Réseau de 10 barres et 14 lignes.....

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

#### 1.1 GENERALITES

La planification, la conception et l'opération d'un réseau électrique exigent une analyse élaborée, continue et compréhensive des informations sur le système actuel afin de s'assurer du fonctionnement sécuritaire de l'équipement connecté et ou de la validité d'une alternative d'expansion. Les sommes investies étant élevées, il s'agissait la plupart du temps de formuler des modèles à caractère économique. La fonction objective généralement adoptée était le coût total d'opération du système, c'est-à-dire que le prix total de combustible nécessaire aux stations de production (génération) est souvent minimisé par une répartition appropriée des puissances active et réactive générées, tout en maintenant les valeurs des tensions entre des limites inférieures et supérieures spécifiées.

Sur le plan pratique, quelques réserves et questions [20] ont été émises:

- Est-ce un moyen pratique et économiquement convenable de formuler le problème du contrôle de niveau des tensions comme problème d'optimisation avec une fonction objective qui est le coût total d'opération du système?
- Ne serait-ce pas plus réaliste d'avoir un modèle simple qui déterminetrait de façon approximative les groupes optimaux de puissances réacti-

ves basées sur la déviation des tensions de leur valeur spécifiée?

- Est-ce que l'objectif primaire du contrôle de la tension et de la répartition de la puissance réactive est la minimisation des coûts d'opération des équipements, ou la réduction de l'ensemble des déviations ou des variations des tensions aux différentes barres de consommation du système?

En regard à ces questions, l'approche du présent travail sera la minimisation des variations de l'amplitude des tensions autour du point d'opération du système étudié. Comme nous le savons, l'opérateur d'un réseau électrique doit s'assurer de façon continue de la régularité et de la qualité du service quelles que soient les demandes effectuées par la clientèle, tout en respectant rigoureusement les tolérances spécifiées sur l'amplitude des tensions. Dans une configuration réelle, la valeur nominale de ces tensions diffère d'une barre à l'autre et des sources de production de puissances réactives sont installées d'un point à un autre du système.

L'opération d'un équipement de contrôle d'une sous-station, le changement dans la configuration du réseau, ou la variation de la demande, influencent toujours, plus ou moins l'amplitude des différentes tensions de barre.

Cette situation peut être améliorée par l'opérateur, en coordonnant la répartition générale de la puissance réactive générée comme stratégie de contrôle des variations; soit par un ajustement des prises de transformateurs de charge, soit par un redressement sélectif à l'aide de banque de condensateurs shunt ou de compensateurs synchrones.

## 1.2 TRAVAUX ANTERIEURS ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Depuis le début des années 1960, l'industrie de l'énergie électrique est devenue un usager potentiel de l'ordinateur pour son application en temps réel dans l'opération et l'exploitation des réseaux électriques. Grâce à cet instrument privilégié et efficace, plusieurs travaux ont été réalisés. Parmi eux, on situe trois grandes catégories:

- l'écoulement statique des charges, qui consiste à évaluer les paramètres de fonctionnement statiques d'un réseau électrique en régime permanent;
- la répartition économique dont l'objectif général est de minimiser le coût global d'opération du système par une allocation des puissances active et réactive générées;
- l'écoulement optimal des charges qui, dépendamment de la formulation du problème, peut avoir une fin de contrôle ou un caractère économique. La structure générale est la résolution des équations d'écoulement des charges et d'autres équations de contraintes spécifiques pour minimiser une fonction objective déterminée.

Ainsi, l'écoulement des charges ou de puissances qui est explicitement la solution d'une condition d'opération d'un système de transmission d'énergie électrique est aussi la plus répandue. La formulation de base [1,2] développée à partir d'une matrice des admittances de noeud du système a été résolue par la méthode de Newton-Raphson. Compte tenu de la nature de ces équations, cette approche simplifiée était justifiée. Plus tard, différentes méthodes de solutions numériques telles l'élimination de Gauss, de Gauss-Seidel, etc., élaborées à l'aide d'une matrice d'impédance de noeud

ou de boucle[3-6] furent mises en application. Les détails de ces développements sont connus et bien expliqués dans [7] et [35]-[38]. Certains auteurs [8] se sont intéressés à la solution du problème en cas de contingences tout en s'inspirant de l'idée de base de [3]. Quant aux problèmes de l'écoulement optimal des charges et de la répartition économique, ils ont suscité beaucoup d'intérêts. Depuis le développement des équations de coordination [9] et de la formulation du problème, sujet à des contraintes d'égalité et d'inégalité [10], un grand nombre de modèles ont été élaborés. Différentes méthodes de solutions [11]-[15] ont été essayées. Une généralisation de celles-ci et plusieurs précisions sur la spécificité des formulations peuvent être retrouvées dans [16]-[17]. L'un des premiers auteurs à traiter le problème de la répartition optimale de la puissance réactive [18] avait coordonné ce dernier avec celle de la répartition de la puissance active pour minimiser les coûts de production. Leur procédure détermine premièrement le dispatching économique de la puissance active par les multiplicateurs de Lagrange et procède à l'optimisation de la puissance réactive générée par la méthode du gradient.

Peschon et autres [19] ont présenté une méthode de minimisation des pertes actives par une sélection judicieuse des puissances réactives injectées dans le système et un ajustement approprié des prises de transformateurs. Ils ont également introduit un algorithme pratique qui conduit chaque solution vers un point optimal réalisable.

Hano et autres [20] ont présenté une méthode de calcul du profil de tension et la répartition des puissances réactives dans un réseau électrique par

la méthode du gradient conjugué et une minimisation des pertes actives par une technique de recherche directe.

Dommel et Tinney [21] ont développé une méthode d'optimisation non linéaire pour déterminer la solution de l'écoulement optimal des charges. Ils minimisent une fonction objective non linéaire des coûts de production du système ou les pertes, satisfaisant les conditions de Kuhn-Tucker. Une fonction de pénalité permet de conduire à l'optimalité.

Sullivan [22] [23] a formulé un problème d'écoulement optimal des charges axé sur l'optimisation des sources de puissances réactives générées tout en maintenant les contraintes sur les tensions de barre. Leur formulation est résolue par une méthode de programmation non linéaire.

Savulescu [24] a formulé une approche permettant de déterminer la sensibilité des pertes, la transmittance de la puissance réactive et les indices de stabilité d'un réseau électrique en régime permanent. Se basant sur ces indices, il emploie une procédure efficace pour atteindre les conditions optimales d'opération exigées pour le système.

La plupart des auteurs mentionnés antérieurement ont résolu le problème de l'écoulement optimal des charges par une méthode numérique de solution non linéaire telle que la technique du gradient et ses variantes. Cependant dans la littérature, d'autres types de formulations ont été introduits.

Nicholson et Sterling [25] ont résolu le problème original par l'appro-

che de la programmation quadratique après l'avoir scindé en deux sous-problèmes  $P$ ,  $\theta$  et  $Q, V$ . La fonction objective pour la puissance réactive est quadratique et fonction de  $P_G$ . Les pertes actives sont assumées constantes et toutes les contraintes sont des fonctions linéaires de  $P_G$ . La répartition de la puissance active est résolue par la méthode de Beale et celle de la minimisation des pertes actives par un choix judicieux des puissances réactives injectées à l'aide de la méthode du gradient. Certaines contraintes sont imposées sur les tensions.

Narita et Hamman [26] utilisent l'analyse de la sensibilité d'un réseau électrique et une méthode d'optimisation appelée "Method of Box" pour minimiser la déviation des tensions de leur valeur spécifiée. Comme étape secondaire de leur travail, ils minimisent les pertes totales de puissance active du système.

Shoultz et Chen [27] ont développé un modèle permettant d'évaluer les facteurs d'ajustement des prises de transformateurs et les amplitudes des tensions des génératrices requises pour établir un bon écoulement des puissances réactives à travers les lignes de transmission tout en satisfaisant les contraintes sur le niveau des tensions des barres de consommation.

Ces méthodes ne sont pas pratiques pour la répartition optimale de la puissance réactive pour le contrôle des tensions de barre. Considérant que sur le plan pratique, un des critères de performance essentiel de l'utilisation des méthodes numériques dans le calcul des réseaux est le temps requis pour atteindre la solution optimale, et compte tenu du degré de précision nécessaire pour la tension de barre, il est intéressant de développer une méthode qui puisse être appliquée à ce type de problème.

sion demandé, certaines contributions dans ce champ d'études ont été l'utilisation de la programmation linéaire. La formulation standard de celle-ci n'étant pas directement compatible avec la nature des équations, chaque auteur a présenté les détails conduisant à la réalisable de l'algorithme [28] [29].

Hobson [30] a développé une méthode permettant de ressortir les contraintes nécessaires pour le contrôle de la puissance réactive. Il utilise un modèle différentiel des lignes de transmission et des prises de transformateurs et d'autres équations linéarisées du système. Le problème est alors résolu en attribuant des facteurs de poids aux générateurs du système.

Mescua et Daneshdoost [31] ont présenté une méthode qui consiste à déterminer une zone sécuritaire du profil des tensions des génératrices tout en maintenant celle des points de consommation, les puissances actives et réactives générées dans les limites acceptables.

Mamandur et Chenoweth [32] ont développé une méthode employant les relations de sensibilité linéarisée d'un réseau électrique pour établir à la fois une fonction objective qui minimise les pertes différentielles totales de puissance active et les indices de performance reliant les variables d'état aux variables de contrôle du système. La formulation duale permet d'évaluer l'ajustement des variables de contrôle pour améliorer le profil des tensions.

Fernandes et autres [33] ont réalisé un modèle applicable aux grands réseaux. Leur approche et leur formulation spéciale leur permettent de traiter

le problème de la recherche de l'investissement minimal pour l'allocation de la puissance réactive d'un système à 600 barres par la méthode du Simplex version révisée.

Le modèle du présent travail introduit un nouvel algorithme de la répartition optimale de la puissance réactive pour minimiser les variations des tensions de barres. Il a été développé à partir de la linéarisation des relations d'injection de puissance réactive et toute solution optimale doit satisfaire les contraintes de sécurité pour les variables d'état et celles de suffisance pour les variables de contrôle. Comme le modèle est découpé il utilise les informations provenant de la répartition économique de la puissance active.

### 1.3 OBJECTIFS DES TRAVAUX

La démarche de ce mémoire s'inscrit dans la suite de l'article publié par Bui et Ghaderpanah [34]. Dans cet article, une méthode linéaire traitant la puissance active a été développée pour commencer la réalisation de logiciel d'analyse de grands réseaux électriques. Le principe général se résume ainsi:

- connaissant les amplitudes des tensions de barre et les caractéristiques économiques des points de production de puissance active, évaluer les puissances générées et les phases des tensions de barre qui minimisent les pertes actives totales d'une part. D'autre part, à l'aide des paramètres optimaux ainsi obtenus, utiliser le modèle de la puissance réactive pour garder constantes ces conditions d'opération sécuritaires et économiques, en minimisant

la déviation des tensions par une nouvelle allocation des puissances réactives générées.

Spécifiquement dans ce travail, il s'agit de développer le modèle de la puissance réactive et concrétiser le logiciel permettant son application.

Comme le but visé dans l'algorithme est de minimiser les déviations des tensions de leur point d'opération actuel, une fonction objective linéaire de ces variables est utilisée. La procédure de solution étant itérative, la méthode utilise les informations de base du présent point d'opération pour déterminer un nouveau point de contrôle optimal, ce qui est très pratique, en particulier lors de la simulation des situations telles la variation des demandes, les pannes des lignes de transmission et ou des génératrices hors circuit.

Ainsi pour avoir un modèle satisfaisant les besoins mentionnés, la démarche ci-après a été suivie:

1. un résumé de la théorie de la programmation linéaire faisant ressortir les spécificités inhérentes à la formulation du problème;
2. un développement général des équations de la répartition des charges (théorie des réseaux électriques);
3. un modèle linéaire de la puissance réactive satisfaisant les critères énoncés à l'étape 1 afin de développer un algorithme de solution par la méthode du Simplex.

La motivation de ce choix, modèle linéaire résolu par Simplex version ré-

visée, est une diminution considérable du temps de calcul, la réduction de l'espace mémoire requis et une précision acceptable des variables de sortie du programme, sur le plan pratique.

## CHAPITRE II

### PROGRAMMATION LINEAIRE

#### 2.1 GENERALITES

L'utilisation de la programmation linéaire dans la résolution des problèmes d'optimisation est chose connue de longue date. Dans ce chapitre, un résumé du principe de cette théorie est donné. Des définitions et des règles spécifiques à ce genre de formulation de problème sont fournies afin de contribuer à la clarté du texte et à la compréhension de la démarche entreprise dans cet ouvrage. Cette théorie générale a déjà été modifiée pour la rendre aisément programmable, méthode du Simplex version révisée qui est à la base du sous-programme d'optimisation, ZX3LP, utilisée dans l'algorithme de solution du modèle de ce travail.

#### 2.2 ENONCE DU PROBLEME GENERAL DE PROGRAMMATION LINEAIRE

Le problème général est posé de la façon suivante. Trouver pour quelles valeurs des variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , la fonction objective linéaire suivante est optimale.

$$F(\underline{x}) = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n = \begin{matrix} \text{MIN} \\ \text{ou} \\ \text{MAX} \end{matrix} \quad (2.1)$$

où  $C_1, C_2, \dots, C_n$  sont des facteurs de poids connus.

A cette fonction à optimiser s'ajoutent un certain nombre de contraintes:

- les contraintes de non-négativité, nécessaires en programmation linéaire:

$$x_j \geq 0 \quad \text{pour } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

- les contraintes d'égalité linéaire de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  de la forme

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\vdots && \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m \end{aligned} \quad (2.3)$$

où  $a_{ij}$  et  $b_i$  sont des paramètres connus.

Les relations précédentes peuvent s'écrire sous forme de sommation:

$$\begin{aligned} \text{MIN } F &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{MAX } F &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\text{sujet à } \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.5)$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

On peut rencontrer également des relations d'inégalité linéaire de  $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$  du type

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i \quad (2.7)$$

qu'on doit alors transformer par l'addition d'une variable d'écart  $s_i$  (slack variable), en contrainte d'égalité pour obtenir

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + s_i = b_i \quad (2.8)$$

où du type

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i \quad (2.9)$$

qu'on devra transformer pour avoir la relation d'égalité

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n - s_i = b_i \quad (2.10)$$

Dans les relations (2.8) et (2.10) la variable d'écart  $s_i$  est toujours positive.

### 2.3 SOLUTION GRAPHIQUE

Lorsque le problème comporte uniquement deux variables, une solution graphique peut être obtenue.

Soit le problème suivant:

$$\text{Min } F = -5x_1 - x_2$$

sujet à:

$$x_1 + x_2 \geq 2$$

$$x_1 - x_2 \geq 3$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 6$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

On trace d'abord les limites des contraintes:

$$x_1 + x_2 = 2 \rightarrow x_2 = -x_1 + 2$$

$$x_1 - x_2 = 3 \rightarrow x_2 = x_1 - 3$$

$$x_1 + 2x_2 = 6 \rightarrow x_2 = -\frac{1}{2}x_1 + 3$$

$$x_1 = 0$$

$$x_2 = 0$$

L'équation à optimiser s'écrit:

$$-F = 5x_1 + x_2$$

Choisissons  $x_2$  comme ordonnée et  $x_1$  comme abscisse, la représentation graphique du problème donne la Fig. 2.1, à la page suivante.

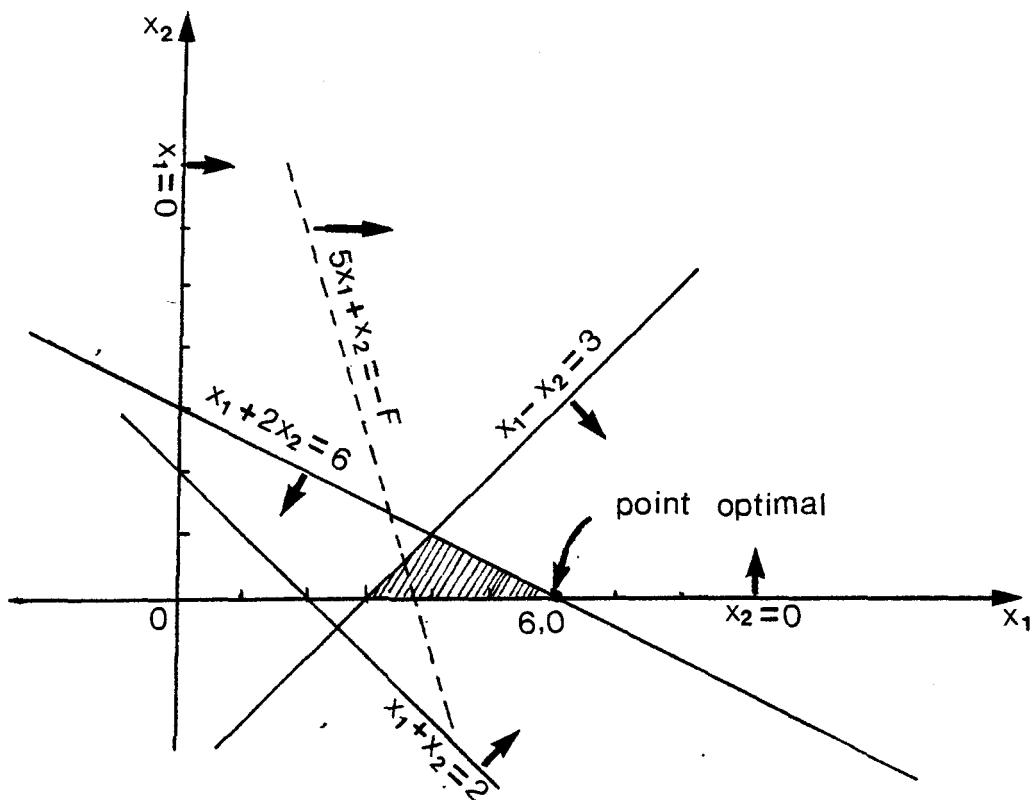


Figure 2.1 SOLUTION GRAPHIQUE

Le sens des flèches indique la direction et l'orientation selon laquelle la contrainte est satisfaite. On remarque que la zone hachurée est la région qui satisfait toutes les contraintes du problème. Un déplacement successif de l'équation de la fonction objective parallèlement à sa pente vers la droite, nous permet de trouver les coordonnées  $x_1 = 6$  et  $x_2 = 0$  qui forment la solution optimale. Ainsi la valeur minimale de  $F(x) = -30$  et cette solution est unique compte tenu des contraintes spécifiées.

#### 2.4 DEFINITIONS ET THEOREMES

Il existe pour la programmation linéaire une terminologie standard avec

laquelle il faut se familiariser. On développe ces concepts pour un système à deux (2) variables à l'aide d'une interprétation géométrique. Ils sont alors étendus mathématiquement à un système à n variables sans preuve.

Définitions:

1. Un ensemble convexe est un ensemble de points (donc de surface) tel que si deux points  $p_1$  et  $p_2$  sont joints par une droite, alors toute cette droite est contenue dans l'ensemble (Fig. 2.2).

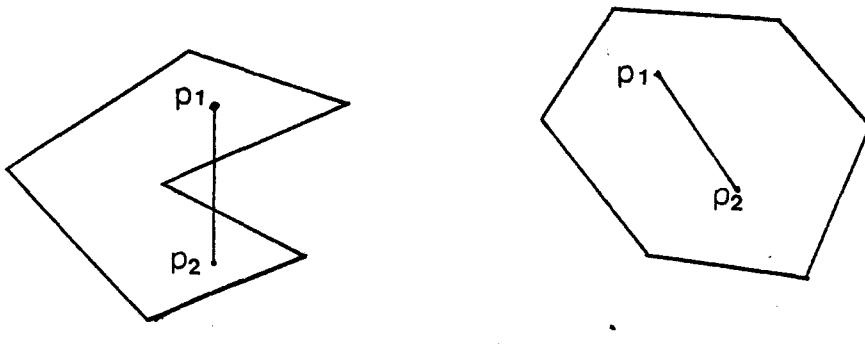


Figure 2.2

2. Un point extrême ou sommet est un coin de l'ensemble convexe où un point qui n'est pas situé sur une droite joignant deux autres points quelconques de l'ensemble.

3. Une solution réalisable (feasible solution) est une solution qui satisfait les équations de contrainte et les limites sur les variables sans nécessairement satisfaire la condition à optimiser, c'est donc un point quelconque de la surface hachurée (Fig. 2.1) qui contient elle, toutes les solutions réalisables.

4. Une solution principale (basic solution) est une solution des équations de contrainte (2.3) seulement, obtenue d'une façon déterminée: s'il y a  $m$  équations et  $n$  variables, on met  $n - m$  variables égales à zéro, et on résout pour le reste des variables.

5. Une base (basis) est l'ensemble des  $m$  variables qui ne sont pas égales à zéro dans la solution principale.

6. Une solution fondamentale (basic feasible solution) est une solution principale qui satisfait également aux conditions de non négativité des variables.

7. Une solution fondamentale optimale (optimal feasible solution) est la solution fondamentale qui satisfait la condition d'optimum.

Théorèmes:

1. Toutes les solutions réalisables constituent un ensemble convexe dont les sommets sont des solutions fondamentales.

2. Si un problème a une solution réalisable, il a aussi une solution fondamentale.

3. Si la fonction d'optimisation possède un minimum fini (ou un maximum), alors cet optimum est une solution fondamentale.

Dans la réalisation d'un algorithme, ce dernier théorème nous permet de

voir que la recherche de solution consistera à vérifier la fonction à optimiser pour les différentes solutions fondamentales (ou sommet du polygone convexe) et qu'une de ces solutions constituera la réponse au problème.

## 2.5 METHODE DU SIMPLEX

Cette méthode a été mise au point par DANTZIG en 1947 et permet de résoudre des problèmes avec autant de variables et de contraintes qu'on veut à l'aide de l'ordinateur. Soit à résoudre le problème suivant:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1m}x_m + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2m}x_m + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mm}x_m + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

et qui rendent minimum la fonction à optimiser

$$F(x) = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_mx_m + \dots + C_nx_n \quad (2.12)$$

Compte tenu de

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.13)$$

où  $a_{ij}$ ,  $b_i$ ,  $C_j$  sont des constantes connues. On désigne par  $U$  la valeur de  $F(x)$ , la fonction objective.

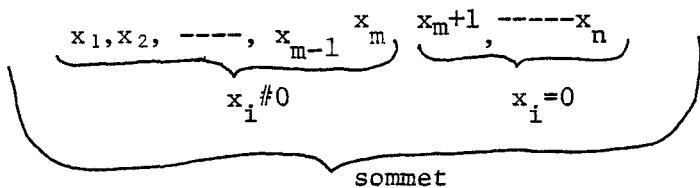
### 2.5.1 Description de la méthode

La méthode du Simplex est une procédure répétée qui consiste à se déplacer d'un sommet à un autre adjacent de l'ensemble convexe ayant une plus petite valeur de  $U$ . Un sommet est identique à une solution fondamentale comprenant une base:

$$(x_1, x_2, \dots, x_m) \neq 0$$

et des variables  $x_i$  égales à zéro.

Ainsi dans l'ensemble des  $x$  on a:



Le déplacement d'un sommet à un autre adjacent s'opère en substituant une variable égale à zéro à une variable de la base et en mettant la variable sortie de la base égale à zéro. Autrement dit, à chaque déplacement de sommet correspondant à la transformation de la méthode SIMPLEX, on change une et une seule variable de la base.

### 2.5.2 Forme canonique

La forme canonique d'un groupe de variables est un système d'équations dans lequel pour chaque  $i$ , la  $i^{\text{eme}}$  variable de base apparaît avec un coefficient unitaire dans la  $i^{\text{eme}}$  équation et nul partout. Elle est généralement obtenue par l'utilisation d'une méthode d'élimination (GAUSS, GAUSS-JORDAN, etc) ou par la phase I du Simplex.

Sa représentation générale est la forme suivante:

$$\begin{aligned}
 & x_1 + 0x_2 + 0x_3 + \dots 0x_m \dots \\
 & 0x_1 + x_2 + 0x_3 + \dots 0x_m \dots \\
 & 0x_1 + 0x_2 + x_3 + \dots 0x_m \dots \\
 & \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
 & 0x_1 + 0x_2 + 0x_3 + \dots x_m \dots
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

### 2.5.3 Fonctionnement de la méthode du Simplex

Au départ on suppose que l'on connaît une solution fondamentale (sommet du polygone convexe) composé des variables de base  $(x_1, x_2, \dots, x_m) \neq 0$  et des variables hors base  $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n = 0$ . De plus, on admet que les équations de départ ont été mises sous forme canonique par une méthode d'élimination. Cela donne la présentation suivante:

$$\begin{aligned}
 x_1 & + a'_{1,m+1} x_{m+1} + \dots + a'_{1n} x_n = b'_1 \\
 x_2 & + a'_{2,m+1} x_{m+1} + \dots + a'_{2n} x_n = b'_2 \\
 & \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
 x_m & + a'_{m,m+1} x_{m+1} + \dots + a'_{mn} x_n = b'_m \\
 C'_{m+1} x_{m+1} & + \dots + C'_{nn} x_n = U - U_o
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

Les coefficients de la forme canonique (2.15) sont différents de ceux de la relation (2.11), d'où l'utilisation des primes ('') pour l'indiquer.

La solution fondamentale ou sommet correspondant à (2.15) s'obtient en posant:

$$\begin{aligned}
 x_{m+1} &= 0 \\
 x_{m+2} &= 0 \\
 &\vdots \\
 x_n &= 0
 \end{aligned}$$

et s'écrit:

$$x_i = b'_i \quad i = 1, 2, \dots, m \tag{2.16}$$

$$U = U_o \tag{2.17}$$

On veut passer d'un sommet que l'on connaît à un sommet adjacent où la valeur de  $U$  sera inférieure. Nous avons besoin d'un indicateur pour spécifier de quel côté faire progresser la solution (ou quelle variable faire entrer dans la base). On peut montrer que cet indicateur est  $C_j$ .

Supposons que l'on considère la variable non basique  $x_s$ , la prochaine qui entre dans la base et qu'on lui donne une valeur positive différente de zéro (0).

Le fait de changer une seule variable nous assure de prendre un sommet adjacent.

Les conséquences de mettre  $x_s > 0$  seront:

a) les valeurs des variables basiques vont changer de façon à satisfaire les équations lorsque  $x_s \neq 0$ , donc on obtient une nouvelle solution fondamentale;

b) la valeur de la fonction à optimiser va aussi changer. Cette fonction est:

$$C'_{m+1}x_{m+1} + -C'_s x_s + ---C'_n + U$$

Comme  $x_s \geq 0$ , pour s'assurer que  $U$  diminue,  $C'_s$ , coefficient correspondant à  $x_s$  doit être négatif et avoir la valeur la plus grande possible.

Ainsi, pour déterminer le choix du  $x_s$ , on examine les  $C'_s$  possibles et

on choisit parmi les  $C'_j$  négatifs, celui qui a la plus grande valeur.

Ayant déterminé le  $x_s$ , quelle valeur ce dernier doit prendre pour minimiser U?

Définissant  $x_r$ , comme la variable devant sortir de la base, on transporte les  $a'_{is} x_s$  à droite des équations et on obtient:

$$\begin{aligned}
 x_1 & + a'_{1,m+1} x_{m+1} + \dots - a'_{n,n} x_n = b'_1 - a'_{1s} x_s \\
 x_2 & + a'_{2,m+1} x_{m+1} + \dots - a'_{n,n} x_n = b'_2 - a'_{2s} x_s \\
 x_i & + a'_{i,m+1} x_{m+1} + \dots - a'_{in} x_n = b'_i - a'_{is} x_s \\
 x_r & + a'_{r,m+1} x_{m+1} + \dots - a'_{rn} x_n = b'_r - a'_{rs} x_s \quad (2.18) \\
 x_m & + a'_{m,m+1} x_{m+1} + \dots - a'_{mn} x_n = b'_m - a'_{ms} x_s \\
 C'_{m+1} x_{m+1} & + \dots - C'_{n,n} x_n = U - U^0 - C'_{ss} x_s
 \end{aligned}$$

De l'équation (2.18), on remarque que lorsque  $x_{m+1} = \dots = x_n = 0$ , la nouvelle solution fondamentale est trouvée. Ainsi (2.16) et (2.17) deviennent:

$$x_i = b'_i - a'_{is} x_s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.19)$$

$$U = U^0 + C'_{ss} x_s \quad (2.20)$$

On constate selon (2.19) que les valeurs des variables de base changent selon celle choisie pour  $x_s$ .

Cette valeur aura deux effets:

- a) réduire une des variables de l'ancienne base à zéro;
- b) s'assurer que les autres variables restent positives.

Par conséquent, certaines variables de la base

$x_i$  augmentent si  $a'_{is} < 0$

$x_i$  restent fixes si  $a'_{is} = 0$

$x_i$  diminuent si  $a'_{is} > 0$

La condition de non négativité doit être respectée pour les variables de la base. Il faut que:

$$b'_i - a'_{is} x_s \geq 0 \text{ (pour } b'_i > 0, \text{ et } x_s > 0\text{)}$$

$$\text{donc, } x_s \leq \frac{b'_i}{a'_{is}} \text{ pour } a'_{is} > 0 \quad (2.21)$$

Ainsi, pour maximiser  $x_s$  ou pour obtenir le premier  $x_i$  qui devient zéro, on choisit pour  $a'_{is} > 0$ , celui correspondant à la valeur minimale du rapport

$$\frac{b'_i}{a'_{is}}$$

$$\max \left\{ x_s \right\} = \min \left( \frac{b'_i}{a'_{is}} \right) = \frac{b'_r}{a'_{rs}} \quad (2.22)$$

$a'_{is} > 0$

Comme ce choix nous indique la variable  $x_r$  à sortir ( $x_r = 0$ ), il reste à substituer de la base  $x_r$  pour  $x_s$  afin de retrouver une nouvelle forme canonique. On recommence alors le processus aussi longtemps que l'on peut trouver des  $C'_j < 0$ , ce qui indique que la valeur de U peut encore diminuer. La solution est optimale lorsque tous les  $C'_j$  sont positifs.

#### 2.5.4 Résumé de l'algorithme du Simplex

1. On commence avec une solution fondamentale (équation sous forme canonique (2.15) obtenue par la phase I ou par méthode d'élimination).
2. On trouve le plus petit  $C'_j$  qui devient  $C'_s$ .
3. Si le  $C'_s$  trouvé est positif, alors la solution est optimale.
4. Si  $C'_s$  est négatif, on trouve les  $a'_{is} > 0$ .
5. Si tous les  $a'_{is} < 0$ , il n'y a pas de solution.
6. S'il y a des  $a'_{is} > 0$ , on trouve les  $\frac{b'_i}{a'_{is}}$  correspondants.
7. Le plus petit ratio  $\frac{b'_i}{a'_{is}}$  nous indique quel  $x_i$  devient  $x_r$ , la variable à rejeter de la base.
8. On trouve une nouvelle forme canonique en remplaçant  $x_r$  par  $x_s$ .
9. On recommence jusqu'à ce que tous les  $C'_j \geq 0$ .

#### 2.6 CONCLUSION

Un résumé de la théorie de la programmation linéaire et celle de la solution par la méthode du Simplex a été présenté. Lors de l'application de cette théorie au contrôle du profil de tension d'un réseau électrique, il

faudra que les relations décrivant le modèle remplissent les conditions suivantes:

1. la fonction objective et les équations de contrainte doivent être des fonctions linéaires des variables du problème;
2. toutes les variables doivent satisfaire la condition de non-négativité énoncée dans la section (2.2) de ce chapitre.

Alors un problème satisfaisant ces critères peut être solutionné par un sous-programme d'optimisation linéaire tel ZX3LP (algorithme basé sur la méthode du Simplex, version révisée) ou d'autres disponibles dans les programathèques à l'aide de l'ordinateur de son choix, grâce à une initialisation appropriée des vecteurs et matrices spécifiés.

## CHAPITRE III

### REPARTITION DES CHARGES DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES

#### 3.1 INTRODUCTION

##### 3.1.1 Généralités

L'un des états les plus importants d'un réseau électrique est son mode d'opération en régime permanent. Afin d'obtenir des informations sur ces points d'opération et d'être en mesure de les gérer pour des raisons de sécurité, de fiabilité ou d'économie, on introduit dans ce chapitre le concept général de la modélisation des systèmes électriques en traitant deux champs:

- l'écoulement statique des charges ou de puissance
- l'écoulement optimal des charges.

Les calculs d'écoulement statique des charges fournissent les écoulements de puissance et les profils de tensions (amplitude et phase) reliés aux conditions d'opération des barres (noeuds) et des lignes du système en régime permanent. A chaque barre du réseau sont associés quatre paramètres: puissances active et réactive, l'amplitude et la phase de tension.

Les considérations premières pour le développement d'un programme d'ordinateur sont:

- 1<sup>o</sup> la formulation d'une description mathématique du problème
- 2<sup>o</sup> l'utilisation d'une méthode numérique de solution.

La formulation mathématique (modélisation) résulte en un groupe d'équations non linéaires reliant les variables aux éléments d'une matrice caractérisant la physique du système. Ces équations sont établies en utilisant les relations de noeud ou de boucle. Leurs coefficients dépendent de la sélection du courant ou de la tension comme variable de base, alors une matrice d'admittances ou d'impédances est utilisée.

La solution du système d'équations décrivant le modèle est basée sur une méthode numérique itérative à cause de leurs non linéarités. Elle doit satisfaire les lois de Kirchoff dont l'une ou l'autre est utilisée comme test de convergence. Les contraintes introduites dans la solution sont les limites physiques des génératrices et les tolérances permises sur les amplitudes et les phases des tensions de barre du réseau.

Différentes techniques de solution sont développées afin de faire ressortir la particularité de la formulation. Ce sont:

- la méthode de Gauss
- la méthode de Gauss-Seidel
- la méthode de Newton-Raphson
- la méthode des résidus.

Puisque la démarche vise à contrôler le profil des tensions de barre, donc gérer un état de fonctionnement du système, on étudie la théorie qui permet d'atteindre cet objectif à partir de critères déterminés: l'écoulement optimal des charges (optimal load flow). Dans sa formulation générale, c'est un problème d'écoulement des charges dans lequel les coûts de combus-

tible où d'autres variables de performance regroupées à l'intérieur d'une fonction objective, sont optimisés. Le modèle mathématique doit satisfaire des contraintes d'égalité (équations standard d'écoulement statique des charges) et des contraintes d'inégalité d'ingénierie (limites inférieure et supérieure des tensions et des puissances générées) ou de sécurité (angle maximal de transfert de puissance).

Lorsque les coûts des combustibles sont minimisés, l'algorithme de la répartition optimale sert pour le dispatching économique. Dans ce cas, il détermine les valeurs optimales des puissances actives et réactives de sortie de toutes les génératrices, celles des autres sources de puissances réactives et l'ajustement des prises des transformateurs.

Lors de la formulation d'un modèle pour fin d'étude de stabilité, de fiabilité ou de sécurité du système, la fonction objective doit être développée en fonction des variables significatives. Alors, selon l'approche adoptée et compte tenu de la nature des relations obtenues, ce problème d'optimisation est résolu de façon numérique, par des méthodes itératives directes (gradient Simplex, etc) ou indirectes (fonction de pénalité, programmation quadratique, etc...).

Cependant, avant toute formulation mathématique du problème statique ou optimal, on doit comprendre le fonctionnement du réseau et réunir ses éléments constitutifs à l'aide de lois physiques qui gouvernent leur interaction, afin d'en arriver à un modèle efficace. Ainsi, dans ce chapitre, on présente cet aspect de la théorie des réseaux dont plusieurs informations

peuvent être retrouvées dans [34]-[38].

### 3.1.2 Principe de fonctionnement d'un réseau électrique

Le rôle essentiel d'un réseau électrique est de pourvoir les puissances actives et réactives demandées par les équipements variés qui y sont connectés. Les points de production et de consommation sont reliés entre eux par des lignes de transmission. Pour mieux comprendre le principe de fonctionnement, considérons le système de distribution à deux barres de la figure 3.1 a. Les barres sont alimentées par des unités de production qui génèrent respectivement les puissances  $S_{G_1}$  et  $S_{G_2}$ . Les demandes se définissent à chaque barre comme étant  $S_{D_1}$  et  $S_{D_2}$ . Les deux barres sont connectées par une ligne de transmission Fig. 3.1 b. Celle-ci est représentée par son modèle en  $\pi$  caractérisé par une impédance série,  $Z$ , et deux admittances shunt  $y_{shi}$ . Les deux tensions de barres sont symbolisées respectivement par  $V_1$  et  $V_2$ .

Dans la formulation du modèle, on combine les puissances générées et demandées à chaque barre pour obtenir une puissance nette  $S_i$  définie comme la différence entre la production et la consommation de puissance de la barre  $i$  en question. Cette puissance nette est considérée comme injectée dans la barre par une "source de puissance de barre" dont le symbole est introduit dans la Fig. 3.1 c.

Pour le système à deux barres, ces puissances injectées sont:

$$\begin{aligned} S_1 &= P_1 + j Q_1 = \overset{\Delta}{P}_{G_1} - P_{D_1} + j (Q_{G_1} - Q_{D_1}) \\ S_2 &= P_2 + j Q_2 = \overset{\Delta}{P}_{G_2} - P_{D_2} + j (Q_{G_2} - Q_{D_2}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

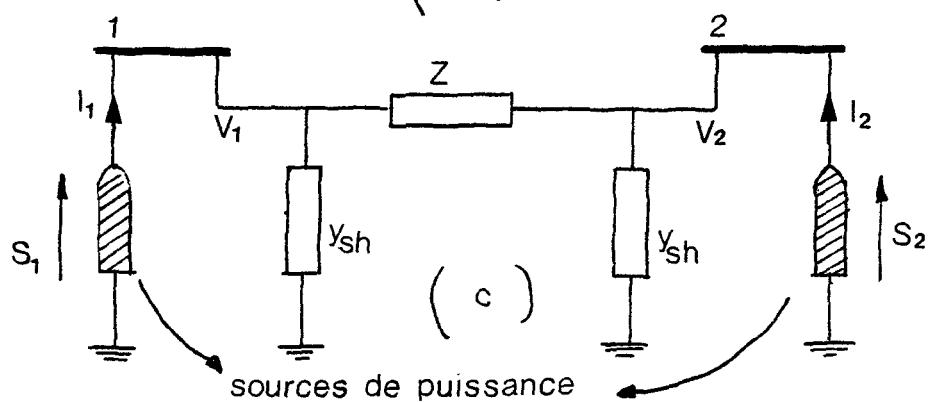
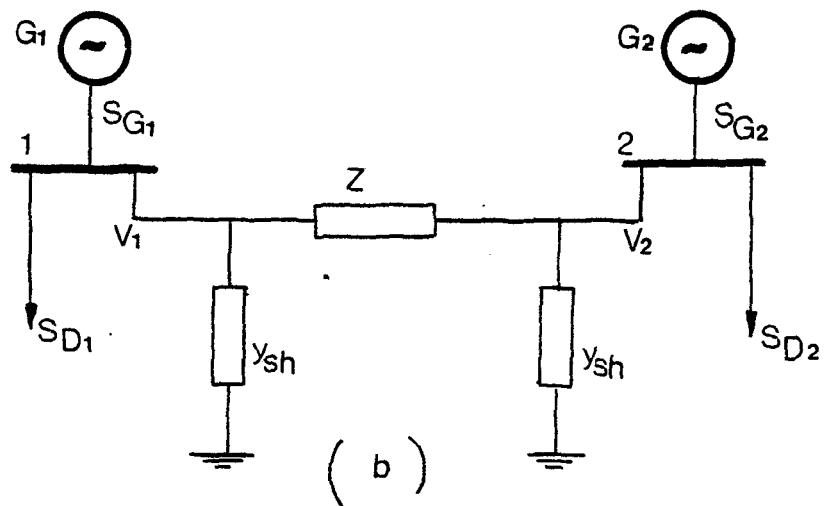
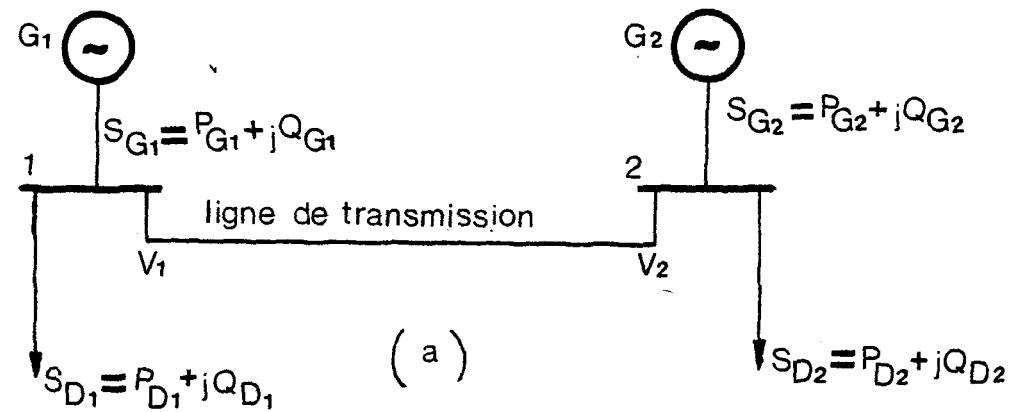


Figure 3.1

Le système décrit fonctionne de la manière suivante:

En agissant sur le couple moteur, ce qui peut être accompli à l'aide des régulateurs de chaque turbine, on établit un équilibre entre la puissance active générée, la puissance active demandée plus les pertes actives de transmission. Le critère essentiel pour maintenir un tel équilibre est une fréquence constante de 50 Hz ou 60 Hz selon qu'on opère en Europe ou en Amérique.

Par une manipulation du courant de champ de chaque rotor, ainsi que la force électromotrice du stator, on établit un parfait équilibre entre la puissance réactive générée dont une portion provient des lignes, la puissance réactive demandée plus les pertes réactives. La constance de l'amplitude des tensions de barre est le critère essentiel pour maintenir un tel équilibre.

Le rôle de la ligne de transmission est de fournir un chemin de transfert du surplus de puissance d'une barre pour aller compenser la sur-demande de l'autre et ou de servir comme branche de secours pour les circonstances critiques.

Le circuit de la figure 3.1 c décrit un circuit électrique élémentaire très simplifié par rapport à un réseau ordinaire.

Pour concevoir le modèle du système, on commence par établir une continuité entre le courant équivalent au rapport de la puissance injectée et de la tension de noeud et celui entrant dans les composants de la ligne de

transmission. On obtient:

$$\frac{S_1^*}{V_1^*} = V_1 Y_{sh_1} + \frac{V_1 - V_2}{Z_{ser}} \quad (3.2)$$

$$\frac{S_2^*}{V_2^*} = V_2 Y_{sh_2} + \frac{V_2 - V_1}{Z_{ser}}$$

De la théorie des réseaux,  $Y_{sh}$  et  $Z_{ser}$ , paramètres constants des lignes, peuvent être regroupés à l'intérieur des matrices décrivant la constitution physique du système. C'est l'étape initiale de la modélisation.

### 3.1.3 Relations paramétriques du système

Les relations décrivant la topologie d'un système de distribution de puissance peuvent être développées en utilisant les équations de continuité ou de courant de noeuds pour obtenir:

$$[I]_{barre} = [Y]_{barre} * [V]_{barre} \quad (3.3a)$$

dans laquelle:

$[I]_{barre}$  = vecteur des courants de noeuds

$[Y]_{barre}$  = matrice des admittances de barres (noeuds)

$[V]_{barre}$  = vecteur des voltages de barres.

La relation (3.3a) entraîne que:

$$[Z]_{barre} = [Y]^{-1}_{barre} \quad (3.3b)$$

où  $[Z]_{barre}$  = matrice des impédances de noeuds.

Lorsqu'on fait usage des conditions de compatibilité ou relations de voltage de boucle (maille), l'équation paramétrique du système devient:

$$[V]_{\text{boucle}} = [Z]_{\text{boucle}} [I]_{\text{boucle}} \quad (3.4a)$$

dans laquelle:

$[V]_{\text{boucle}}$  = vecteur des voltages de boucle

$[Z]_{\text{boucle}}$  = matrice des impédances de boucle

$[I]_{\text{boucle}}$  = vecteur des courants de boucle.

La relation (3.4a) entraîne que:

$$[Y]_{\text{boucle}} = [Z]_{\text{boucle}}^{-1} \quad (3.4b)$$

où  $[Y]_{\text{boucle}}$  = matrice des admittances de boucle.

Les matrices des admittances et des impédances du système peuvent être formulées en incluant ou pas l'effet des éléments shunt telles les capacités statiques des réacteurs et les capacités de charge des lignes par rapport à la terre. Dans chacune des situations, les corrections qui s'imposent doivent être effectuées lors de l'écriture des équations de continuité ou de compatibilité du système.

Soit le système de distribution d'énergie électrique de la page suivante composé de trois noeuds (barres) et cinq lignes de transmission.

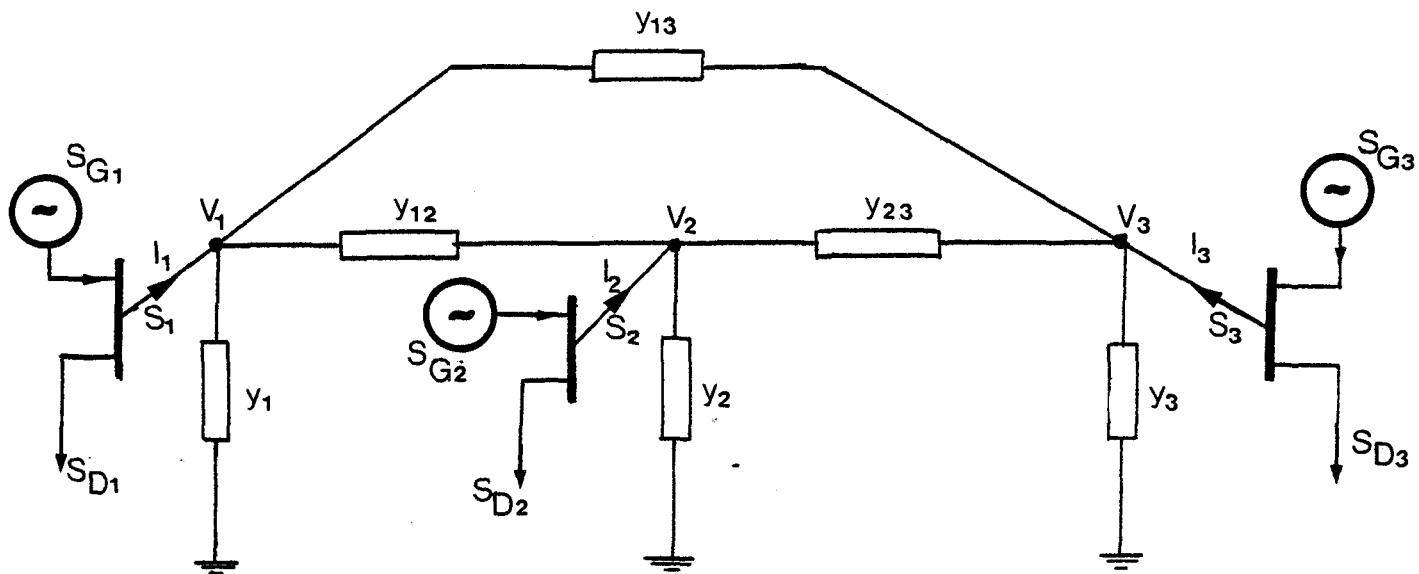


Figure 3.2

Appliquons la relation (3.2) à chacun des noeuds, on obtient:

$$I_1 = V_1 y_1 + (V_1 - V_2) y_{12} + (V_1 - V_3) y_{13}$$

$$I_2 = V_2 y_2 + (V_2 - V_1) y_{12} + (V_2 - V_3) y_{23} \quad (3.5)$$

$$I_3 = V_3 y_3 + (V_3 - V_1) y_{13} + (V_3 - V_2) y_{23}$$

En réarrangeant les termes de (3.5), on a:

$$I_1 = V_1(y_1 + y_{12} + y_{13}) - V_2 y_{12} - V_3 y_{13}$$

$$I_2 = -V_1 y_{12} + V_2(y_2 + y_{23} + y_{12}) - V_3 y_{23} \quad (3.6)$$

$$I_3 = -V_1 y_{13} - V_2 y_{23} + V_3(y_3 + y_{13} + y_{23})$$

Définissons  $Y_{ij}$  comme étant l'élément  $ij$  de la matrice des admittances de barre. On constate que:

$$Y_{11} = y_1 + y_{12} + y_{13}, \quad Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}$$

$$Y_{22} = y_2 + y_{23} + y_{12}, \quad Y_{23} = Y_{32} = -y_{23} \quad (3.7)$$

$$Y_{33} = y_3 + y_{13} + y_{23}, \quad Y_{13} = Y_{31} = -y_{13}$$

$$\text{d'où } [Y]_{\text{barre}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix}$$

En résumé, les éléments diagonaux  $Y_{ii}$  sont obtenus en faisant la somme des admittances connectées au noeud  $i$ , et ceux hors diagonale sont donnés par l'admittance de la ligne joignant le point  $i$  à  $j$  affectée du signe négatif.

En appliquant simplement la définition (3.3b) à (3.7), on obtient les éléments de la matrice des impédances de barres, soit:

$$[Z]_{\text{barre}} \stackrel{\Delta}{=} [Y]_{\text{barre}}^{-1} \stackrel{\Delta}{=} \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$[Z]_{\text{barre}}$  ou  $Z_{\text{barre}}$  décrivent la physique du réseau, c'est-à-dire contiennent toutes les caractéristiques statiques des lignes. Une bonne composition de leur élément est la base du succès d'un modèle reflétant la topologie du système.

### 3.2 ECOULEMENT STATIQUE DES CHARGES

#### 3.2.1 Formulation des équations d'écoulement statique des charges (static load flow equations) SLFE

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

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (3.9)$$

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (3.10)$$

dans lequel  $I_i$  est positif lorsque entrant dans le système.

Dans la formulation des équations du système, si les éléments shunt par rapport à la terre sont inclus dans la matrice paramétrique, la relation (3.10) est le courant total de barre. Dans le cas contraire, si les éléments shunt n'ont pas été inclus, le courant total de la barre  $i$  s'obtient par:

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - y_i V_i \quad (3.11)$$

dans lequel  $y_i$  est le total des admittances shunt connectées à la barre  $i$  et  $y_i V_i$  est le courant circulant de ce noeud vers la terre.

Le membre de gauche de la relation (3.10) peut être remplacé par l'expression (3.6) écrite en fonction des éléments de la matrice des admittances de noeuds. On obtient alors:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_1 Y_{i1} + V_2 Y_{i2} + \dots + V_N Y_{iN} \quad (3.12)$$

qui réarrangée, donne:

$$P_i - jQ_i = V_i^* [V_1 Y_{i1} + V_2 Y_{i2} + \dots + V_N Y_{iN}] \quad (3.13)$$

La relation (3.13) peut être écrite sous forme de sommation mathématique compacte pour obtenir:

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^N V_j Y_{ij} \quad (3.14)$$

qui dans la littérature est la forme courante de l'équation d'écoulement statique des charges (SLFE) dans laquelle:

$$P_i \stackrel{\Delta}{=} P_{Gi} - P_{Di} \quad (3.15)$$

$$Q_i \stackrel{\Delta}{=} Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (3.16)$$

Connaissant le profil des tensions du système, le courant sortant de la barre  $i$  et s'écoulant dans la ligne  $ij$  (de  $i$  vers  $j$ ) à partir des composants du modèle en  $\pi$ , s'exprime par:

$$i_{ij} = (V_i - V_j) y_{ij} + V_i \frac{y'_{ij}}{2} \quad (3.17)$$

série            shunt

où  $y_{ij}$  = admittance série de la ligne  $ij$

$y'_{ij}$  = admittance de charge totale de la ligne  $ij$ .

Alors, l'écoulement de puissance active et réactive est:

$$S^*_{ij} = P_{ij} - jQ_{ij} = V_i^* i_{ij} = V_i^* (V_i - V_j) y_{ij} + V_i^* V_i \frac{y'_{ij}}{2} \quad (3.18)$$

où à partir de la barre  $i$ ,  $P_{ij}$  et  $Q_{ij}$  sont respectivement les puissances active et réactive s'écoulant dans la ligne  $ij$ .

Par similitude les écoulements de puissance de  $j$  à  $i$  sont:

$$S_{ji}^* \stackrel{\Delta}{=} P_{ji} - jQ_{ji} = V_j^*(V_j - V_i)Y_{ij} + V_j^*V_i \frac{y'_{ij}}{2} \quad (3.19)$$

La puissance complexe perdue dans la ligne  $ij$  due à la transmission est obtenue en faisant la somme algébrique des écoulements de puissances déterminés par les équations (3.18) et (3.19).

Ce qui suit est le développement détaillé des équations (3.9-3.19).

Considérons le noeud  $1$  comme la référence du réseau caractérisé par une tension de module  $v_1$  et de phase  $\theta_1=0$ . L'expression de toute autre tension peut s'écrire:

$$v_i = v_i e^{j\theta_i} = v_i (\cos\theta_i + j\sin\theta_i) = v_i \angle \theta_i \quad (3.20)$$

On sait d'une part:

$$\begin{aligned} v_i^* &= v_i \angle -\theta_i \\ v_j &= v_j \angle \theta_j \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\text{ainsi } v_i^*v_j = v_i v_j \angle -\theta_{ij} = v_i v_j (\cos\theta_{ij} - j\sin\theta_{ij}) \quad (3.22)$$

$$\text{où } \theta_{ij} = \theta_i - \theta_j \quad (3.23)$$

D'autre part, tout élément  $Y_{ij}$  de la matrice des admittances de barre peut être écrite en fonction de sa partie réelle et imaginaire comme suit:

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (3.24)$$

d'où

$$V_i^* V_j Y_{ij} = v_i v_j (\cos \theta_{ij} - j \sin \theta_{ij}) (G_{ij} + jB_{ij}) \quad (3.25)$$

En appliquant (3.25) à (3.14), on obtient:

$$\begin{aligned} P_i - jQ_i &= \sum_{j=1}^N v_i v_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ &\quad - j \sum_{j=1}^N v_i v_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{aligned} \quad (3.26)$$

En comparant et en égalant la partie réelle des 2 membres, puis l'imaginaire des 2 membres du SLFE, on constate que la puissance active injectée en tout noeud  $i$  du réseau est:

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} = v_i \sum_{j=1}^N v_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (3.27)$$

et la puissance réactive injectée au même noeud s'obtient par:

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} = v_i \sum_{j=1}^N v_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (3.28)$$

L'impédance  $Z_{ser}$  caractéristique de la ligne (fig. 3.1a) peut être remplacée par ses éléments constitutifs, soit: la résistance et la réactance en série. Donc par définition on a:

$$Z_{ser} \equiv Z_{ik} \stackrel{\Delta}{=} R_{ik} + jX_{ik} \quad (3.29)$$

$$Y_i \stackrel{\Delta}{=} \sum_{j=1}^L Y_{shj} \equiv j \frac{1}{X_{Ci}}$$

Alors on peut écrire la forme équivalente de  $Y_{ij}$ :

$$Y_{ij} \stackrel{\Delta}{=} G_{ij} + j B_{ij} = \begin{cases} j \frac{1}{X_{Ci}} + \sum_{k=1}^N \frac{R_{ik}-jX_{ik}}{|Z_{ik}|^2} & i = j \\ - \frac{R_{ik}-jX_{ik}}{|Z_{ik}|^2} & i \neq j = k \end{cases} \quad (3.30)$$

soit  $P_{Li}$  et  $Q_{Li}$  respectivement les pertes actives et réactives au noeud  $i$ ,  $P_{ij}$  et  $Q_{ij}$  respectivement les pertes actives et réactives liées à la transmission de l'énergie à travers la ligne  $ij$  (écoulement positif de  $i \rightarrow j$ ), (3.27) et (3.28) peuvent être décomposées en:

$$P_i = P_{Li} + \sum_{i \neq j=1}^N P_{ij} \quad (3.31)$$

$$Q_i = Q_{Li} + \sum_{i \neq j=1}^N Q_{ij} \quad (3.32)$$

En substituant  $Y_{ij}$  par la définition (3.30) dans (3.27) les termes de (3.31) deviennent:

$$P_{Li} = |Z_{ii}|^{-2} R_{ii} v_i \quad (3.33)$$

$$P_{ij} = |Z_{ij}|^{-2} (R_{ij} v_i^2 - R_{ij} v_i v_j \cos \theta_{ij} + X_{ij} v_i v_j \sin \theta_{ij}) \quad (3.34)$$

La même démarche appliquée à (3.28) conduit aux termes de (3.32) qui sont:

$$Q_{Li} = -|Z_{ii}|^{-2} X_{ii} v_i^2 \quad (3.35)$$

$$Q_{ij} = |Z_{ij}|^{-2} (X_{ij} v_i^2 - X_{ij} v_i v_j \cos \theta_{ij} - R_{ij} v_i v_j \sin \theta_{ij}) \quad (3.36)$$

Pour l'ensemble du réseau, les pertes globales de puissance active et

réactive sont données respectivement par:

$$P_L = \sum_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N P_{Li} + \sum_{i \neq j=1}^{NL} P_{ij} \quad (3.37)$$

$$Q_L = \sum_{i=1}^N Q_i = \sum_{i=1}^N Q_{Li} + \sum_{i \neq j=1}^{NL} Q_{ij} \quad (3.38)$$

Finalement, après une manipulation mathématique de (3.34) on obtient les pertes actives totales liées seulement à la transmission par:

$$P_{LT} = \sum_{i \neq j=1}^{NL} (v_i^2 + v_j^2 - 2v_i v_j \cos\theta_{ij}) \frac{R_{ij}}{|Z_{ij}|^2} \quad (3.39)$$

Les pertes réactives totales liées seulement à la transmission sont données par:

$$Q_{LT} = \sum_{i \neq j=1}^{NL} (v_i^2 + v_j^2 - 2v_i v_j \cos\theta_{ij}) \frac{X_{ij}}{|Z_{ij}|^2} \quad (3.40)$$

### 3.2.2 Caractéristiques des équations d'écoulement statique des charges (SLFE)

En observant la relation (3.14), forme originale ou ses deux termes constitutifs (3.27) et (3.28), on constate que:

1° Les équations sont algébriques, car elles représentent un modèle statique de système, ou un système opérant en régime permanent.

2° Les équations sont non linéaires, donc difficilement résolvables de façon analytique, d'où la nécessité d'utiliser une méthode numérique de solution par ordinateur.

3° Généralement, dans l'analyse des systèmes, les équations relient le

courant et la tension, ces équations relient la puissance et la tension.

4<sup>o</sup> Dans les équations (3.27) et (3.28) les angles de phases  $\theta_i$  et  $\theta_j$  apparaissent sous forme de différences.

5<sup>o</sup> Pour chaque équation de barre (3.14), on peut écrire deux équations simultanées (réelle, imaginaire), ce qui donne pour un réseau de N barres, 2 N équations du type (3.27) et (3.28) contenant 6 N variables qui sont:

N - amplitudes de tension de barre  $v_i$

N - phases de tension de barre  $\theta_i$

N - puissances actives générées  $P_{Gi}$

N - puissances réactives générées  $Q_{Gi}$

N - puissances actives demandées  $P_{Di}$

N - puissances réactives demandées  $Q_{Di}$

Par conséquent, il s'agit de réduire le nombre d'inconnues, de 6 N à 2N en spécifiant 4 N variables afin d'égaler le nombre d'équations à celui des variables. En principe les 2N variables restantes pourront être déterminées.

En général, dans la formulation, parmi les 4 N inconnues à spécifier, les 2 N variables de demande ( $P_{Di}$  et  $Q_{Di}$ ), consommation de la clientèle sont fournies d'avance. Alors il s'agit de spécifier finalement 2 N inconnues par barre:

si on spécifie  $v_i, \theta_i$  → barre de référence du système (slack bus)

si on spécifie  $P_{Gi}, v_i$  → barre de contrôle de voltage (barre P-V)

si on spécifie  $P_{Gi}, Q_{Gi}$  → barre P-Q.

Les 6 N variables du SLFE peuvent être regroupées en deux classes:

1. Les variables incontrôlables ou perturbation: ce sont les variables de demande  $P_{Di}$  et  $Q_{Di}$  qui sont complètement déterminées par le client.

2. Les variables d'état et de contrôle. Les 4 N variables  $v_i, \theta_i, P_{Gi}$  et  $Q_i$  peuvent se diviser en deux catégories: variables indépendantes et variables dépendantes qui dans la théorie du contrôle portent respectivement les noms de variables de contrôle et variables d'état. Parmi les premières, on inclut les variables dont en pratique, une manipulation est utilisée pour contrôler les dernières. Ainsi, les sorties des génératrices  $P_{Gi}$  et  $Q_{Gi}$  sont les variables de contrôle, car elles affectent  $v_i$  et  $\theta_i$  qui sont les variables d'état du système.

### 3.2.3 Principe de base de la solution du SLFE

Après avoir classifié les 6 N variables, la solution du système d'équations formé par (3.27) et (3.28) peut être obtenue en procédant comme suit:

Etape 1. A partir de la connaissance de la demande de la clientèle, on possède toutes les informations requises sur les 2 N variables incontrôlables.

Etape 2. On spécifie alors 2 N variables de contrôle; par exemple les puissances générées.

Etape 3. Les 2 N variables qui restent constituent les inconnues. A l'aide de 2 N équations, on peut résoudre ce système d'équations par une des méthodes numériques de la section 3.2.5.

### 3.2.4 Contraintes pratiques sur les variables

Pour être acceptable sur le plan pratique, les  $4N$  variables d'état et de contrôle de la solution du SLFE doivent être à l'intérieur de certaines limites:

- Les variables d'état  $v_i$  doivent satisfaire la relation d'inégalité

$$v_i^m \leq v_i \leq v_i^M \quad i=1,2 \dots N \quad (3.41)$$

Cette contrainte signifie qu'aucune tension de barre ne sera acceptée lorsque son module ne se situe pas à l'intérieur d'une tolérance spécifiée; par exemple 5% de la valeur nominale.

- Certaines variables  $\theta_{ij}$  doivent satisfaire la contrainte d'inégalité

$$|\theta_{ij}| \leq \theta_{ij}^M \quad (3.42)$$

La relation (3.42) spécifie l'angle maximum de transfert de puissance de la ligne joignant les barres  $i$  et  $j$  à ne pas dépasser.

- De par la limitation physique des sources de puissances actives et réactives, les relations d'inégalité suivantes doivent être satisfaites par les variables de contrôle  $P_{Gi}$  et  $Q_{Gi}$ .

$$P_{Gi}^m \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^M \quad (3.43)$$

$$Q_{Gi}^m \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^M \quad (3.44)$$

### 3.2.5 Méthode numériques de solution du SLFE

Pour résoudre les équations d'écoulement statique des charges, un grand

nombre de techniques numériques ont déjà été utilisées.

Dans cette partie de l'étude, on passera en revue quatre méthodes numériques itératives spécifiques courantes. Ce sont, par ordre d'introduction dans le texte:

1. la méthode itérative de Gauss
2. la méthode itérative de Gauss-Siedel
3. la méthode de Newton-Raphson
4. la méthode de relaxation ou technique des résidus.

Dans chacune des méthodes, on procède de la manière suivante:

1. une solution initiale des variables est supposée
2. cette solution est utilisée conjointement avec la relation (3.14) modifiée pour obtenir une deuxième et meilleure solution
3. cette deuxième solution estimée est ensuite utilisée pour trouver une troisième, etc.

La procédure continue de façon répétitive jusqu'à l'obtention d'une convergence vers la solution finale.

### 3.2.5.1 méthode itérative de Gauss

La solution du problème d'écoulement des charges est initialisée en supposant un profil de voltage pour toutes les barres, excepté la référence S pour laquelle la valeur de la tension est spécifiée et demeure constante pendant le processus. Alors on calcule les courants à l'aide de (3.11).

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.45)$$

i ≠ S

Comme on est intéressé aux valeurs des tensions, le réarrangement de (3.14) donne N-1 équations de la forme:

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}}(I_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} V_j) \quad i = 2, \dots, N \quad (3.46)$$

Pour calculer  $V_i$ , on procède comme suit:

- $V_j$  est supposée à partir de l'initialisation
- $I_i$  est calculée connaissant  $P_i$  et  $Q_i$  spécifiée partout dans le système sauf à la barre de référence. Donc, en combinant (3.45) et (3.46), on obtient l'équation récurrente pour chaque voltage de barre.

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{Y_{ii}} \left( \frac{P_i - jQ_i}{(V_i^k)^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} V_j^k \right) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.47)$$

dans laquelle  $k$  est l'indice d'itération.

Le processus itératif prend fin lorsque l'amélioration de la valeur de  $V_i$  entre deux itérations consécutives est plus petite qu'une certaine tolérance  $\epsilon$ , soit:

$$\left| V_i^{k+1} - V_i^k \right| \leq \epsilon \quad (3.48)$$

L'organigramme de la figure 3.3 donne la solution de la méthode.

### 3.2.5.2 méthode itérative de Gauss-Seidel

L'équation de la tension de barre (3.47) peut être solutionnée aussi par la méthode de Gauss-Seidel. Dans cette méthode la nouvelle valeur de

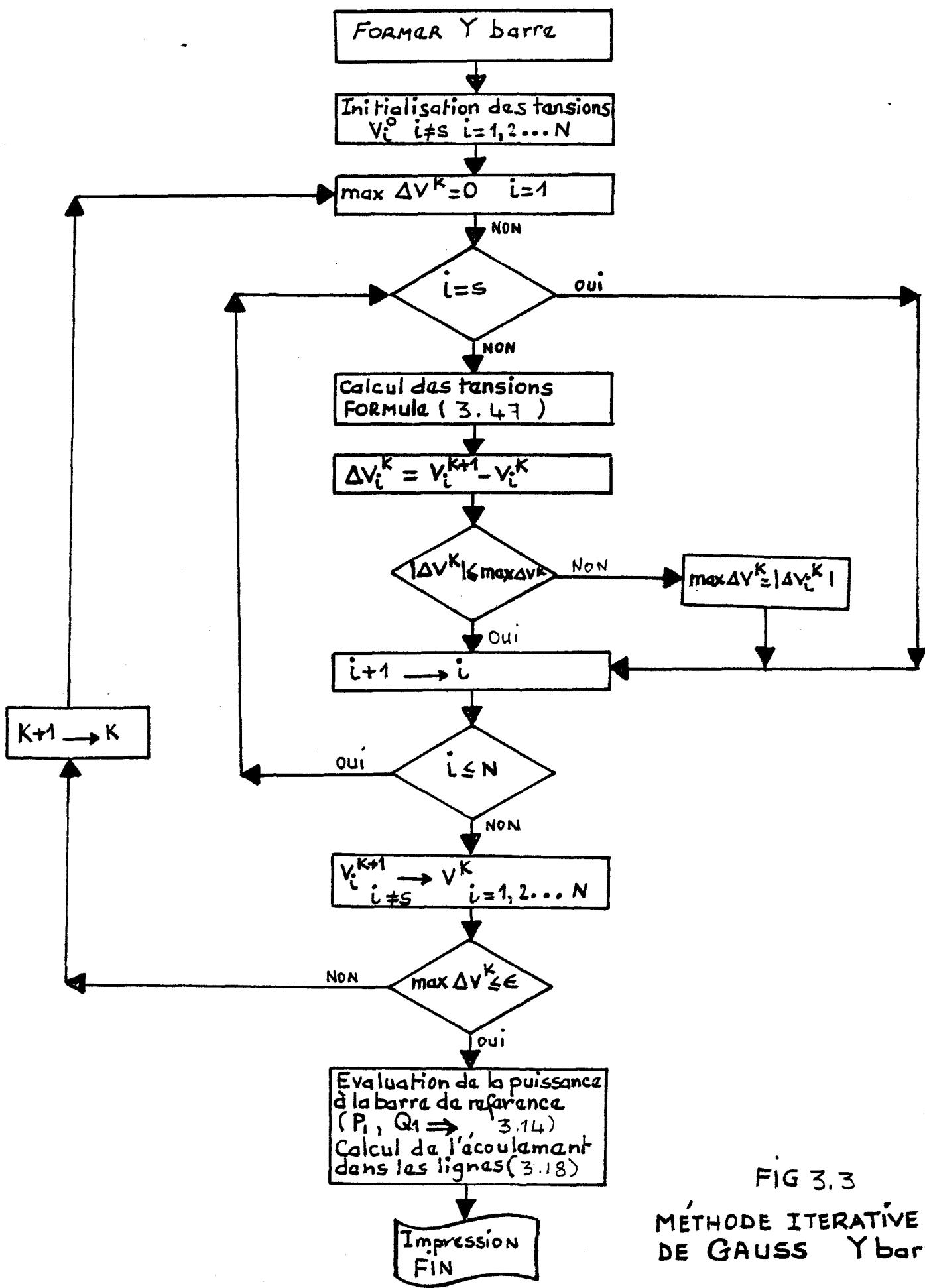


FIG 3.3

MÉTHODE ITERATIVE  
DE GAUSS Ybarre

# **MEMOIRES ET THÈSES DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

00927

**Page 2 de 3**

de  $v_i^{k+1}$  calculée remplace immédiatement  $v_i^k$  et est utilisée dans les équations subséquentes.

Pour le système de distribution à trois barres, figure 3.2, l'application de ce principe donne:

$v_1$  = spécifiée (barre de référence)

$$\begin{aligned} v_2^{k+1} &= \frac{1}{Y_{22}} \left( \frac{P_2 - jQ_2}{(v_2^k)^*} - Y_{21}v_1 - Y_{23}v_3^k \right) \\ v_3^{k+1} &= \frac{1}{Y_{33}} \left( \frac{P_3 - jQ_3}{(v_3^k)^*} - Y_{31}v_1 - Y_{32}v_2^{k+1} \right) \end{aligned} \quad (3.49)$$

La séquence des étapes de solution de cette méthode est montrée à la figure 3.4.

### 3.2.5.3 méthode de relaxation ou techniques des résidus de courant

Dans cette technique on utilise les équations des courants de barre pour la solution des courants d'écoulement des charges. A partir de l'équation de base (3.12) le courant dans chaque barre  $i$  est:

$$I_i = Y_{i1}v_1 + Y_{i2}v_2 + \dots + Y_{ii}v_i + \dots + Y_{iN}v_N \quad (3.50)$$

Cette équation peut être écrite comme:

$$r_i = Y_{i1}v_1 + Y_{i2}v_2 + \dots + Y_{ii}v_i + \dots + Y_{iN}v_N - I_i \quad i \neq S \quad (3.51)$$

où  $r_i$  est défini comme le résidu et représente l'erreur sur le courant de la barre  $i$ , dû à la supposition du profil de tension.

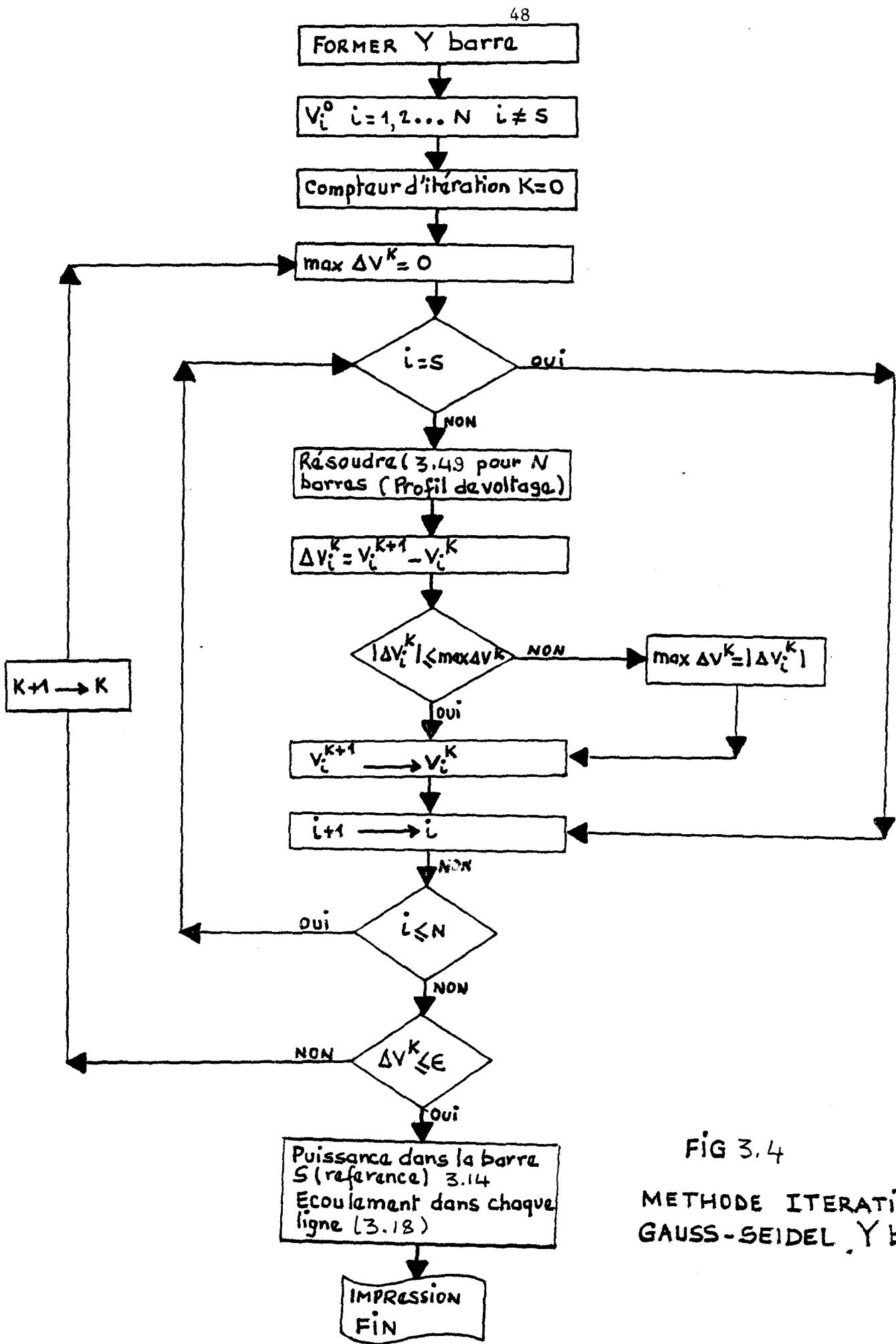


FIG 3.4

METHODE ITERATIVE DE GAUSS-SEIDEL Y barre

Le processus de solution débute ainsi:

on suppose un profil  $V_i^0 = 2,3\text{---N}$ .

Les courants de barre  $I_i$  sont calculés à partir (3.10). On calcule les résidus  $r_i$  (3.51). Ainsi la correction sur l'amplitude des tensions est donnée par:

$$\Delta V_i^k = - \frac{r_i^k}{Y_{ii}} \quad (3.52)$$

et le nouveau profil devient:

$$V_i^{k+1} = V_i^k + \Delta V_i^k \quad (3.53)$$

L'équation récurrente des courants de barre est:

$$I_i^{k+1} = \frac{P_i - jQ_i}{(V_i^{k+1})^*} \quad (3.54)$$

Comme résultat du changement dans la valeur du courant, le résidu actuel à la barre  $i$  est:

$$r_i^{k+1} = I_i^k - I_i^{k+1} \quad (3.55)$$

Utilisant les tensions  $V_i^{k+1}$ , les nouveaux résidus pour les barres autres que  $i$  et la barre de référence sont calculés à partir de:

$$r_j^{k+1} = r_j^k + Y_{ij} \Delta V_i^k \quad \begin{matrix} j = 1, 2, \dots, N \\ j \neq i, j \neq S \end{matrix} \quad (3.56)$$

Le processus est répété et à chaque fois, une correction est apportée à la tension correspondant au plus grand résidu, jusqu'à l'instant où tous les résidus soient plus petits ou égaux à la tolérance spécifiée.

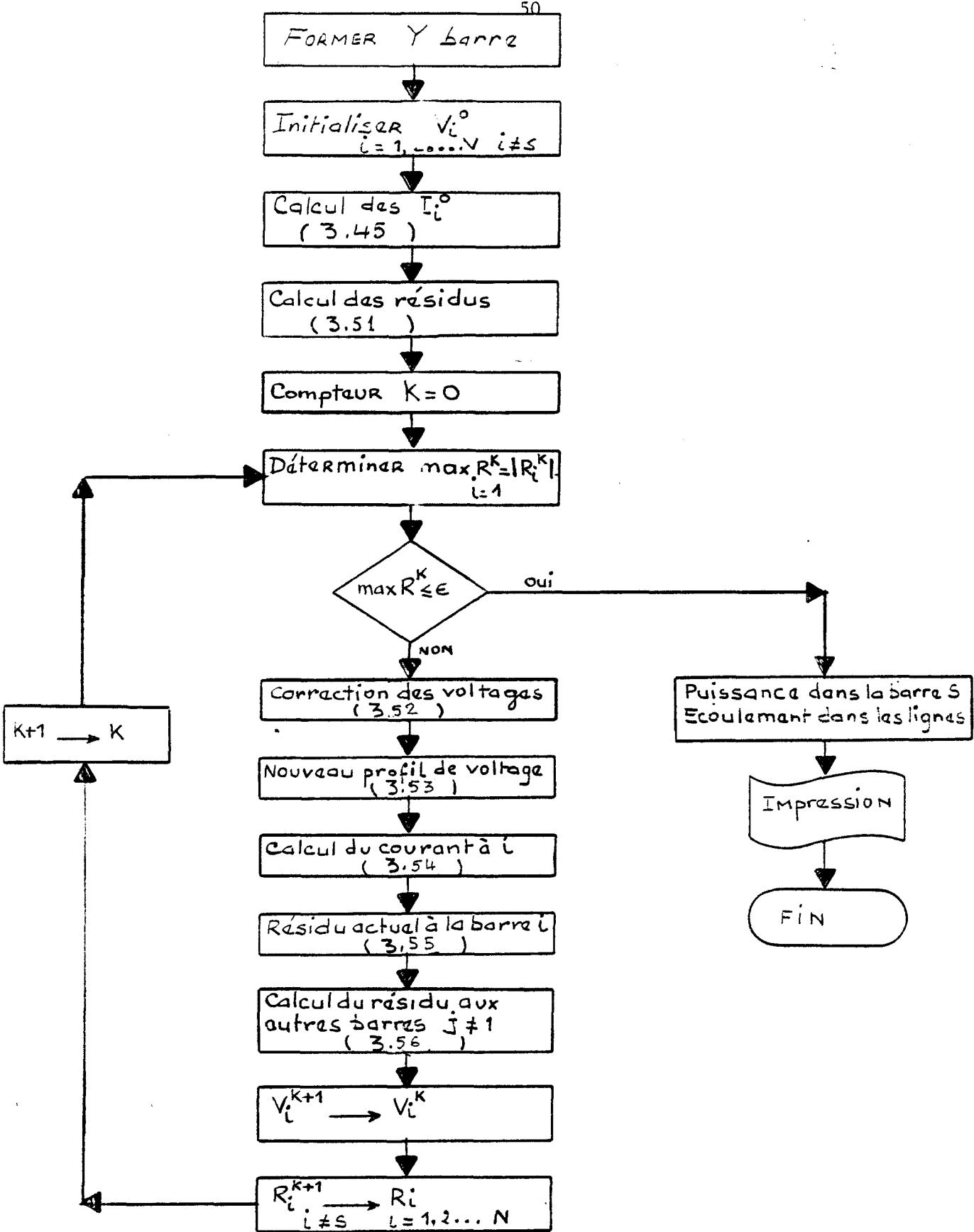


FIG 3.5 MÉTHODE DE RELAXATION Y barre

Les différentes étapes de cette méthode sont résumées dans l'organigramme de la figure 3.5.

### 3.2.5.4 méthode de Newton-Raphson

La formulation générale du problème d'écoulement des charges (3-14) a été exprimée en deux équations simultanées non linéaires (3.27) et (3.28) fonction de  $v_i$  et  $\theta_i$  comme ci-dessous.

$$P_i = v_i \sum_{j=1}^N v_j \left[ G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \right] \quad (3.27)$$

$$Q_i = v_i \sum_{j=1}^N v_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (3.28)$$

La méthode de Newton-Raphson nécessite de former un groupe d'équations linéaires exprimant une relation entre les changements des puissances actives et réactives et les composantes des tensions.

Se rappelant que la barre de référence S=1 a son amplitude et sa phase connues, le développement doit donner  $2(n-1)$  équations linéaires

$$\begin{array}{c|ccccc}
 & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_N} & \frac{\partial P_2}{\partial v_2} & \frac{\partial P_2}{\partial v_N} & \Delta \theta_2 \\
 \Delta P_2 & & & & & \\
 \\ 
 & J_1 & & J_2 & & \\
 \\ 
 & \frac{\partial P_N}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_N}{\partial \theta_N} & \frac{\partial P_N}{\partial v_2} & \frac{\partial P_N}{\partial v_N} & \Delta \theta_N \\
 \Delta P_N & & & & & \\
 \\ 
 = & \frac{\partial Q_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \theta_N} & \frac{\partial Q_2}{\partial v_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial v_N} & \Delta V_2 \\
 \Delta Q_2 & & & & & \\
 \\ 
 & J_3 & & J_4 & & \\
 \\ 
 & \frac{\partial Q_N}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_N}{\partial \theta_N} & \frac{\partial Q_N}{\partial v_2} & \frac{\partial Q_N}{\partial v_N} & \Delta V_N \\
 \Delta Q_N & & & & & \\
 \end{array} \quad (3.57)$$

Sous forme matricielle, la notation devient:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P}{\Delta Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\Delta \theta}{\Delta V} \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

Un réarrangement de l'équation précédente donne:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta \theta}{\Delta V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\Delta P}{\Delta Q} \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

où  $J^{-1}$  est l'inverse de  $J$  (Jacobien) dont les éléments sont composés des dérivées partielles indiquées dans (3.57).

Le processus de solution débute ainsi:

On suppose un profil de voltage et des angles de phases. A l'aide de ces données, on calcule les puissances actives et réactives injectées (3.27) et (3.28). L'écart de puissance s'obtient par la différence entre les puissances injectées spécifiées et les puissances injectées calculées.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta P_i^k = P_{i \text{ spec}} - P_{i \text{ cal}}^k \\ \Delta Q_i^k = Q_{i \text{ spec}} - Q_{i \text{ cal}}^k \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} i = 2, 3 \dots N \\ i \neq S = 1 \end{array} \quad (3.60)$$

A la suite de l'évaluation des éléments du jacobien, on calcule les valeurs des corrections à porter sur les variables d'état grâce à la relation (3.59). Le nouveau profil de tensions et les nouveaux angles sont donnés par:

$$\left. \begin{array}{l} v_i^{k+1} = v_i^k + \Delta v_i^k \\ \theta_i^{k+1} = \theta_i^k + \Delta \theta_i^k \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} i = 2, 3 \dots N \\ i \neq S = 1 \end{array} \quad (3.61)$$

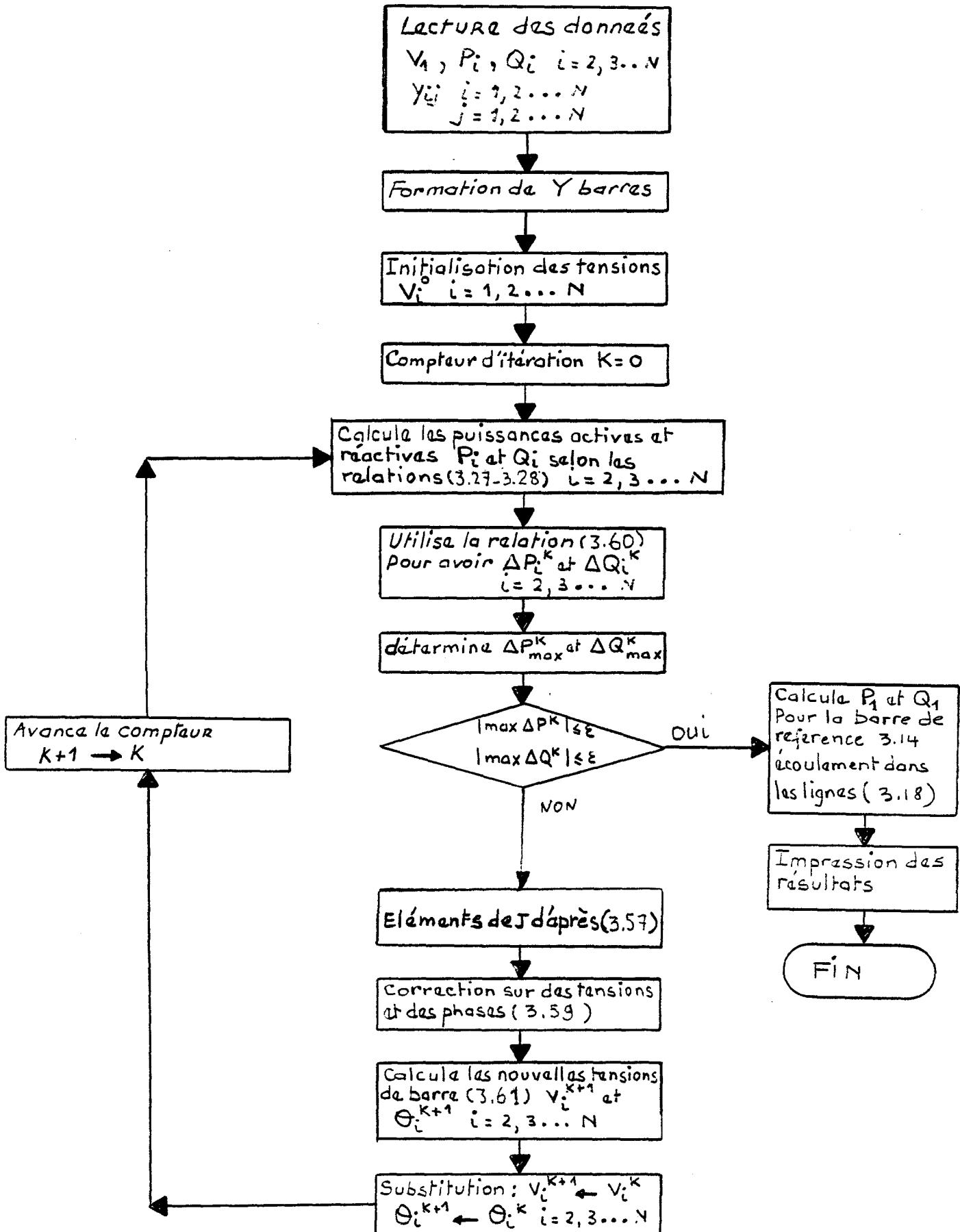


FIG 3.6 METHODE NEWTON-RAPHSON Y barre

La procédure est répétée jusqu'à ce que  $\Delta P_i^k$  et  $\Delta Q_i^k$  pour toutes les barres soient à l'intérieur des tolérances spécifiées. La démarche est résumée sur la figure 3.6.

### 3.3 ECOULEMENT OPTIMAL DES CHARGES (OPTIMAL LOAD FLOW)

De l'étude de la section 3.2, on se rend compte que la demande totale d'un réseau de distribution est indépendante de l'opérateur du système et peut être satisfaite de différentes manières. Cependant, il est nécessaire de choisir une seule configuration. Cette situation oblige à spécifier deux variables par barre, ensuite de décider de l'ajustement approprié des paramètres restants. Le choix d'un critère optimal est toujours subjectif, mais incombe la formulation d'un problème dit optimal.

#### 3.3.1 Formulation générale

Le problème de l'écoulement optimal des charges est le problème de la recherche du minimum d'une certaine fonction objective sujette à un nombre limité de contraintes. Le choix de la fonction objective dépend du critère d'optimalité défini. Les contraintes à satisfaire sont d'une part, celles liées aux lois physiques gouvernant le comportement du système, d'autre part, ce sont les limitations dans la capacité des équipements connectés et celles liées aux critères de conception et de fonctionnement du modèle en régime permanent. En terme mathématique, le problème général de l'écoulement optimal des charges peut être exprimé comme un problème général d'optimisation non linéaire avec contraintes, c'est-à-dire:

$$\text{Min } \{f(y)\} \quad (3.62)$$

sujet

$$\underline{g}(\underline{y}) = \underline{0} \quad (3.63)$$

$$\underline{h}(\underline{y}) \leq \underline{0} \quad (3.64)$$

soit:

$\underline{x} = [x] =$  vecteur des variables d'état ( $v_i, \theta_i$ ) généralisées

$\underline{u} = [x] =$  vecteur des variables de contrôle ( $P_{Gi}, Q_{Gi}$ ) généralisées

ainsi:

$\underline{y} = [\underline{x}, \underline{u}] =$  vecteur de dimension q des variables inconnues du système

$b(\underline{y}) =$  fonction objective scalaire, choisie selon le critère d'optimisation défini

$\underline{g}(\underline{y}) =$  vecteur de dimension q, décrivant les contraintes d'égalité du système

$\underline{h}(\underline{y}) =$  vecteur de dimension  $\ell$ , dénotant les contraintes d'ingénierie  
(contraintes sur les amplitudes des tensions, les phases, les génératrices, les sources de VAR, celles de sécurité, etc...).

### 3.3.1.1 fonctions objectives

Dans le cas où l'on veut faire un dispatching des puissances actives et réactives, le critère usuel pour un fonctionnement optimal du système est la minimisation du coût total de production. Cependant, si l'intérêt est porté sur la répartition optimale de la puissance réactive seule, on peut employer les pertes actives totales de transmission. Cette fonction objective est un compromis valable pour déterminer une solution réalisable de la tension et de la puissance réactive [17].

La fonction objective, pour minimiser le coût total de production des puissances actives, lorsque la caractéristique des génératrices de puissance active est une courbe de troisième ordre, peut être exprimée par:

$$f(y) = C(P) = \sum_{i=1}^n C_i(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 + d_i P_{Gi}^3) \quad (3.65)$$

Lorsque le problème de l'OLF est basé sur la fonction objective (3.65) il est appelé "dispatching économique".

La fonction objective des pertes actives totales de transmission (3.39) peut être exprimée comme:

$$f(y) = P_L(v, \theta) \quad (3.66)$$

où  $v$  et  $\theta$  sont respectivement l'amplitude de la phase de la tension.

La fonction objective exprimant la production totale de la puissance réactive est généralement donnée sous la forme:

$$f(y) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_{Gi}^2 + \frac{1}{2} C_Q \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[ \frac{A_i}{B_i} - \frac{A_j}{B_j} \right] \quad (3.67)$$

où  $A_i$  = marge d'opération permise sur le générateur  $i$  par rapport à sa ligne théorique de stabilité

$B_i$  = capacité totale du générateur  $i$

$C_Q$  = facteur multiplicatif

### 3.3.1.2 contraintes générales

Pour résoudre l'une des fonctions objectives (3.65), (3.66) ou (3.67) et obtenir une solution acceptable de l'écoulement optimal des charges,

deux types de contraintes doivent être satisfaites:

- (1) les contraintes du système et
- (2) les contraintes d'ingénierie.

Contraintes du système: ce sont les équations d'équilibre des puissances actives et réactives:

$$\left. \begin{array}{l} g_i^1(\underline{x}, \underline{u}) = P_{Gi} - P_{Di} - P_i = 0 \\ g_i^2(\underline{x}, \underline{u}) = Q_{Gi} - Q_{Di} - Q_i = 0 \end{array} \right\} i = 1, 2, \dots, N \quad (3.68)$$

dans lesquelles  $P_i$  et  $Q_i$  sont les relations (3.27) et (3.28) du SLFE.

$$\left. \begin{array}{l} P_i = v_i \sum_{j=1}^N v_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_i = v_i \sum_{j=1}^N v_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{array} \right\} i = 1, 2, \dots, N \quad (3.69)$$

### 3.3.1.3 contraintes d'ingénierie

#### limites des tensions

$$\left. \begin{array}{l} h_i^1(\underline{x}, \underline{u}) = v_i^m - v_i \leq 0 \\ h_i^2(\underline{x}, \underline{u}) = v_i - v_i^m \leq 0 \end{array} \right\} i = 1, 2, \dots, N \quad (3.70)$$

#### limitation des angles de transfert de puissance

$$h_i^3(\underline{x}, \underline{u}) = \theta_i - \theta_j - \theta_{ij}^M \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.71)$$

limitation des puissances de sortie

$$\begin{aligned}
 h_i^4(x, u) &= P_{Gi}^m - P_{Gi} \leq 0 \\
 h_i^5(x, u) &= P_{Gi} - P_{Gi}^M \leq 0 \\
 h_i^6(x, u) &= Q_{Gi}^m - Q_{Gi} \leq 0 \\
 h_i^7(x, u) &= Q_{Gi} = Q_{Gi}^M \leq 0
 \end{aligned}
 \quad \left. \quad \right\} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.72)$$

D'autres contraintes non citées dans cette partie du texte peuvent être considérées dans la formulation du problème d'écoulement optimal des charges: rapport de transformation et déphasage des transformateurs, contraintes de charge des lignes de transmission, etc...

3.3.2 Principe de base de solution

Plusieurs approches sont utilisées afin d'établir les conditions pour obtenir le minimum du problème formulé par les équations (3.62)-(3.64) avant d'employer une méthode numérique de solution. Ces conditions d'optimalité, d'une manière ou d'une autre, sont reliées au concept du multiplicateur de Lagrange. Celles fournies par le théorème de Kuhn et Tucker sont une solution pratique et souvent utilisée dans les modèles interactifs de différents programmes de contrôle des réseaux.

Théorème de Kuhn-Tucker

Connaissant:

- 1<sup>o</sup>) une fonction de coût du type (3.62)
- 2<sup>o</sup>) des contraintes d'égalité éq (3.63)
- 3<sup>o</sup>) des contraintes d'inégalité éq (3.64)

et supposant une convexité pour  $f$ ,  $g$  et  $h$ , la condition pour que  $f(\underline{y})$  soit minimum est  $L$  stationnaire, c.a.d.  $dL = 0$  avec

$$L = f(\underline{y}) + \alpha^T g(\underline{y}) + \beta^T h(\underline{y}) \quad (3.73)$$

$$\beta_i \geq 0, \alpha_i \text{ arbitraire} \quad (3.74)$$

où  $\alpha$  et  $\beta$  sont les multiplicateurs de Lagrange et où

$$\beta_i h_i(\underline{y}) = 0 \quad (3.75)$$

$\alpha^T$  est la transposée du vecteur  $\alpha$ .

Les  $\alpha_i$  et  $\beta_i$  sont les variables duales associées respectivement aux contraintes d'égalité (3.63) et aux contraintes d'inégalité (3.64). La condition (3.75) implique que  $\beta_i = 0$  si la contrainte  $h_i(\underline{y})$  n'est pas atteinte, et  $\beta_i > 0$  dans le cas contraire.

La relation (3.73) peut s'écrire sous la forme équivalente en fonction des variables d'état et de contrôle, généralisée par:

$$L(\underline{x}, \underline{u}, \alpha, \beta) = f(\underline{x}, \underline{u}) + \alpha^T g(\underline{x}, \underline{u}) + \beta^T h(\underline{x}, \underline{u}) \quad (3.76)$$

Ainsi les conditions nécessaires pour rendre stationnaire tout point  $L$ , deviennent:

$$1^o) \frac{\partial L}{\partial \underline{x}} = \frac{\partial f}{\partial \underline{x}} + \left[ \frac{\partial g}{\partial \underline{x}} \right]^T \alpha + \left[ \frac{\partial h}{\partial \underline{x}} \right]^T \beta = 0 \quad (3.77)$$

$$2^o) \frac{\partial L}{\partial \underline{u}} = \frac{\partial f}{\partial \underline{u}} + \left[ \frac{\partial g}{\partial \underline{u}} \right]^T \alpha + \left[ \frac{\partial h}{\partial \underline{u}} \right]^T \beta = 0 \quad (3.78)$$

$$3^o) \frac{\partial L}{\partial \alpha} = g(\underline{x}, \underline{u}) = 0 \quad (3.79)$$

$$4^o) \beta_i h_i(\underline{x}, \underline{u}) = 0 \quad [ \\ \text{avec } \beta_i \geq 0 \quad ] \quad (3.80)$$

Dans l'application concrète de ces conditions pour l'élaboration d'un modèle, des variables duales doivent être associées à chacune des équations de contraintes d'égalité et d'inégalité de (3.69) à (3.72).

D'autres approches de formulation sont basées sur les fonctions de pénalité. Le problème consiste alors à ajouter à la fonction objective initiale, un terme, qui attribue le plus haut coût pour la violation de toute contrainte, puis procéder à une optimisation séquentielle de la fonction objective augmentée sans contrainte.

Finalement, une possibilité de plus en plus utilisée consiste à la formulation linéaire des équations (3.27) et (3.28), puis obtenir la solution par la programmation linéaire.

### 3.3.3 Méthodes numériques de solution

Les méthodes numériques utilisées pour résoudre le problème d'écoulement optimal des charges avec contraintes peuvent être divisées en deux grandes catégories:

- les méthodes directes et
- les méthodes indirectes.

Les méthodes directes sont des méthodes de recherche qui oeuvrent directement sur le problème original, orientant leur recherche d'une région dite

réalisable vers la solution optimale. D'une itération à l'autre, la fonction objective diminue continuellement, ce sont:

- la programmation linéaire, méthode du Simplex
- méthode de la direction réalisable
- méthode du gradient
- méthode du gradient réduit.

Les méthodes indirectes supposent que le problème possède au départ les conditions nécessaires de continuité et de différentiabilité, et solutionnent le problème transformé ou un groupe de formulations approximatives du même problème sans contrainte, caractérisé par des équations représentant les conditions d'optimalité. Les plus rencontrées sont:

- les méthodes de fonction de pénalité
- les méthodes primales duales
- la programmation quadratique récursive
- la programmation linéaire récursive
- les méthodes des multiplicateurs.

### 3.4 RESUME

Le problème d'écoulement des charges à l'intérieur d'un réseau électrique peut être formulé avec ou sans contraintes. Le développement des relations de tout modèle conduit à des équations non linéaires. Compte tenu de la complexité des systèmes (nombre de barres et de lignes élevé), les méthodes de solution sont toujours itératives.

En général, connaissant la consommation totale de puissance ( $S_D$ ), la solution d'un problème optimal ou statique contient les étapes suivantes:

Etape (1) - formuler le modèle mathématique (SLFE) c.a.d., de développer des relations entre puissances générées  $S_{Gi}$  et l'état du système  $v_i$  et ou définir un critère d'optimalité.

Etape (2) - spécifier les contraintes du système ou celles d'ingénierie sur  $v_i$ ,  $S_{Gi}$ ,  $\theta_{ij}$ .

Etape (3) - résoudre les équations de (1) soumises aux contraintes de (2) pour trouver  $v_i$ .

Etape (4) - calculer les écoulements de charge dans chaque ligne, utilisant les  $v_i$  trouvés.

Ce processus de solution étant numérique, la formulation finale des équations de (1) et (2) doit être compatible avec la méthode utilisée. La démarche de solution adoptée dans ce travail étant la programmation linéaire, il s'agit d'élaborer les étapes (1) et (2) dans le prochain chapitre.

## CHAPITRE IV

### MODELE LINEAIRE

#### 4.1 LINEARISATION DES EQUATIONS

##### 4.1.1 Fondement du découplage

Pour appliquer la programmation dans cet ouvrage, toutes les équations décrivant le modèle doivent être des relations linéaires entre variables d'état et de contrôle. Cette condition est rencontrée grâce à l'utilisation du modèle linéaire du SLFE découplé.

Le problème de base de l'écoulement des charges (3.14) a été énoncé au chapitre III par deux relations d'injection de puissance (3.27) et (3.28). Ces équations sont algébriques et fonctions non linéaires de l'amplitude de la tension  $v$  ( $v_1, \dots, v_n$ ) et de l'angle de la phase  $\theta$  ( $\theta_1, \dots, \theta_n$ ) et peuvent s'écrire comme:

$$P_i = P_i(v, \theta) \quad (4.1)$$

et

$$Q_i = Q_i(v, \theta) \quad (4.2)$$

Cependant, il est reconnu dans la littérature [3-6], [8] et [36] pour ne citer que celles-ci, que l'équation d'équilibre de la puissance active

(3.27) a un plus grand effet sur l'angle de phase de la tension que sur son amplitude. Similairement, l'équation d'équilibre de la puissance réactive (3.28) a un plus grand effet sur l'amplitude de la tension que sur son angle de phase. Ceci peut être déduit de la considération suivante en analysant le système de distribution à deux barres (Fig. 4.1 a).

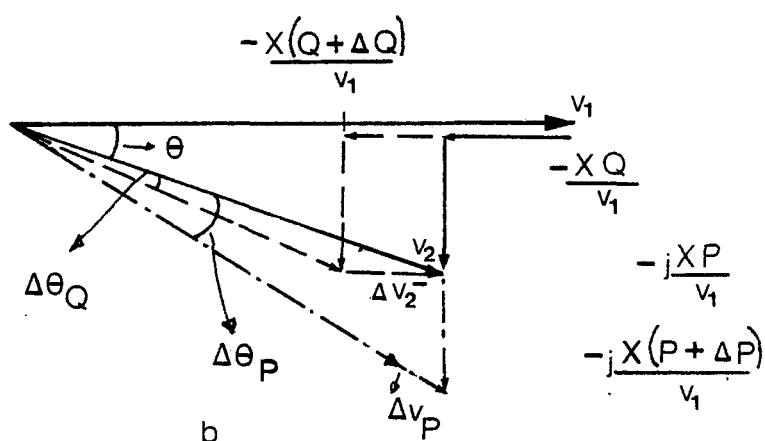
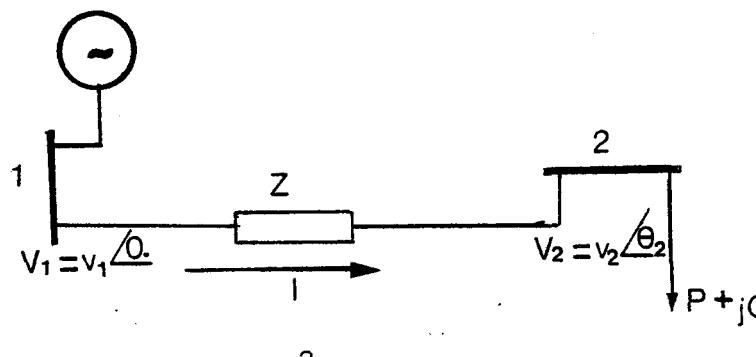


Figure 4.1

Supposons que  $V_1 = v_1 \angle 0^\circ$  la référence du système et  $Z_{ij} = Z = jX$  car généralement  $R \ll X$ . On peut alors écrire:

$$V_2 = V_1 - IZ \quad (4.3)$$

De l'équation (3.10) on sait que:

$$I = \frac{P-jQ}{V_1^*} = \frac{S^*}{V_1^*} = \frac{P-jQ}{V_1} \quad (4.4)$$

Par une substitution de (4.4) dans (4.3), on obtient:

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 - j \frac{(P-jQ)X}{V_1} \\ V_2 &= V_1 - \frac{XQ}{V_1} - j \frac{XP}{V_1} \end{aligned} \quad (4.5)$$

réelle imaginaire

La relation (4.5) est représentée par le diagramme vectoriel de la figure 4.1 b. De celle-ci on peut faire deux observations:

1<sup>o</sup>) Une variation  $\Delta P$  dans  $P$  entraîne principalement une variation  $\Delta\theta_P$  de  $\theta$  et un petit changement  $\Delta v_P$  de  $v_2$ .

2<sup>o</sup>) Une variation  $\Delta Q$  dans  $Q$  entraîne principalement une variation  $\Delta v_Q$  de  $v_2$  et un petit changement  $\Delta\theta_Q$  de  $\theta$ .

Ainsi, généralisant cette affirmation à un système à  $N$  barres, on peut écrire les relations (4.1) et (4.2) spécifiquement comme:

$$P_i = P_i(\theta) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.6)$$

et

$$Q_i = Q_i(v) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.7)$$

qui sont respectivement des fonctions non linéaires de  $\theta$  et  $v$ . Les deux fonctions seront linéarisées en terme de leurs variables respectives  $\Delta\theta$  et  $\Delta v$  grâce à leur expansion en série de Taylor dans deux modèles distincts, un pour la puissance active et l'autre pour la puissance réactive.

#### 4.1.2 Modèle linéaire de la puissance active

Ce modèle repose sur l'hypothèse suivante:

"Une variation  $\Delta P_i$  de  $P_i$  affecte seulement l'angle de phase  $\theta$ ; d'une variation  $\Delta\theta_j$ .

La relation d'injection de puissance active (3.27) s'écrit:

$$P_i(v, \theta) \approx P_i(\theta) = v_i \sum_{j=1}^N v_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (4.8)$$

dont le développement en série de Taylor après avoir négligé les termes d'ordre élevé donne:

$$P_i(\theta + \Delta\theta) \approx P_i(\theta) + \Delta P_i(\theta) \quad (4.9)$$

où

$$\Delta P_i(\theta) = \sum_{j=1}^N \frac{\partial P_i}{\partial \theta_{ij}} \Delta \theta_{ij} \quad (4.10)$$

A partir de l'équation (4.8) on obtient les dérivées partielles comme:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_{ij}} = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N v_j (-G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (4.11)$$

Donc

$$\Delta P_i = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N v_j (-G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \Delta \theta_{ij} \quad (4.12)$$

qui est une fonction linéaire de  $\Delta \theta_{ij}$  où

$$\Delta \theta_{ij} \stackrel{\Delta}{=} \Delta \theta_i - \Delta \theta_j \quad (4.13)$$

Soit

$$C_{ij} = v_i v_j (-G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (4.14)$$

alors (4.14) devient:

$$\Delta P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N C_{ij} \Delta \theta_{ij} \quad (4.15)$$

En appliquant la même démarche à l'équation (3.34) on a:

$$P_{ij}(\theta + \Delta \theta) = P_{ij}(\theta) + \Delta P_{ij}(\theta) \quad (4.16)$$

où  $\Delta P_{ij}$  est obtenu en dérivant partiellement l'équation (3.34). Cela donne:

$$\Delta P_{ij} = |Z_{ij}|^{-2} (R_{ij} \sin \theta_{ij} + X_{ij} \cos \theta_{ij}) \Delta \theta_{ij} \quad (4.17)$$

Les pertes actives totales (3.31) sous forme différentielle sont données par:

$$\Delta P_L = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \quad (4.18)$$

où  $\Delta P_i$  est défini par (4.15).

Dans la référence [34], ce modèle a été appliqué au problème général de répartition optimale de la puissance active à l'aide de la fonction objective suivante:

$$F = \sum_{ij}^M \gamma_{ij} |\theta_{ij} + \Delta\theta_{ij}| + \sum_{i=1}^N \mu_i (P_{Gi} + \Delta P_{Gi}) + \sum_{i=1}^N \rho_i (P_{Di} + P_{Di}) \quad (4.19)$$

minimiser les pertes      minimiser le coût      approvisionnement sélectif  
 de transmission            de génération        ou maximal

sujette aux contraintes générales

$$P_{Gi}^m \leq P_{Gi} + \Delta P_{Gi} \leq P_{Gi}^M \quad (4.20a)$$

$$P_{Di}^m \leq P_{Di} + \Delta P_{Di} \leq P_{Di}^M \quad (4.20b)$$

$$|\theta_{ij} + \Delta\theta_{ij}| \leq \theta_{ij} \quad (4.20c)$$

$$\sum (\theta_{ij} + \Delta\theta_{ij}) = 0 \quad (4.20d)$$

#### 4.1.3 Modèle linéaire de la puissance réactive

Le principe de base repose sur l'affirmation généralisée:

"Une variation  $\Delta Q_i$  de  $Q_i$  affecte seulement l'amplitude de la tension  $v$  d'un changement  $\Delta v$ ."

Alors la relation d'injection de puissance réactive (3.28) peut s'écrire:

$$Q_i(v, \theta) = Q_i(v) = v_i \sum_{j=1}^N D_{ij} v_j \quad (4.21)$$

où

$$D_{ij} = -B_{ij} \cos \theta_{ij} + G_{ij} \sin \theta_{ij} \quad (4.22)$$

Sachant que les angles ( $\theta$ ) sont constants on peut écrire:

$$\Delta \theta_i = \Delta \theta_j = 0$$

$$\theta_i \neq \theta_j = \text{cte} \quad (4.23)$$

$$\theta_{ij} = \text{cte}$$

Ainsi, développant (4.21) en série de Taylor et négligeant les termes d'ordre élevé, on obtient:

$$Q_i(v + \Delta v) = Q_i(v) + \Delta Q_i(\Delta v) \quad (4.24)$$

dans lequel

$$\Delta Q_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \in S}}^N \frac{\partial Q_i}{\partial v_j} \Delta v_j \quad (4.25)$$

De (4.21) on obtient les dérivées partielles comme:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial v_j} \left| \begin{array}{ll} 2v_i D_{ii} + \sum_{j=1}^N D_{ij} v_j & j=i \\ v_i D_{ij} & j \neq i \end{array} \right. \quad (4.26a)$$

$$\quad (4.26b)$$

Après réarrangement des termes provenant de la dérivation, (4.25) devient donc:

$$\Delta Q_i = \left( -2B_{ii}v_i + \sum_{i \neq j=1}^N v_j D_{ij} \right) \Delta v_i + v_i \left( \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N D_{ij} \Delta v_j \right) \quad (4.27)$$

La relation (4.27) est une équation algébrique linéaire de  $\Delta v$  ( $\Delta v_1, \Delta v_2, \dots, \Delta v_n$ ).

En appliquant la même démarche à l'écoulement de puissance réactive à travers les lignes de transmission (3.36) on obtient:

$$Q_{ij}(v+\Delta v) \approx Q_{ij}(v_j) + \Delta Q_{ij}(\Delta v_j) \quad (4.28)$$

où

$$\Delta Q_{ij} = \frac{\partial Q_{ij}}{\partial v_j} \Delta v_j + \frac{\partial Q_{ij}}{\partial v_i} \Delta v_i \quad (4.29)$$

Les dérivées partielles calculées à partir de (3.36) donnent:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{ij}}{\partial v_i} &= (2X_{ij}v_i - X_{ij}v_j \cos \theta_{ij} - R_{ij}v_j \sin \theta_{ij}) * |Z_{ij}|^{-2} \\ \frac{\partial Q_{ij}}{\partial v_j} &= (-X_{ij}v_i \cos \theta_{ij} - R_{ij}v_i \sin \theta_{ij}) * |Z_{ij}|^{-2} \end{aligned} \quad (4.30)$$

Donc

$$\Delta Q_{ij} = |Z_{ij}|^{-2} * (2X_{ij}v_i \Delta v_i - (X_{ij} \cos \theta_{ij} + R_{ij} \sin \theta_{ij}) * (v_j \Delta v_i + v_i \Delta v_j)) \quad (4.31)$$

Après regroupement des termes, l'équation (4.31) devient:

$$\Delta Q_{ij} = (2B_{ij}v_i + D_{ij}v_j) \Delta v_i + D_{ij}v_i \Delta v_j \quad (4.32)$$

Les pertes réactives locales (3.35) linéarisées sont:

$$\Delta Q_{L_i} = -2 |z_{ii}|^2 X_{ii} v_i \Delta v_i \quad (4.33)$$

Ainsi, on peut écrire les pertes réactives différentielles totales comme:

$$\Delta Q_L = \sum_{i=1}^N \Delta Q_i = \sum_{i=1}^N \Delta Q_{Gi} = \sum_{i=1}^N \Delta Q_{Di} \quad (4.34)$$

où

$$\Delta Q_L = \sum_{i=1}^N \Delta Q_{Li} + \sum_{\substack{i \neq j \\ j=1}}^M \Delta Q_{ij} \quad (4.35)$$

dans laquelle  $\Delta Q_{Li}$  et  $\Delta Q_{ij}$  sont des équations linéaires de  $\Delta V_j$  et sont définis respectivement par (4.33) et (4.32).

Une réorganisation des termes de (4.34) conduit à:

$$\sum_{i=1}^N \Delta Q_{Gi} = \sum_{i=1}^N \Delta Q_{Di} + \Delta Q_L \quad (4.36)$$

où  $\Delta Q_L$  défini par (4.35).

Cette formulation signifie qu'en toute circonstance, l'allocation additionnelle totale de puissance réactive générée dans le réseau doit être égale à la somme des fluctuations de la demande plus les pertes réactives, ce qui donne l'équation d'équilibre du réactif sous forme différentielle, énoncée antérieurement au chapitre III.

Les équations linéaires développées dans cette section serviront à

l'élaboration des contraintes du système lors de la formulation de base du problème de la répartition des puissances réactives pour le contrôle des variations de voltages de barre.

#### 4.2 FORMULATION DU PROBLEME

##### 4.2.1 Enoncé du problème

La redistribution de la puissance réactive générée dans un réseau électrique est nécessaire pour améliorer et maintenir le point d'opération tel que défini par le profil des tensions de barre. Cette répartition de puissance est gérée par un opérateur par l'ajustement approprié des équipements suivants:

- compensateurs synchrones;
- banques de condensateurs;
- autres sources de VAR.

Cette action de l'opérateur peut être considérée comme un problème de contrôle du voltage par une réallocation des puissances réactives générées. Comme on le sait, des contraintes existent sur les variables de contrôle (capacité minimale et maximale des points de production). Une certaine tolérance sur la déviation des voltages des noeuds de consommation doit être respectée. Cette situation peut être formulée comme un problème d'optimisation dont la fonction objective est de minimiser la somme des variations absolues des tensions de barre, sujette aux contraintes physiques du système et celles des variables.

#### 4.2.2 Fonction objective

La fonction objective adoptée doit assurer une déviation minimale de chaque voltage de barre de son point d'opération fixé pour une meilleure stabilité du réseau. Comme proposée et utilisée dans les références [28], [29] et [34] dans la formulation d'autres modèles de contrôle et sécurité, la forme mathématique convenable au présent problème est:

$$\min H = \sum_{i=1}^N \xi_i |\Delta V_i| \quad (4.37)$$

ou  $\xi_i$  est un facteur de poids quelconque.

La composante  $i$  de la fonction objective peut être représentée graphiquement par la figure 4.2 ci-dessous dans laquelle  $H_i$  est la contribution de l'unité  $i$ .

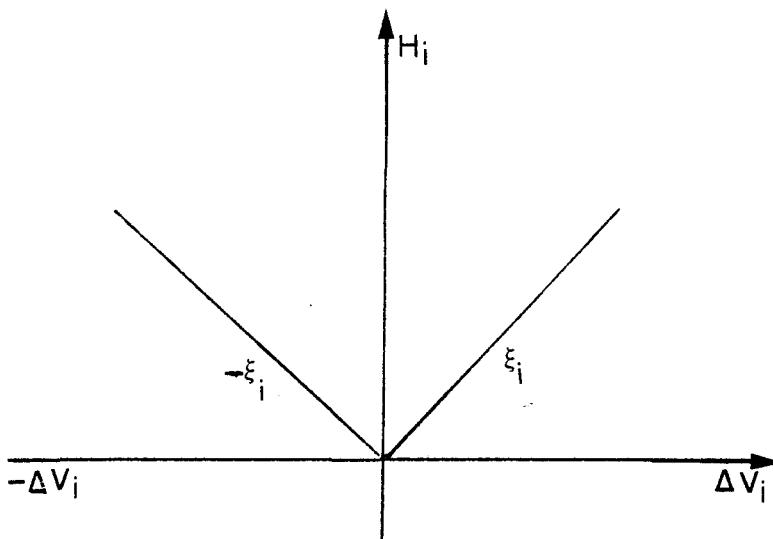


Figure 4.2  
Pour l'application de la programmation linéaire, cette fonction dis-

continue et sa variable  $\Delta v_i$  sont représentées par deux fonctions linéaires simples de deux variables appelées  $\Delta v'$  et  $\Delta v''$  à l'aide d'un support mathématique (appendice B).

#### 4.2.3 Contraintes du modèle

Elles se composent de deux types:

- les contraintes d'égalité traduites par des relations linéaires des variables de contrôle, des variables d'état et des perturbations;
- les contraintes d'inégalité ou d'ingénierie constituées par les limites des variables d'état et celles des variables de contrôle.

##### 4.2.3.1 contraintes d'égalité

Considérons des variations  $\Delta v$  ( $\Delta v_1, \dots, \Delta v_n$ ) sur  $v$  ( $v_1, \dots, v_n$ ) la relation d'injection pour tout noeud  $i$  du système devient:

$$Q_i(v + \Delta v) = Q_{Gi} + \Delta Q_{Gi} - (Q_{Di} + \Delta Q_{Di}) \quad (4.38)$$

En substituant le membre de gauche de (4.38) à l'approximation de (4.24) on obtient après réarrangement:

$$\Delta Q_i(\Delta v) - \Delta Q_{Gi} = Q_{Gi} - (Q_{Di} + \Delta Q_{Di} + Q_i(v)) \quad (4.39)$$

$b_i$

soit:  $[b]$  le vecteur des constantes d'égalité dont chaque élément  $b_j$  est défini à partir des conditions d'opération actuelles  
 $[\Delta Q_G]$  le vecteur de production supplémentaire de puissance réactive  
 $[j]$  matrice des coefficients des dérivées partielles définies par  
(4.26a) éléments de la diagonale; (4.26b) éléments hors diagonale

$[\Delta V]$  vecteur des variations des tensions.

Alors sous forme matricielle (4.39) s'écrit:

$$[J] [\Delta V] - [\Delta Q_G] = [b] \quad (4.40)$$

La relation (4.40) permet d'avoir une relation entre la variable de contrôle  $\Delta Q_{Gi}$  et la variable d'état  $\Delta V_i$  tout en tenant compte de la physique du système.

#### 4.2.3.2 contraintes d'inégalité

La zone optimale d'opération est définie également par les contraintes imposées sur  $\Delta v_i$  et  $\Delta Q_{Gi}$ , d'où doit satisfaire:

$$v_i^m - v_i \leq \Delta v_i \leq v_i^M - v_i \quad (4.41)$$

et

$$Q_{Gi}^m \leq Q_{Gi} + \Delta Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^M \quad (4.42)$$

#### 4.2.4 Enoncé final

Connaissant un profil d'angle de phase obtenu à partir du dispatching économique, le problème est de trouver une nouvelle répartition des puissances réactives générées qui minimise les variations des tensions de barre, c'est-à-dire:

$$\min \sum_{i=1}^N \xi_i |\Delta v_i|$$

sujet à:

$$Q_i(\Delta v) - \Delta Q_{Gi} = b_i$$

$$\sum_{i=1}^N \Delta Q_{Gi} = \sum_{i=1}^N \Delta Q_{Di} + \Delta Q_L$$

(4.43)

$$Q_{Gi}^M \leq Q_{Gi} + \Delta Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^M$$

$$|\Delta v_i| \leq \Delta v_i^M$$

Si  $\xi_i > 0$ ,  $i = 1, \dots, N$ , le problème formulé par (4.43) grâce à l'utilisation d'un support mathématique de transformation [34], a la même solution que:

$$\min \sum_{i=1}^N \xi_i (\Delta v'_i + \Delta v''_i)$$

$$\text{avec } \Delta v_i \stackrel{\Delta}{=} \Delta v'_i - \Delta v''_i$$

sujet aux contraintes:

$$0 \leq \Delta v'_i \leq \Delta v_i^M$$

$$0 \leq \Delta v''_i \leq \Delta v_i^M$$

(4.44)

$$\Delta Q_i(\Delta v') - \Delta Q_i(\Delta v'') - \Delta Q_{Gi} = b_i$$

$$\sum_{i=1}^N \Delta Q_{Gi} = \sum_{i=1}^N \Delta Q_{Di} + \Delta Q_L$$

$$Q_{Gi}^M \leq Q_{Gi} + \Delta Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^M$$

Dans (4.44), toutes les relations sont linéaires, des variables de contrôle et d'état. Donc cette formulation répond à la définition générale du problème de programmation linéaire et permettra de développer l'algorithme de solution du modèle de la répartition optimale de la puissance réactive pour le contrôle de la variation des voltages de barre.

#### 4.2.5 Algorithme de solution numérique

Le problème d'optimisation formulé par les relations de (4.44) a été résolu de façon numérique selon le cheminement donné à la figure 4.3. Le logiciel résultant, PROGQV, fut développé grâce à l'ordinogramme de la figure 4.4 et est fourni à l'annexe B avec les différents sous-programmes qui le composent. D'une manière générale, la nature du problème, contrôle de la variation des tensions de barre par une réallocation des puissances réactives générées, exige des informations de base sur la constitution physique du système et celles sur son point d'opération actuel. L'algorithme de solution de toute situation se résume comme suit:

1. Lecture des données caractéristiques du problème: valeurs actuelles et limites des variables.
2. Initialisation générale et formulation de la matrice paramétrique.
3. Calcul des écoulements de charge, des puissances réactives injectées et des pertes initiales de transmissions.
4. Doit-on effectuer une simulation pour planifier la production de puissance réactive en vue d'un contrôle de la variation des tensions de

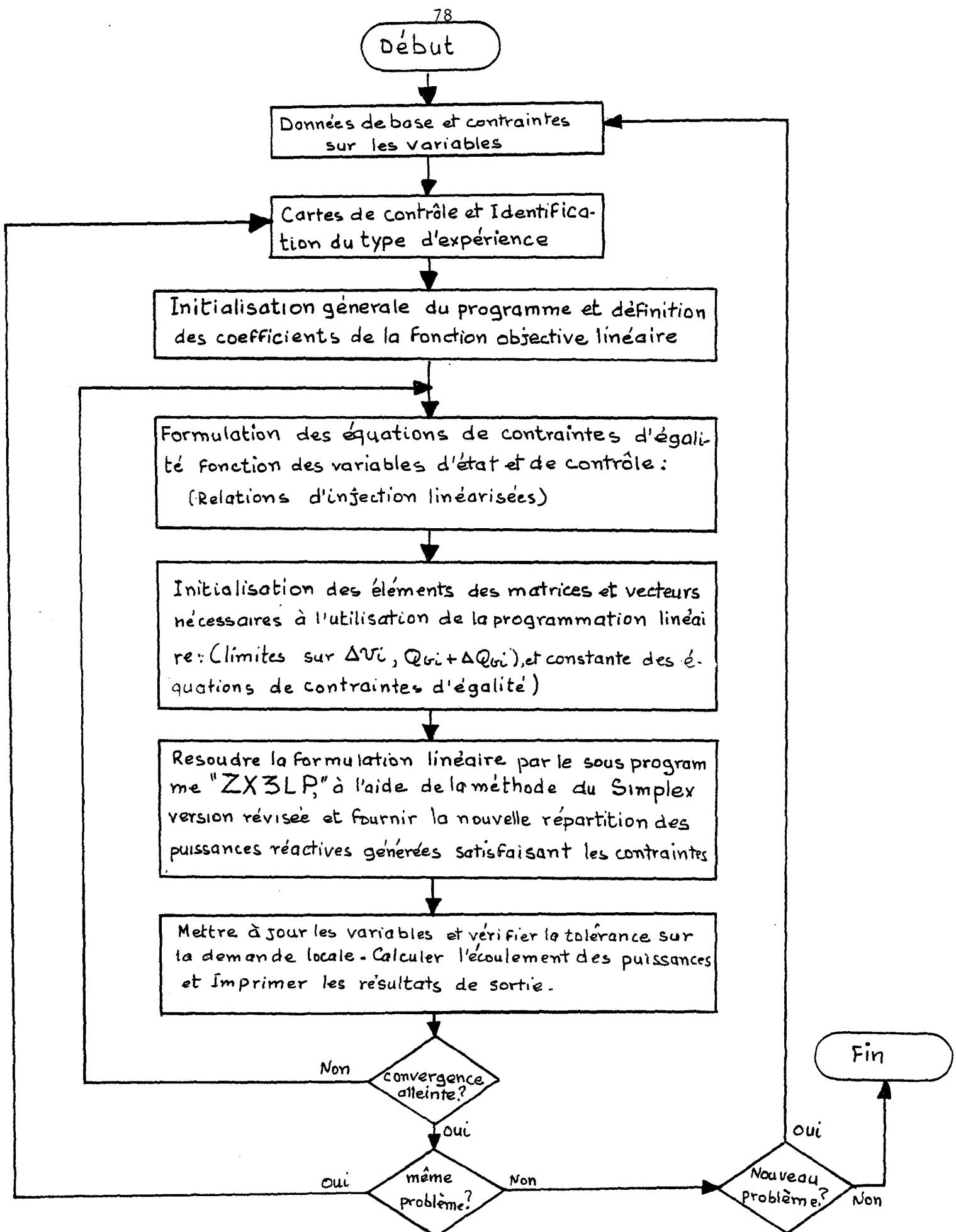
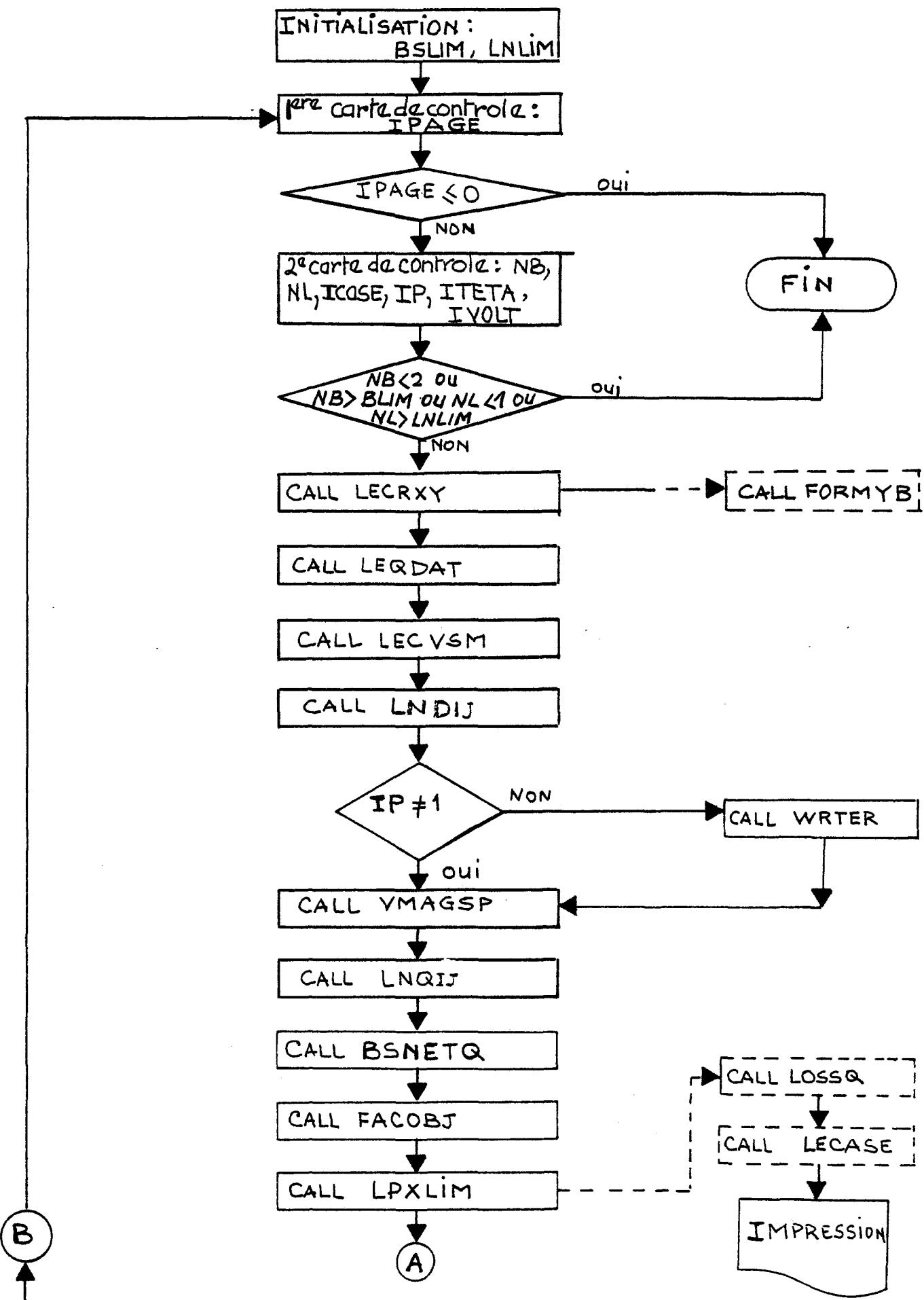


FIG. 4.3



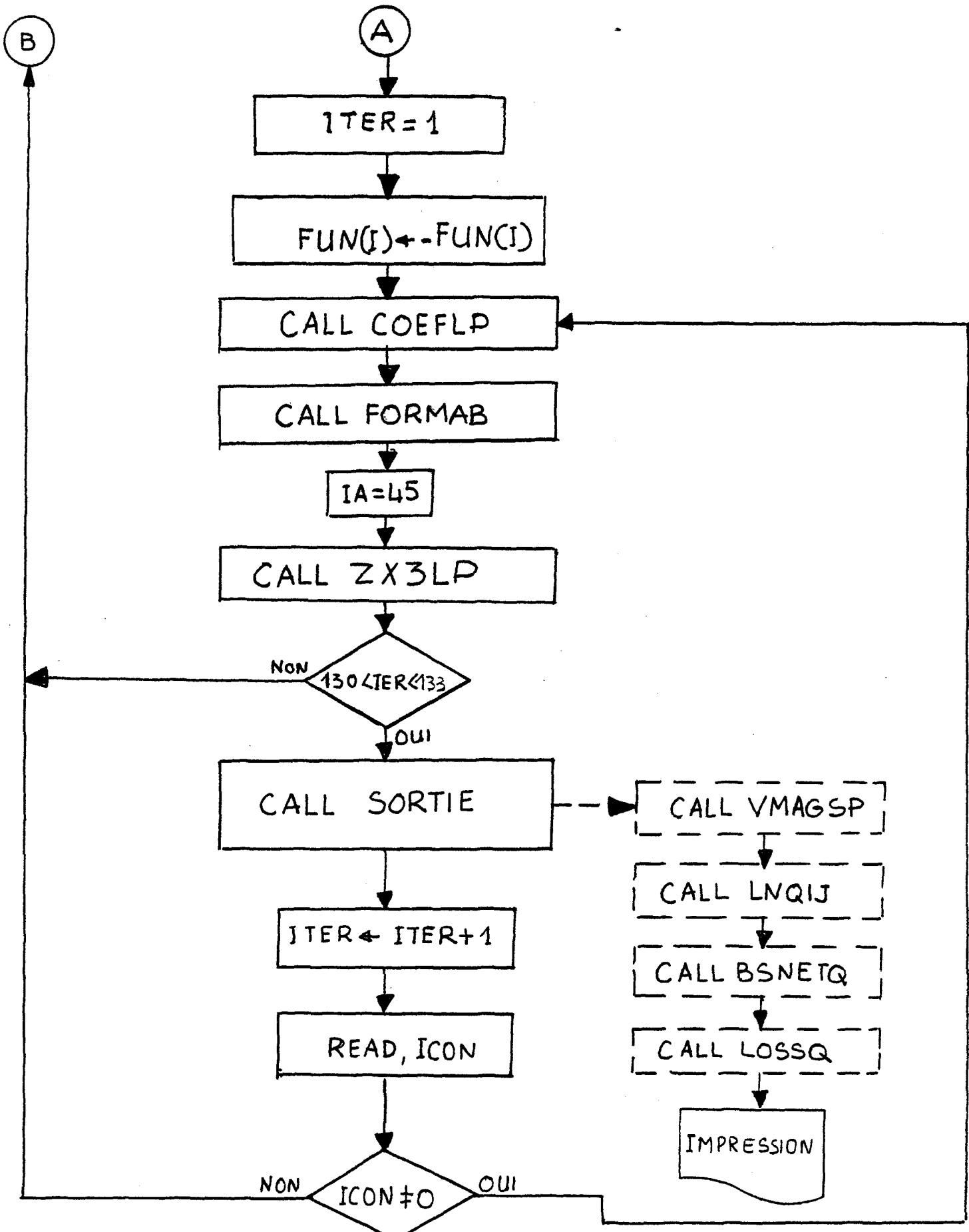


FIG.4.4

barre. Si oui, spécifier la nature de l'expérience, Sinon, fin.

5. Spécification des facteurs de poids de la fonction objective linéaire.

6. Calcul des coefficients des équations d'égalité linéaire.

7. Initialisation des éléments des différentes matrices et vecteurs du sous-programme d'optimisation linéaire (ZX3LP).

8. Résolution du problème par ZX3LP, méthode du Simplex, version révisée pour obtenir les puissances réactives nécessaires à satisfaire les contraintes.

9. Mise à jour des différentes variables et calcul des écoulements de charge.

10. Est-ce que chaque demande locale est totalement satisfaite? Sinon, aller à l'étape 6. Si oui, définition d'une nouvelle simulation (étape 4) ou d'un nouveau problème (étape 1).

## CHAPITRE V

### APPLICATION NUMERIQUE ET RESULTATS

Pour vérifier la validité de l'approche, le programme PROGQV, préparé selon le modèle linéaire de la relation (4.44) a été écrit en FORTRAN IV et essayé sur l'ordinateur CDC-6400. Quatre sortes de contingences ont été simulées comme applications. Dans chacun des cas, l'idée de base était de garder le système aussi proche que possible de son point d'opération par une réallocation des puissances réactives générées.

#### 5.1 APPLICATIONS

L'utilisation adéquate et efficace de PROGQV se fait à l'intérieur d'une démarche de simulation impliquant le modèle découpé de la puissance active. Généralement les amplitudes des tensions de service sont connues aux différentes barres du réseau. Dans ce contexte, des simulations peuvent être effectuées pour planifier la production en cas d'événements fortuits. Ayant déterminé la nature de la simulation, la procédure débute comme suit:

- Supposant les amplitudes des voltages de barres constantes, on calcule les puissances actives générées et les phases des tensions qui minimisent le coût d'opération du système (modèle de la puissance active).
- Gardant les angles obtenus constants, on minimise les variations des amplitudes des tensions autour du point d'opération par une nouvelle répar-

tition des puissances réactives générées (modèle de la puissance réactive).

A l'intérieur d'un tel cheminement, le profil d'angle du point d'opération initial varie d'une expérience à l'autre. Dans la réalité, une génératrice en panne, ou une ligne coupée entraîne toujours une nouvelle répartition de la puissance active générée et une modification des phases des tensions de barre. Cette situation n'a pas été préservée dans les expériences effectuées. La raison est qu'elle ne change ni la logique de la solution, ni l'assignation des différentes variables. La seule conséquence directe sur le modèle de la puissance réactive est une légère modification des résultats de sortie, compte tenu de la faible dépendance de  $Q$  et de  $\theta$ . Ainsi, pour étudier quelques cas pratiques et courants, les expériences qui suivent ont été simulées conformément à l'assignation décrite pour la variable de demande différentielle  $\Delta Q_{Di}$ .

#### Expérience 1. Ecoulement des charges

C'est le cas fondamental où l'on connaît les puissances réactives demandées à chaque noeud. Dans le modèle, on spécifie:

$$\Delta Q_{Di} = Q_{Di} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

#### Expérience 2. Fluctuation de la demande

En pratique, la consommation de la clientèle n'est pas constante. Connaissant la variation (augmentation ou diminution) de la demande, on la spécifie au noeud concerné comme  $\Delta Q_{Di}$ .

### Expérience 3. Panne des génératrices

En pratique, un nouveau profil d'angle provenant du modèle de la puissance active doit être généralement fourni compte tenu de la relation  $P$  et  $\theta$ . Dans ce cas, la variation  $\Delta Q_{Dk}$  correspondant à la génératrice  $k$  est spécifiée par:

$$\Delta Q_{Dk} = Q_{Gk}$$

### Expérience 4. Panne des lignes de transmission

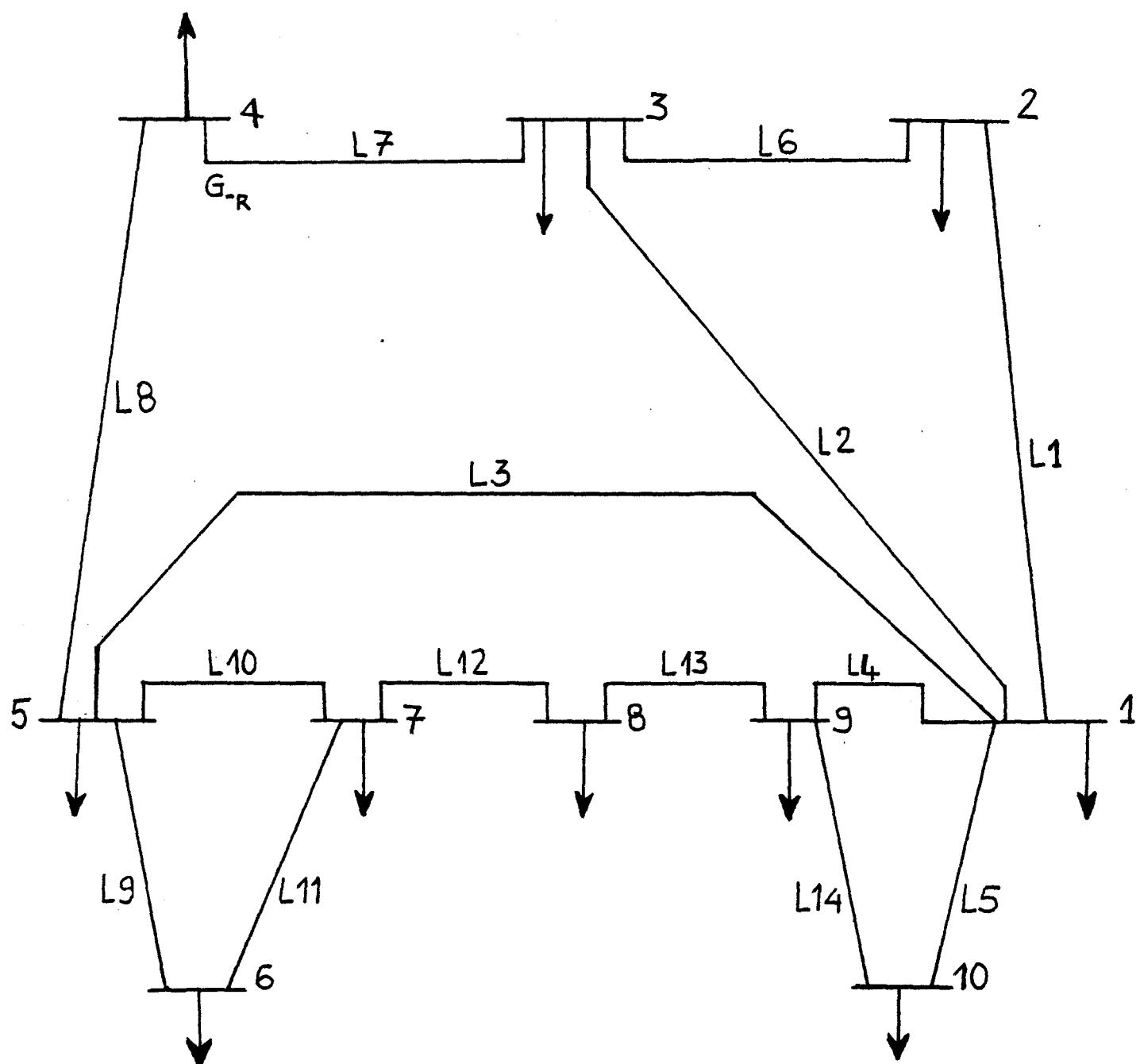
Chaque ligne de transmission coupée entraîne une modification des angles de transfert de puissance et une variation de la demande de puissance réactive aux barres d'attache. Ayant un nouveau profil des phases des tensions de barre obtenu du modèle de la puissance active, ces fluctuations,  $\Delta Q_{Di}$  au noeud de début et  $\Delta Q_{Dj}$  au noeud terminal sont données respectivement par:

$$\Delta Q_{Di} = -Q_{ij}$$

$$\Delta Q_{Dj} = -Q_{ji}$$

### 5.2 RESULTATS NUMERIQUES

Les différentes applications ont été simulées à l'aide du système de distribution de la figure 5.1. C'est le réseau de 10 barres et 14 lignes de transmission de la référence [25]. Les données relatives au point d'opération initial et celles sur la physique du système proviennent des ta-



Réseau de 10 barres et 14 lignes

Figure 5.1

bleaux I, II et III du même article. Seules les limites sur les variables d'état et de contrôle ont été rajoutées. Toutes ces informations sont regroupées dans le tableau Ia et Ib. Le tableau Ic fournit l'écoulement de charge dans chaque ligne du réseau. Dans le programme, les facteurs de poids  $\xi_i$  de la fonction objective (4.44a) et les limites sur les variations des tensions de barre ont été respectivement initialisés:

$$\xi_i = 1.0 \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$\left| \Delta v_i \right|^M = 0.025 \text{ pu} \quad i = 1, 2, \dots, N \\ i \neq S$$

A chaque cycle de solution de toute expérience simulée, on fait appel au sous-programme ZX3LP de la librairie IMSL pour résoudre le nouveau problème linéaire. Dans le cas du système d'essai, la nouvelle répartition optimale des puissances réactives générées est atteinte en moyenne après deux itérations pour un temps de calcul de 5.5 secondes. Le critère de convergence de la procédure numérique est établi à:

$$\left| \Delta Q_{Di} \right| \leq 0.001 \text{ pu} \quad \text{pour } i = 1, 2, \dots, N$$

Expérience 1. Le tableau 2 donne les résultats de l'écoulement optimal des charges classiques. Les différentes valeurs obtenues au point de génération sont sensiblement les mêmes que celles du tableau II de [25]. Dans le tableau 3, les noeuds 2 et 10 ont leur voltage contrôlé, c'est-à-dire, que leur amplitude est maintenue constante. Cette situation modifie grandement la répartition des puissances réactives générées observée.

Expérience 2. Le tableau 4, la variation de la demande pour chacun des

noeuds 1,3,5,9 et 10 a été spécifiée à 0.25 pu, soit une augmentation générale de  $\frac{1}{4}$ . La puissance réactive totale générée supplémentaire est de 1.35 pu. Dans ce cas, les génératrices 1,7 et 10 atteignent leur limite supérieure. Les résultats d'une baisse de consommation de 50% dans le système sont résumés dans le tableau 5.

Expérience 3. Trois cas ont été simulés. Les génératrices 1,3 et 10 ont été successivement mises hors service. Les tableaux 6,7 et 8 résument les résultats respectifs. Dans le tableau 6, on constate que la génératrice 10 opère à pleine capacité pour obtenir un profil de tension satisfaisant les contraintes. La puissance réactive totale générée a augmenté de 0.0031 par rapport au tableau 2. Cette valeur est insignifiante. Lorsque la génératrice 3 est hors circuit, tableau 7, on assiste à une réallocation parfaite. On constate dans le tableau 8 que la génératrice 1 est à son maximum lorsque la génératrice 10 est en panne. Dans ce même tableau il a fallu laisser la tension de la génératrice 10 descendre à 0.0009 de sa limite inférieure pour obtenir une solution réalisable.

Expérience 4. Les lignes de transmission sélectionnées successivement pour simuler la panne des lignes sont 1,3,5 et 9 et les résultats sont fournis respectivement dans les tableaux 9,10,11 et 12.

D'une manière générale, le programme PROGQV a permis de façon concluante de simuler les expériences décrites. Pour compléter les informations sur chaque cas étudié, le temps mis pour atteindre les différentes solutions optimales est donné au bas de chaque tableau.

TABLEAU 1

## INFORMATIONS DE BASE SUR LE SYSTEME :

## a) DONNEES SUR LES CARACTERISTIQUES DES LIGNES DU RESEAU

LINE	SN	TN	RIJ(L)	XIJ(L)	YSHT	TETIJ
1	1 <---->	2	.0030	.0280	0.0000	-.0385
2	1 <---->	3	.0590	.1510	0.0000	-.0139
3	1 <---->	5	.1430	.3640	0.0000	.0735
4	1 <---->	9	.0440	.1120	0.0000	.0924
5	1 <---->	10	.0290	.0730	0.0000	.0676
6	1 <---->	3	.0010	.0100	0.0000	-.0139
7	3 <---->	4	.0040	.0320	0.0000	.0528
8	4 <---->	5	.0050	.0420	0.0000	.0346
9	5 <---->	6	.0550	.1400	0.0000	.0441
10	5 <---->	7	.0730	.1850	0.0000	.0456
11	6 <---->	7	.1320	.3360	0.0000	.0015
12	7 <---->	8	.0290	.0730	0.0000	.0022
13	8 <---->	9	.0330	.0840	0.0000	-.0289
14	9 <---->	10	.0330	.0840	0.0000	-.0248

## b) DONNEES SUR LES TENSIONS ET LES PUISSANCES REACTIVES DE BARRE :

BUS	Vmag	TET(K)	QGMIN	QG	QGMAX	QD	SHTY
1	1.0411	2.2288	0.0000	1.6500	2.5000	1.0000	0.0000
2	1.0403	4.4347	0.0000	1.0500	1.1000	.5000	0.0000
3	1.0336	3.0252	0.0000	.1020	1.4500	.7500	0.0000
4	1.0300	0.0000	0.0000	.9130	1.2500	.5000	0.0000
5	1.0128	-1.9824	0.0000	0.0000	0.0000	.2500	0.0000
6	.9948	-4.5092	0.0000	.2920	.4000	.2500	0.0000
7	.9862	-4.5951	0.0000	.7560	.9000	.5000	0.0000
8	.9591	-4.7212	0.0000	0.0000	0.0000	.2500	0.0000
9	.9697	-3.0653	0.0000	0.0000	0.0000	.5000	0.0000
10	1.0078	-1.6444	0.0000	.7320	.9500	.5000	0.0000
				5.4950		5.0000	

## c) ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	.2155	-.1588
2	1 <---->	3	.0790	-.0775
3	1 <---->	5	.0045	.0110
4	1 <---->	9	.3252	-.2192
5	1 <---->	10	.1054	-.0356
6	1 <---->	3	.9315	-.9053
7	3 <---->	4	-.0560	.1477
8	4 <---->	5	.3297	-.2935
9	5 <---->	6	.0109	.0032
10	5 <---->	7	.0468	-.0338
11	6 <---->	7	.0206	-.0204
12	7 <---->	8	.3065	-.2977
13	8 <---->	9	.0080	.0011
14	9 <---->	10	-.2797	.3009

>>>DONNER LES LIMITES DE PRODUCTION : QGMAX  
? -1 0

PERTE REACTIVE INITIALE DE TRANSMISSION= .4701

## TABLEAU 2

EXPERIENCE (1) - RESULTAT A L'ITERATION 2  
=====

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0407	-.0002	1.0405	2.2288
2	1.0593	-.0006	1.0587	4.4347
3	1.0361	-.0002	1.0359	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0122	.0002	1.0125	-1.9824
6	.9951	.0005	.9957	-4.5092
7	.9867	.0013	.9879	-4.5951
8	.9612	.0008	.9620	-4.7212
9	.9697	.0002	.9699	-3.0653
10	1.0061	-.0000	1.0061	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0041

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0000	1.6500	-.0000	1.0000
2	.0000	1.0500	-.0000	.5000
3	0.0000	.1020	-.0000	.7500
4	.0000	.9130	-.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
6	0.0000	.2791	.0000	.2500
7	.0126	.7504	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	-.0000	.5000
10	.0000	.7320	-.0000	.5000
	.0126	5.4764	-.0000	5.0000

## ÉCOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	-.4806	.5500
2	1 <---->	3	.0615	-.0602
3	1 <---->	5	.0038	.0116
4	1 <---->	9	.3181	-.2130
5	1 <---->	10	.1190	-.0484
6	1 <---->	3	.6282	-.6056
7	3 <---->	4	.0177	.0749
8	4 <---->	5	.3381	-.3016
9	5 <---->	6	.0032	.0107
10	5 <---->	7	.0368	-.0243
11	6 <---->	7	.0184	-.0182
12	7 <---->	8	.2929	-.2849
13	8 <---->	9	.0349	-.0262
14	9 <---->	10	-.2608	.2804

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4765

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

4.510 CP SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 3

EXPERIENCE (1) - RESULTAT A L'ITERATION 2  
=====

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0387	0.0000	1.0387	2.2298
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0338	0.0000	1.0338	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0120	-.0000	1.0120	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	.0000	.9862	-4.5951
8	.9610	-.0000	.9610	-4.7212
9	.9697	-.0000	.9697	-3.0653
10	1.0078	0.0000	1.0078	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0000

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0010	2.2372	-.0000	1.0000
2	.0000	.4280	0.0000	.5000
3	.0001	.0001	-.0000	.7500
4	.0000	.9900	.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
6	0.0000	.2788	.0000	.2500
7	.0001	.7340	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	-.0000	.5000
10	.0000	.7926	-.0000	.5000
	.0011	5.4606	-.0000	5.0000

## ÉCOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	.1286	-.0720
2	1 <---->	3	.0634	-.0620
3	1 <---->	5	.0008	.0144
4	1 <---->	9	.3056	-.2022
5	1 <---->	10	.0763	-.0083
6	1 <---->	3	.6625	-.6396
7	3 <---->	4	-.0483	.1401
8	4 <---->	5	.3499	-.3130
9	5 <---->	6	.0057	.0083
10	5 <---->	7	.0429	-.0300
11	6 <---->	7	.0206	-.0204
12	7 <---->	8	.2844	-.2768
13	8 <---->	9	.0268	-.0180
14	9 <---->	10	-.2798	.3009

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4606

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

5.704 CP SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 4

EXPERIENCE (2) - RESULTAT A L'ITERATION 2

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0411	0.0000	1.0411	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0396	.0000	1.0396	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0060	-.0001	1.0060	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9915	-.0002	.9913	-4.5951
8	.9577	-.0002	.9575	-4.7212
9	.9565	-.0003	.9562	-3.0653
10	.9988	-.0002	.9986	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0010

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0000	2.5000	-.0000	1.2500
2	0.0000	.3412	-.0000	.5000
3	.0107	.8041	-.0000	1.0000
4	.0006	.9537	-.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.5000
6	.0010	.3020	.0000	.2500
7	.0000	.9000	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	-.0000	.7500
10	.0000	.9500	-.0000	.7500
	-----	-----	-----	-----
	.0123	6.7511	-.0000	6.2500

## ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	.2155	-.1588
2	1 <---->	3	.0432	-.0420
3	1 <---->	5	.0219	-.0055
4	1 <---->	9	.4370	-.3156
5	1 <---->	10	.2211	-.1436
6	1 <---->	3	.3113	-.2904
7	3 <---->	4	.1365	-.0418
8	4 <---->	5	.4955	-.4528
9	5 <---->	6	-.0317	.0445
10	5 <---->	7	-.0100	.0207
11	6 <---->	7	.0075	-.0075
12	7 <---->	8	.3868	-.3732
13	8 <---->	9	.1232	-.1153
14	9 <---->	10	-.3190	.3436

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .5011

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

6.207 CP SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 5

EXPERIENCE (2) - RESULTAT A L'ITERATION 2

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0350	0.0000	1.0350	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0336	0.0000	1.0336	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0128	0.0000	1.0128	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9685	0.0000	.9685	-4.5951
8	.9613	-.0001	.9612	-4.7212
9	.9781	-.0001	.9780	-3.0653
10	1.0078	0.0000	1.0078	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0002

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0073	1.0567	-.0000	.5000
2	.0000	.3169	-.0000	.2500
3	.0000	.0000	-.0000	.3750
4	.0000	.7274	-.0000	.2500
5	0.0000	0.0000	0.0000	.1250
6	.0000	.1944	-.0000	.1250
7	.0072	.1457	-.0000	.2500
8	0.0000	0.0000	-.0000	.1250
9	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
10	.0011	.4996	-.0000	.2500
	.0156	2.9406	-.0000	2.5000

## ÉCOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	-.0095	.0669
2	1 <---->	3	.0422	-.0410
3	1 <---->	5	-.0106	.0252
4	1 <---->	9	.2061	-.1142
5	1 <---->	10	.0298	.0353
6	1 <---->	3	.2987	-.2781
7	3 <---->	4	-.0560	.1477
8	4 <---->	5	.3297	-.2935
9	5 <---->	6	.0109	.0032
10	5 <---->	7	.1323	-.1136
11	6 <---->	7	.0661	-.0643
12	7 <---->	8	.0736	-.0729
13	8 <---->	9	-.0521	.0631
14	9 <---->	10	-.1989	.2143

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4406

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

5.014 CF SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 6

EXPERIENCE (3) - RESULTAT A L'ITERATION 2  
=====

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0273	-.0000	1.0273	2.2288
2	1.0449	.0010	1.0459	4.4347
3	1.0353	-.0000	1.0353	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0112	-.0000	1.0112	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	0.0000	.9862	-4.5951
8	.9591	0.0000	.9591	-4.7212
9	.9656	-.0000	.9656	-3.0653
10	1.0070	.0000	1.0070	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0011

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	0.0000	0.0000	-.0000	1.0000 <----PANNE
2	.0413	1.0596	-.0000	.5000
3	.0000	1.4500	-.0000	.7500
4	.0008	.9616	-.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
6	.0000	.2832	-.0000	.2500
7	.0000	.7593	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	.0000	.5000
* 10	0.0000	.9500	-.0000	.5000
	.0421	5.4637	-.0000	5.0000

## ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	-.4912	.5597
2	1 <---->	3	-.0136	.0152
3	1 <---->	5	-.0255	.0394
4	1 <---->	9	.2443	-.1495
5	1 <---->	10	-.0542	.1150
6	1 <---->	3	-.6599	.6866
7	3 <---->	4	-.0018	.0941
8	4 <---->	5	.3675	-.3299
9	5 <---->	6	.0011	.0126
10	5 <---->	7	.0394	-.0268
11	6 <---->	7	.0206	-.0204
12	7 <---->	8	.3065	-.2977
13	8 <---->	9	.0477	-.0393
14	9 <---->	10	-.3112	.3350

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4638

>>>TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION  
? 0  
DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE  
? 0  
6.448 CP SECONDS EXECUTION TIME.  
/

## TABLEAU 7

EXPERIENCE (3) - RESULTAT A L'ITERATION 2

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0387	.0000	1.0387	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0338	-.0000	1.0338	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0120	-.0000	1.0120	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	.0000	.9862	-4.5951
8	.9610	-.0000	.9610	-4.7212
9	.9697	-.0000	.9697	-3.0653
10	1.0078	0.0000	1.0078	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0000

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0010	2.2372	.0000	1.0000
2	0.0000	.4280	0.0000	.5000
3	0.0000	0.0000	-.0000	.7500 <----PANNE
4	.0000	.9900	-.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
6	0.0000	.2788	0.0000	.2500
7	.0001	.7340	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	-.0000	.5000
10	.0000	.7926	-.0000	.5000
	.0011	5.4606	-.0000	5.0000

## ÉCOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	.1286	-.0720
2	1 <---->	3	.0634	-.0621
3	1 <---->	5	.0008	.0144
4	1 <---->	9	.3056	-.2022
5	1 <---->	10	.0763	-.0083
6	1 <---->	3	.6626	-.6394
7	3 <---->	4	-.0483	.1401
8	4 <---->	5	.3499	-.3130
9	5 <---->	6	.0057	.0083
10	5 <---->	7	.0429	-.0300
11	6 <---->	7	.0206	-.0204
12	7 <---->	8	.2844	-.2768
13	8 <---->	9	.0268	-.0180
14	9 <---->	10	-.2798	.3009

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4606

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

5.915 CP SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 8

EXPERIENCE (3) - RESULTAT A L'ITERATION 2

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0411	-.0001	1.0410	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0365	.0000	1.0365	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0121	-.0000	1.0121	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	0.0000	.9862	-4.5951
8	.9699	0.0000	.9699	-4.7212
9	.9888	.0000	.9889	-3.0653
10	.9828	-.0009	.9819*	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0010

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0000	2.5000	.0000	1.0000
2	.0023	.3435	-.0000	.5000
3	.0084	.1274	-.0000	.7500
4	0.0000	.9017	-.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
6	.0000	.2780	-.0000	.2500
7	.0000	.6289	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	.0240	.6808	-.0000	.5000
10	0.0000	0.0000	-.0000	.5000 <----PANNE
	.0347	5.4603	-.0000	5.0000

## ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	.2132	-.1565
2	1 <---->	3	.0612	-.0599
3	1 <---->	5	.0061	.0094
4	1 <---->	9	.1652	-.0763
5	1 <---->	10	.4314	-.3348
6	1 <---->	3	.6229	-.6002
7	3 <---->	4	.0375	.0554
8	4 <---->	5	.3464	-.3096
9	5 <---->	6	.0066	.0074
10	5 <---->	7	.0435	-.0307
11	6 <---->	7	.0206	-.0204
12	7 <---->	8	.1800	-.1768
13	8 <---->	9	-.0732	.0852
14	9 <---->	10	.1718	-.1652

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4603

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

5.406 CP SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 9

EXPERIENCE (4) - RESULTAT A L'ITERATION 2

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0387	0.0000	1.0387	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0338	0.0000	1.0338	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0120	-.0000	1.0120	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	.0000	.9862	-4.5951
8	.9610	-.0000	.9610	-4.7212
9	.9697	-.0000	.9697	-3.0653
10	1.0078	0.0000	1.0078	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0000

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.1738	2.1085	-.0000	1.0000
2	0.0000	.5000	0.0000	.5000
3	.0001	.0001	-.0000	.7500
4	.0000	.9900	.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
6	0.0000	.2788	0.0000	.2500
7	.0001	.7340	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	-.0000	.5000
10	.0000	.7926	-.0000	.5000
	.1740	5.4039	-.0000	5.0000

## ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <-->	2	<-----	PANNE
2	1 <-->	3	.0634	-.0620
3	1 <-->	5	.0008	.0144
4	1 <-->	9	.3056	-.2022
5	1 <-->	10	.0763	-.0083
6	1 <-->	3	.6625	-.6396
7	3 <-->	4	-.0483	.1401
8	4 <-->	5	.3499	-.3130
9	5 <-->	6	.0057	.0083
10	5 <-->	7	.0429	-.0300
11	6 <-->	7	.0206	-.0204
12	7 <-->	8	.2844	-.2768
13	8 <-->	9	.0268	-.0180
14	9 <-->	10	-.2798	.3009

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4039

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

4.304 CF SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 10

EXPERIENCE (4) - RESULTAT A L'ITERATION 2  
=====

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0387	0.0000	1.0387	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0338	0.0000	1.0338	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0124	-.0000	1.0124	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	0.0000	.9862	-4.5951
8	.9610	0.0000	.9610	-4.7212
9	.9697	-.0000	.9697	-3.0653
10	1.0078	0.0000	1.0078	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0001

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0126	2.2364	-.0000	1.0000
2	.0000	.4280	-.0000	.5000
3	.0001	.0001	-.0000	.7500
4	.0011	.9796	-.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0002	.2498
6	.0002	.2762	-.0000	.2500
7	.0003	.7321	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	.0000	.5000
10	.0000	.7926	-.0000	.5000
	.0143	5.4450	-.0002	4.9998

## ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <-->	2	.1286	-.0720
2	1 <-->	3	.0634	-.0620
3	1 <-->	5	<----->	PANNE
4	1 <-->	9	.3056	-.2022
5	1 <-->	10	.0763	-.0083
6	1 <-->	3	.6625	-.6396
7	3 <-->	4	-.0483	.1401
8	4 <-->	5	.3396	-.3030
9	5 <-->	6	.0083	.0057
10	5 <-->	7	.0449	-.0319
11	6 <-->	7	.0206	-.0204
12	7 <-->	8	.2844	-.2768
13	8 <-->	9	.0268	-.0180
14	9 <-->	10	-.2797	.3009

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4452

>>>TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION  
? 0  
DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE  
? 0  
6.159 CP SECONDS EXECUTION TIME.  
/

## TABLEAU 11

EXPERIENCE (4) ~ RESULTAT A L'ITERATION 2

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0387	0.0000	1.0387	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0338	0.0000	1.0338	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0120	-.0000	1.0120	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	.0000	.9862	-4.5951
8	.9610	-.0000	.9610	-4.7212
9	.9697	-.0000	.9697	-3.0653
10	1.0078	0.0000	1.0078	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0000

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0589	2.1609	-.0000	1.0000
2	.0000	.4280	-.0000	.5000
3	.0001	.0001	-.0000	.7500
4	.0000	.9900	.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
6	0.0000	.2788	.0000	.2500
7	.0001	.7340	-.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	-.0000	.5000
10	.0000	-.8009	-.0000	.5000
	.0590	5.3926	-.0000	5.0000

## ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <-->	2	.1286	-.0720
2	1 <-->	3	.0634	-.0620
3	1 <-->	5	.0008	.0144
4	1 <-->	9	.3056	-.2022
5	1 <-->	10		PANNE
6	1 <-->	3	.6625	-.6396
7	3 <-->	4	-.0483	.1401
8	4 <-->	5	.3499	-.3130
9	5 <-->	6	.0057	.0083
10	5 <-->	7	.0429	-.0300
11	6 <-->	7	.0206	-.0204
12	7 <-->	8	.2844	-.2768
13	8 <-->	9	.0268	-.0180
14	9 <-->	10	-.2798	.3009

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .3926

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

4.907 CP SECONDS EXECUTION TIME.

/

## TABLEAU 12

EXPERIENCE (4) - RESULTAT A L'ITERATION 2

## NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE

BUS	VM(K-1)	DELV	VM(OPT)	TETA
1	1.0387	0.0000	1.0387	2.2288
2	1.0403	0.0000	1.0403	4.4347
3	1.0338	0.0000	1.0338	3.0252
4	1.0300	0.0000	1.0300	0.0000
5	1.0123	-.0001	1.0122	-1.9824
6	.9948	0.0000	.9948	-4.5092
7	.9862	0.0000	.9862	-4.5951
8	.9610	-.0000	.9610	-4.7212
9	.9697	-.0000	.9697	-3.0653
10	1.0078	0.0000	1.0078	-1.6444

VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE = .0001

## PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES

BUS	DELQG	QG(OPT)	DELQD	QD
1	.0013	2.2366	-.0000	1.0000
2	.0000	.4280	-.0000	.5000
3	.0001	.0001	0.0000	.7500
4	.0032	.9841	-.0000	.5000
5	0.0000	0.0000	-.0017	.2483
6	0.0000	.2706	-.0000	.2500
7	.0007	.7329	.0000	.5000
8	0.0000	0.0000	-.0000	.2500
9	0.0000	0.0000	-.0000	.5000
10	.0000	.7926	-.0000	.5000
	.0053	5.4448	-.0017	4.9983

## ÉCOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LES LIGNES

LINE	SN	TN	QIJ(L)	QJI(L)
1	1 <---->	2	.1286	-.0720
2	1 <---->	3	.0634	-.0620
3	1 <---->	5	.0002	.0150
4	1 <---->	9	.3056	-.2022
5	1 <---->	10	.0763	-.0083
6	1 <---->	3	.6625	-.6396
7	3 <---->	4	-.0483	.1401
8	4 <---->	5	.3441	-.3073
9	5 <---->	6	<----- PANNE ----->	
10	5 <---->	7	.0440	-.0311
11	6 <---->	7	.0206	-.0204
12	7 <---->	8	.2844	-.2768
13	8 <---->	9	.0268	-.0180
14	9 <---->	10	-.2798	.3009

PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION = .4465

&gt;&gt;&gt;TAPEZ 0 POUR ARRETER L'ITERATION

? 0

DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE

? 0

5.305 CP SECONDS EXECUTION TIME,

/

## CONCLUSION

Dans ce travail, il a été présenté une nouvelle approche de formulation et un algorithme de solution du problème de la répartition optimale des puissances réactives générées pour le contrôle de la variation des tensions de barre d'un réseau électrique. Les méthodes conventionnelles d'optimisation de l'écoulement des charges ont été revues. Ce modèle linéaire, plus simple a été introduit pour le contrôle à temps réel. La procédure d'optimisation nécessite la connaissance d'informations sur un premier point d'opération provenant d'un dispatching économique de la puissance active. Se basant sur ces données, elle évalue la répartition des puissances réactives de façon itérative par la méthode du Simplex version révisée. Elle traite les cas courants de contingences et tient compte des relations normales entre variables d'état et variables de contrôle.

Le présent algorithme de solution, basé sur la programmation linéaire, fournit une précision acceptable du point de vue pratique et requiert un temps de calcul court pour obtenir une bonne valeur des équipements de contrôle. Ainsi, il sera particulièrement efficace pour assister un opérateur de réseau électrique dans le port d'action afin de maintenir le niveau des tensions à l'intérieur de la tolérance permise lors des différentes situations simulées. Chaque solution est physiquement réalisable compte tenu de la formulation des équations de contraintes.

La structure du programme est compatible avec les données standard d'un problème d'écoulement des charges et les informations de sortie sont les puissances réactives aux noeuds de production. Ces quantités peuvent être satisfaites par différentes sources de VARS locales, tels les génératrices, les compensateurs synchrones, les banques de condensateur, etc. Cependant, le programme ne spécifie pas la manœuvre optimale pour l'ajustement de ces équipements de contrôle. Toute méthode et algorithme développés antérieurement à cette fin peuvent être sollicités pour assurer une coordination économique et efficace de l'action.

De façon générale, les résultats obtenus par cette approche linéaire et surtout le temps moyen de calcul lors des simulations du système à 10 barres permettent d'envisager l'utilisation du modèle pour l'analyse et l'exploitation de grands réseaux électriques.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.M. Sasson, F.J. Jaimes, "Digital Method Applied to Power Flow Studies", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-86, No.7, pp. 860-867, July 1967
- [2] W.F. Tinney, C.E. Hart, "Power Flow Solutions by Newton Method", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-86, pp. 1149-1460, November 1967
- [3] L.F. Despotovic, B.L. Babic, V.P. Mastilovic, "A Rapid and Reliable Method for Solving Load Flow Problems", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-90, pp. 120-130, 1971
- [4] B. Stott, "Decoupled Newton Load Flow", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-91, pp. 1955-1972, 1972
- [5] B. Stott, O. Alsac, "Fast Decoupled Load Flow", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-93, pp. 859-869, 1974
- [6] S.F. Despotovic, "A New Decoupled Load Flow Method", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-93, pp. 884-891, 1974
- [7] B. Stott, "Review of Load Flow Calculation Method", Proceeding of the IEE, vol. 62, No.7, July 1974
- [8] F.G. Vervoot, A. Brameller, "A.C. Security Assessment", Proceeding of the IEE, vol. 122, pp. 897-902, No.9, September 1975
- [9] L.K. Kirchmayer, "Economic Operation of Power System" New York, Wiley, 1958
- [10] J. Carpentier, "Contribution à l'étude du dispatching économique", Bull. Soc. Franc. Electriciens, vol.8, pp. 431-447, Août 1962
- [11] C.M. Chen, M.A. Laughton, "Determination of Optimum Power Operating Condition under Constraints", Proceeding of the IEE, vol. 116, No.2, pp. 225-239, February 1969
- [12] A.H. El-Abiad, F.J. Jaimes, "A Method for Optimum Scheduling of Power and Voltage Magnitude", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-88, pp. 413-422, April 1969

- [13] A.M. Sasson, "Nonlinear Programming Solutions for Load Flow, Minimum Loss, and Economic Dispatching Problems", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-88, pp. 399-409, April 1969
- [14] A.M. Sasson, "Combined Use of Powell and Fletcher-Powell Nonlinear Programming for Optimal Load Flows", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-98, pp. 1530-1537, October 1969
- [15] O. Alsac, B. Stott, "Optimal Load Flow with Steady State Security", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-93, pp. 745-751, 1974
- [16] A.M. Sasson, H.M. Merrill, "Some Application of Optimization Techniques to Power Systems Problems", Proceeding of the IEEE, vol. 62, No.7, pp. 959-972, July 1974
- [17] V.H. Quintana, "Optimal Load Flow Method: A Survey", Document to IEEE, Mexico-81, pp. 478-496, 1981
- [18] J.T. Dopazo, O.A. Klitin, G.W. Stagg, M. Watson, "An Optimization Technique for Real and Reactive Power Allocation", Proceeding of the IEEE, vol. 55, No. 11, pp. 1877-1885, Novembre 1967
- [19] J. Peschon, D.S. Percy, O.J. Eveit, M. Guenod, "Optimal Control of Reactive Power Flow", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-87, pp. 40-48, 1968
- [20] T. Hano, Y. Camura, S. Narita, K. Matscemoto, "Real Time Control of System Voltage and Reactive Power", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., pp. 1544-1558, 1969
- [21] H.W. Dommel, W.F. Finney, "Optimal Power Flow Solutions", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-87, No.10, pp. 1866-1876, October 1968
- [22] R.L. Sullivan, "System Parameter Dispatching Generator MVAR Control", IEEE PES, Summer Meeting, Paper G73-459-5, Vancouver, B.C. Canada
- [23] R.L. Sullivan, "Controling Generator MVAR Loading using Static Optimization Technique", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-91, pp. 906-910, May/June 1972
- [24] S.C. Savulescu, "Quantitative Indices for the Voltage and Reactive Power Control", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-95, pp. 1413-1421, 1976
- [25] H. Nicolson, M.J.H. Serling, "Optimum Dispatch of Active and Reactive Power generation by Quadratic Programming", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-92, pp. 644-654, March/April 1973
- [26] S. Narita, M.S.A. Hamman, "A Computational Algorithm for Real-Time Control of System Voltage and Reactive Power, Parts I and II", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-90, pp. 2495-2508, 1971

- [27] R.R. Shoultz, M.S. Chen, "Reactive Power Control by Least Squares Minimization", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-95, pp. 325-334, 1976
- [28] O.J.C. Katenbach, L.P. Hajdu, "Optimum Corrective Rescheduling for Power System Security", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-90, No.2, March/April 1971
- [29] B. Stott, E. Hobson, "Power Security Control Calculation using linear Programming", Part I and II, Paper F77 578-8, IEEE PES Summer Meeting, Mexico City, July 1977
- [30] E. Hobson, "Network Constrained Reactive Power Control Using Linear Programming", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-99, No.3, May/June 1980
- [31] J. Mescua, M. Daneshdoost, "A Linear Programming Method for Identifying, Secure Sets of Power Generation and Voltages", IEEE, Paper CH1583-4-80, 1980
- [32] K.R.C. Mamandur, R.D. Chenoweth, "Optimal Control of Reactive Power Flow, for Improvement in Voltage Profiles and for Real Power Loss Minimisation", IEEE, Paper 81, WM027-2, pp. 1-9, 1981
- [33] R.A. Fernandes, F. Lange, R.C. Burchett, H.H. Happ, K.A. Wirgau, "Large Scale Reactive Power Planning", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-102, No.5, pp. 1083-1088, 1983
- [34] R.T. Bui, S. Ghaderpanah, "Real Power Rescheduling and Security Assessment", IEEE, Trans. Pow. App. Syst., vol. PAS-101, No.8, August 1982
- [35] G.W. Stagg, A.H. El-Abiad, "Computer Method in Power System Analysis", McGraw Hill, New York, 1968
- [36] O.J. Elgerd, "Electric Energy Systems Theory: An Introduction", McGraw Hill, New York, 1971
- [37] W.D. Stevenson, "Element of Power System", McGraw Hill, New York, 1975
- [38] C.A. Cross, "Power System Analysis", Auburn University, John Wiley and Sons, New York, 1979
- [39] G.B. Dantzig, "Linear Programming and Extension", Princeton University Press, Princeton N.J. 1963
- [40] D.G. Luenberger, "Introduction to Linear and Nonlinear Programming", Adison-Wesley, Massachusset 1973
- [41] C.S. Beightler, D.F. Philips, D.J. Wilde, "Foundation of Optimization", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1979

## APPENDICE A

## LISTE DES SYMBOLES

$S_{Gi}$	= Puissance apparente complexe générée au noeud i
$S_{Di}$	= Puissance apparente complexe consommée au noeud i
$S_i \stackrel{\Delta}{=} S_{Gi} - S_{Di}$	= Puissance apparente complexe injectée au noeud i
$P_{Gi}$	= Puissance active générée au noeud i
$P_{Di}$	= Puissance active demandée au noeud i
$Q_G$	= Puissance réactive générée
$Q_D$	= Puissance réactive demandée
$I_i$	= Courant complexe entrant au noeud i
$R_{ij}$	= Résistance de la ligne $i \rightarrow j$
$X_{ij}$	= Réactance de la ligne ij
$y'_{ij}$	= Admittance totale de charge de la ligne ij
$V_i$	= Tension complexe du noeud i
$v_i$	= $ V $ = Amplitude (module) de la tension i
$\Delta v_i$	= Variation de l'amplitude de la tension i
$\theta_i$	= Phase de la tension
$Z_{ij}$	= Elément de la matrice impédance de barre
$Y_{ij}$	= Elément de la matrice admittance de barre
$y_i$	= Admittance de la barre i
$S_{ij}$	= Ecoulement de puissance complexe à travers la ligne ij
$P_{ij}$	= Ecoulement de puissance active à travers la ligne ij
$Q_{ij}$	= Ecoulement de puissance active à travers la ligne ij
N	= Nombre de noeuds ou de barres du système
M	= Nombre de lignes de transmission
n	= Nombre de génératrices
s	= Barre de référence
$\xi_i$	= Scalaire de proportionnalité (facteur de poids)
$P_i \stackrel{\Delta}{=} P_{Gi} - P_{Di}$	= Puissance active injectée au noeud i
$Q_i \stackrel{\Delta}{=} Q_{Gi} - Q_{Di}$	= Puissance réactive injectée au noeud i

L'indice supérieur \* indique conjuguée d'une variable alors que m et M en indice spécifient respectivement minimum et maximum.

# **MEMOIRES ET THÈSES DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

00927

**Page 3 de 3**

## APPENDICE B

Soit K et L deux entiers positifs et  $\delta_i > 0$  pour  $i = 1, \dots, K$ . Considérons que l'hypothèse qui suit est vrai pour en donner la preuve après. Ainsi, acceptons que:

$$\text{minimiser} \quad \sum_{i=1}^K \delta_i |x_i| \quad (1)$$

sujet aux contraintes d'inégalité

$$|x_i| \leq x_i^M \quad i=1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^L A_{ij} x_i \leq b_i \quad (3)$$

et à la contrainte d'égalité

$$\sum_{j=1}^L H_{ij} x_i = d_i \quad (4)$$

a la même solution optimale que la fonction linéaire.

$$\text{minimiser} \quad \sum_{i=1}^K \delta_i (x'_i + x''_i) \quad (5)$$

sujet aux contraintes d'inégalité

$$0 \leq x'_i \leq x_i^M, \quad 0 \leq x''_i \leq x_i^M \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^L A_{ij} (x'_i - x''_i) \leq b_i \quad (7)$$

et à la contrainte d'égalité

$$\sum_{j=1}^L H_{ij} (x'_i - x''_i) = d_i \quad (8)$$

dans lesquelles

$$x_i = x'_i - x''_i \quad (9)$$

Preuve: Par rapport à la définition (9), les relations (3) et (4) sont respectivement équivalentes à (7) et (8). Il reste à établir la même similitude entre (1) et (5).

Soit  $x_i'^*$  et  $x_i''^*$  la solution de (5). Pour prouver l'hypothèse initiale, il s'agit de démontrer que si  $x_i'^*$  ou  $x_i''^*$  ou les deux sont égales à zéro, alors:

$$\left| x_i^* \right| = \left| x_i'^* - x_i''^* \right| = \left| x_i'^* + x_i''^* \right| = (x_i'^* + x_i''^*) = x_i'^* \text{ ou } x_i''^* \quad (10)$$

Supposons  $\varepsilon_i = \min(x_i'^*, x_i''^*)$  et définissons:

$$\begin{aligned} x_i' &= x_i'^* - \varepsilon_i \\ x_i'' &= x_i''^* - \varepsilon_i \end{aligned} \quad (11)$$

satisfaisant (6), (7) et (8). La substitution de  $x_i'$  et  $x_i''$  dans (5) donne:

$$\sum_{i=1}^K \delta_i (x_i' + x_i'') = \sum_{i=1}^K \delta_i (x_i'^* + x_i''^*) - 2 \sum_{i=1}^K \varepsilon_i \delta_i \quad (12)$$

qui, dû à l'optimalité de  $x'^*$  et  $x''^*$ , implique

$$\sum_{i=1}^K \varepsilon_i \delta_i = 0 \quad (13)$$

Dans (13), puisque au départ  $\delta_i > 0$ , alors  $\varepsilon_i \delta_i = 0$  signifie que  $\varepsilon_i = 0$  pour chaque  $i$ . Ainsi, (10) est vérifiée. Donc au point optimal, les énoncés (1) et (5) sont équivalents. Cela complète la preuve.

ANNEXE I

Sous programme "ZX3LP" provenant de la librairie IMSL  
disponible dans la programmathère de CYBER

IMSL ROUTINE NAME - ZX3LP

PURPOSE - SOLVE THE LINEAR PROGRAMMING PROBLEM  
VIA THE REVISED SIMPLEX ALGORITHM -  
EASY TO USE VERSION

USAGE - CALL ZX3LP (A, IA, B, C, N, M1, M2, S, PSOL, DSOL, RW,  
IW, IER)

ARGUMENTS

- A - MATRIX OF DIMENSION M1+M2+2 BY N  
CONTAINING THE COEFFICIENTS OF THE M1  
INEQUALITY CONSTRAINTS IN THE FIRST M1 ROWS  
FOLLOWED BY THE COEFFICIENTS OF THE M2  
EQUALITY CONSTRAINTS. (INPUT)  
THE LAST TWO ROWS OF A ARE USED ONLY  
AS WORKING STORAGE.
- IA - ROW DIMENSION OF MATRIX A EXACTLY AS SPECIFIED  
IN THE DIMENSION STATEMENT IN THE CALLING  
PROGRAM. (INPUT) TWO ROWS OF A ARE REQUIRED  
FOR WORKING STORAGE, AND THEREFORE, IA MUST  
NOT BE LESS THAN M1+M2+2.
- B - VECTOR OF LENGTH M1+M2+2 CONTAINING THE  
RIGHT HAND SIDES OF THE INEQUALITY  
CONSTRAINTS IN ITS FIRST M1 LOCATIONS  
FOLLOWED BY THE M2 RIGHT HAND SIDES OF THE  
EQUALITY CONSTRAINTS. (INPUT)  
THE LAST TWO ELEMENTS OF B ARE USED  
AS WORKING STORAGE.
- C - VECTOR OF LENGTH N CONTAINING THE  
COEFFICIENTS OF THE OBJECTIVE FUNCTION.  
(INPUT)
- N - NUMBER OF UNKNOWNS IN THE MODEL. (INPUT)
- M1 - NUMBER OF INEQUALITY CONSTRAINTS. (INPUT)
- M2 - NUMBER OF EQUALITY CONSTRAINTS. (INPUT)
- S - VALUE OF THE OBJECTIVE FUNCTION. (OUTPUT)
- PSOL - VECTOR OF LENGTH N CONTAINING THE PRIMAL  
SOLUTION. (OUTPUT) PSOL IS ALSO USED AS  
WORK STORAGE AND THEREFORE MUST HAVE LENGTH  
AT LEAST MAX(N, M1+M2).
- DSOL - VECTOR OF LENGTH M1+M2+2 CONTAINING THE  
DUAL SOLUTION. (OUTPUT)  
THAT IS, DSOL(1), ..., DSOL(M1+M2)  
CONTAIN THE SOLUTION TO THE  
PROBLEM MIN BT\*Y SUBJECT TO AT\*Y IS  
GREATER THAN OR EQUAL TO C AND Y GREATER  
THAN OR EQUAL TO 0 WHERE AT = A-TRANSPOSE  
AND BT = B-TRANSPOSE. WHEN THE PRIMAL  
PROBLEM HAS EQUALITY CONSTRAINTS, THE  
CORRESPONDING COMPONENTS OF THE DUAL  
SOLUTION ARE UNCONSTRAINED. DSOL(M1+M2+1)  
AND DSOL(M1+M2+2) ARE USED AS WORKING  
STORAGE.
- RW - WORK VECTOR OF LENGTH (M1+M2+2) \* (M1+M2+2) +  
3\*M1+2\*M2+4.
- IW - WORK VECTOR OF LENGTH 2\*M2+3\*M1+4.

IER - ERROR INDICATOR. (OUTPUT)  
TERMINAL ERROR  
IER = 130 INDICATES THAT IA IS LESS THAN M<sub>1</sub>+M<sub>2</sub>+2.  
IER = 131 INDICATES THAT THE COST CRITERION HAS UNBOUNDED VALUES.  
IER = 132 INDICATES THAT THE MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS WAS REACHED IN ZXOLP.  
IER = 133 INDICATES THAT NO FEASIBLE SOLUTION EXISTS.  
WARNING (WITH FIX)  
IER = 70 INDICATES THAT SOME ARTIFICIAL VARIABLES REMAINED IN THE SOLUTION BASIS AT A ZERO LEVEL AFTER PHASE 1. THIS CONDITION CAN BE CAUSED BY HAVING REDUNDANT CONSTRAINTS. NEVERTHELESS, A SOLUTION IS COMPUTED AND RETURNED IN PSOL AND DSOL.

PRECISION/HARDWARE - SINGLE AND DOUBLE/H32  
- SINGLE/H36, H48, H60

REQD. IMSL ROUTINES - UERTST, UGETIO, ZXOLP

NOTATION - INFORMATION ON SPECIAL NOTATION AND CONVENTIONS IS AVAILABLE IN THE MANUAL INTRODUCTION OR THROUGH IMSL ROUTINE UHELP

REMARKS ZX3LP IS INTENDED TO BE VERY EASY TO USE. THEREFORE, THE CALLING PARAMETERS ARE VERY SIMPLE AND THERE ARE NO OPTIONS. ZXOLP CAN BE USED DIRECTLY IN SITUATIONS THAT REQUIRE MORE FLEXIBILITY THAN IS PROVIDED BY ZX3LP.

#### Algorithm

To solve the linear programming problem,

$$\text{maximize } c_1 \text{PSOL}_1 + \dots + c_N \text{PSOL}_N = SP$$

subject to

$$a_{i1} \text{PSOL}_1 + \dots + a_{iN} \text{PSOL}_N \leq b_i \quad i=1, \dots, M_1$$

$$a_{i1} \text{PSOL}_1 + \dots + a_{iN} \text{PSOL}_N = b_i \quad i=M_1+1, \dots, M$$

$$\text{PSOL}_j \geq 0 \quad j=1, \dots, N$$

where  $M = M_1 + M_2$ .

The dual linear programming problem is,

$$\text{minimize } b_1 \text{DSOL}_1 + \dots + b_M \text{DSOL}_M = SD$$

subject to

$$a_{1j} DSOL_1 + \dots + a_{Mj} DSOL_M \geq c_j \quad j=1, \dots, N$$

$$DSOL_i \geq 0 \quad i=1, \dots, M_1$$

$$DSOL_i \text{ unrestricted in sign when } i=M_1+1, \dots, M$$

ZX3LP computes the solution to the primal problem, PSOL, the solution to the dual problem, DSOL, and the values of the objective function S=SP=SD.

ZX3LP calls ZX0LP which solves the linear programming problem by the revised simplex method.

See reference:

Hadley, G., Linear Programming, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1962.

#### Programming Notes

ZX3LP is intended to be very easy to use. Therefore, the calling parameters are very simple and there are no options. ZX0LP can be used directly in situations that require more flexibility than is provided by ZX3LP.

#### Example

Suppose we want to maximize  $x_1 + 3x_2 = S$

$$\text{subject to } x_1 \leq 1$$

$$x_2 \leq 1$$

$$x_1 + x_2 \leq 1.5$$

$$-x_1 - x_2 \leq -.5$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

We can proceed as follows:

```

INTEGER IA,N,M1,M2,IW(16),IER
REAL A(6,2),B(6),C(2),RW(52),PSOL(4),DSOL(6),S
N = 2
M1 = 4
M2 = 0
IA = 6
A = 
$$\begin{bmatrix} 1. & 0. \\ 0. & 1. \\ 1. & 1. \\ -1. & -1. \end{bmatrix}$$


```

```
B      =  
$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1.5 \\ -.5 \end{bmatrix}$$

C      = (1.,3.)
CALL ZX3LP (A,IA,B,C,N,M1,M2,S,PSOL,DSOL,RW,IW,IER)
:
END
```

**Output:**

```
IER   =  0
S    =  3.5
PSOL = (.5,1.)
DSOL = (0.,2.,1.,0.)
```

ANNEXE 2

Programme d'ordinateur "PROGQV" écrit en Fortran IV  
sur CYBER 825 Nos. 2.2 602/(3).

```

00001 C **** PROGRAMME PRINCIPAL ****
00002 C
00003 C PROGRAM MINMQV(INPUT,OUTPUT,TAPE1,TAPE2,TAPE3,TAPE6-OUTPUT)
00004 C
00005 C
00006 C      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
00007 C      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00008 C      COMMON /AD2/ NH,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00009 C      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00010 C      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00011 C      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00012 C      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
00013 C      +COSS(20)
00014 C      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00015 C      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00016 C      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),UMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00017 C      +DVMAX(14)
00018 C      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00019 C      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
00020 C      +QNET(14)
00021 C      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACQ(14)
00022 C      COMMON /DA2/ A(45,42),B(45),C(42),RW(2143),PSOL(43),DSOL(45)
00023 C      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00024 C
00025 C ***** **** ***** **** ***** **** ***** **** ***** **** ***** **** ****
00026 C
00027 C      CE PROGRAMME PERMET DE RESOUDRE LA REPARTITION OPTIMALE DES
00028 C      PUISSANCES REACTIVES GENEREES DANS UN RESEAU ELECTRIQUE LORS
00029 C      DE CONTINGENCES MULTIPLES PAR LA PROGRAMMATION LINEAIRE VER-
00030 C      SION REVISEE DE LA METHODE SIMPLEX SUR L'ORDINATEUR CYBER.
00031 C
00032 C      LA PROCEDURE DE COMPILEATION EST LA SUIVANTE:
00033 C
00034 C      SET,PROGQU,TAPE1=DZR,TAPE2=DVT,TAPE3=DQM
00035 C
00036 C      OU PROGQU=NOM DU FICHIER PRINCIPAL
00037 C          DZR=DONNEES SUR LES IMPEDANCES ET ADMITTANCE DE LIGNES
00038 C          DVT=DONNEES SUR LES TENSIONS (AMPLITUDES ET PHASES)
00039 C          DQM=DONNEES SUR LES PUISSANCES REACTIVES DE BARRE
00040 C      REWIND,*  

00041 C      FTN,I=PROGQU,L=0,R=3
00042 C
00043 C      LA PROCEDURE D'EXECUTION EST:
00044 C
00045 C      RUN,SC,IMSL.
00046 C      LOAD-LGO.
00047 C      EXECUTE.
00048 C
00049 C      NOTE:IMSL EST LA LIBRARIE D'OU PROVIENT LA SUBROUTINE D'OPTI-
00050 C      TIMISATION UTILISEE "ZX3LP".
00051 C
00052 C ***** **** ***** **** ***** **** ***** **** ***** **** ***** ****

```

```

00052 C*****  

00053 C  

00054 C      DANS CE PROGRAMME LES DIMENSIONS LIMITES DES BARRES "BSLIM"  

00055 C      ET CELLES DES LIGNES "LNLLIM" ONT ETE FIXEES RESPECTIVEMENT A  

00056 C      14 ET 20 .CEPENDANT LA STRUCTURE DU PROGRAMME PERMET DE TRAI-  

00057 C      TER DES RESEAUX BEAUCOUP PLUS IMPORTANTS EN MODIFIANT LES DI-  

00058 C      MENSIONS DE CERTAINS VECTEURS ET MATRICES DEPENDANT DE CES PA-  

00059 C      RAMETRES.IL S'AGIT D'AJUSTER:  

00060 C  

00061 C      SN(BSLIM)= NOMBRE DE NOEUDS SOURCE  

00062 C      TN(BSLIM)= NOMBRE DE NOEUDS TERMINAUX  

00063 C      LINE(LNLLIM)= NOMBRE DE LIGNE DE TRANSMISSION  

00064 C      BS(BSLIM) = NOMBRE DE GENERATRICES  

00065 C      Z(LNLLIM) = VECTEUR DES IMPEDANCES  

00066 C      R(LNLLIM) = VECTEUR DES RESISTANCES DE LIGNE  

00067 C      X(LNLLIM) = VECTEUR DES REACTANCES DE LIGNE  

00068 C      YSHT(LNLLIM)= VECTEUR ADMITTANCE DE CHARGE DE LIGNE  

00069 C      SHTY(BSLIM)= VECTEUR ADMITTANCE SHUNT DE BARRE  

00070 C      SERR(LNLLIM)= VECTEUR DE TRAVAIL  

00071 C      SERX(LNLLIM)= VECTEUR DE TRAVAIL  

00072 C      TET(BSLIM) = VECTEUR DES PHASES DES TENSIONS DE BARRE  

00073 C      TETIJ(LNLLIM)= VECTEUR DES ANGLES DE TRANSMISION  

00074 C      VSPR(BSLIM)= PARTIES REELLES DES TENSIONS DE BARRE  

00075 C      VSPI(BSLIM)= PARTIES IMAGINAIRES DES TENSIONS DE BARRE  

00076 C      VSPL(BSLIM)= MODULE DES TENSIONS DE BARRE  

00077 C      VMAG(GSLIM)=  

00078 C      VMAG2(BSLIM)= CARRE DE VMAG  

00079 C      VIJSF(LNLLIM)= VECTEUR DE TRAVAIL  

00080 C      VMAX(BSLIM) = LIMITES SUPPERIEURES DES TENSIONS  

00081 C      VMIN(BSLIM) = " INFERIEURES "  

00082 C      DVMAX(BSLIM)= DEVIATIONS MAXIMALES PERMISE SUR LES TENSIONS  

00083 C      DELV(BSLIM) = VECTEUR DES DEVIATIONS DES TENSIONS CALCULEES  

00084 C      VCAL(BSLIM) = AMPLITUTES OPTIMALES DES  

00085 C      QG(BSLIM) = PUISSANCES REACTIVES GENEREES  

00086 C      QD(BSLIM) = " DEMANDEES "  

00087 C      QGMIN(BSLIM)= LIMITES INFERIEURES DES PUISSANCES REACT. GEN.  

00088 C      QGMAX(BSLIM)= " SUPPERIEURES "  

00089 C      QTJ(LNLLIM,2)= ECOULMENT DE PUIS. REACT. DANS LES LIGNES  

00090 C      QNET(BSLIM) = PUISS. REACT. NETTE INJECTEE DANS UNE BARRE  

00091 C      QINCT(BSLIM)=  

00092 C      DELQU(BSLIM)= VARIATIONS DE PLA DEMANDE DE PUISS. REACT.  

00093 C      DELQG(BSLIM)= PRODUCTION ADDITIONNELLE DE PUISS. REACTIVES.  

00094 C  

00095 C*****  

00096 C  

00097 C      LES VARIABLES QUI SUIVENT DEPENDENT EGALEMENT DE  

00098 C      "BSLIM" ET DE "LNLLIM".LE CALCUL DE LEUR DIMENSION SE FAIT A  

00099 C      PARTIR DES SPECIFICATIONS DONNEES DANS LE SOUS-PROGRAMME UTI-  

00100 C      LISE "ZXSLP" DE LA LIBRAIRIE IMSL. CE SONT:  

00101 C  

00102 C      A,B,IA,FUN,NVAR,PSOL,DSOL,RW,IW,M1,M2  

00103 C  

???

```

```

00104 C*****DEFINITION DES VARIABLES SIMPLES*****
00105 C
00106 C      DEFINITION DES VARIABLES SIMPLES
00107 C
00108 C
00109 C      IPAGE = NUMERO DE LA PAGE INITIALE DES RESULTATS (IPAGE)=1)
00110 C      IVOLT = IDENTIFICATEUR DE MODE DE LECTURE DES TENSIONS
00111 C          = 1 --> MODULE ET PHASE DES TENSIONS DE BARRE SUR TAPE2
00112 C          = 2 --> PARTIES REELLES ET IMAGINAIRES DES TEN.
00113 C      IP     = IDENTIFICATEUR DE L'IMPRESSION DES DONNEES DU SYSTEME
00114 C          SI DIFFERENT DE 1 AUCUNE ECRITURE DES DONNEES INITIALES
00115 C      ITER   = COMPTEUR D'ITERATION
00116 C      NB     = NOMBRE DE BARRE DU SYSTEME A SIMULER (2 < = NB < = 14)
00117 C      NL     = * * LIGNES * * * * * (1 < = NL < = 20)
00118 C      NBOUT= COMPTEUR DES GENERATRICES EN PANNE
00119 C      LOUT  = * * * LIGNES * * *
00120 C      SQG   = SOMME DES PUISSANCES REACTIVES GENEREES
00121 C      SQD   = * * * * * DEMANDEES
00122 C      M1    = NOMBRE DE CONTRAINTES D'INEQUALITE (VOIR ZX3LP)
00123 C      M2    = * * * * * D'EQUALITE
00124 C      ICASE = INDICATEUR DE LA NATURE ET DU TYPE DE SIMULATION
00125 C          = 1--> ECOULEMENT DES CHARGES REACTIVES
00126 C          = 2--> FLUCTUACTION DANS LA DEMANDE REACTIVE
00127 C          = 3--> PANNE DES GENERATRICES
00128 C          = 4--> PANNE DES LIGNES DE TRANSMISSION
00129 C      ICASE NE DOIT JAMAIS ETRE PLUS GRAND QUE 4 ,NI EGAL A ZERO .
00130 C
00131 C*****BSLIM=14*****LNLM=20*****GFLAG=0*****
00132 C
00133 C      BSLIM=14
00134 C      LNLM=20
00135 C      GFLAG=0
00136 C
00137 C      REWIND 6
00138 C
00139 C      LECTURE DU NUMERO DE DEPART "IPAGE" DE L'IMPRESSION,NOTER QUE
00140 C      SI CE DERNIER EST EGAL A ZERO L'EXECUTION S'ARRETERA.
00141 C
00142 1      PRINT *, "DONNEZ LE NO. DE DEPART DE LA PAGE"
00143 C      READ*, IPAGE
00144 C      IF(IPAGE.LE.0)STOP
00145 C      WRITE(6,222)IPAGE
00146 C      IPAGE=IPAGE+1
00147 C
00148 C      LECTURE DES INFORMATIONS RELATIVES A LA STRUCTURE DU RESEAU A
00149 C      SIMULER ET LE TYPE D'EXPERIENCE.VOIR LES ARGUMENTS DE LA CARTE
00150 C      DE CONTROLE QUIET SUIT.
00151 C
00152 C      READ *,NB,NL,ICASE,IP,IVOLT
00153 C      IF(NB.LT.2.OR.NB.GT.BSLIM,OR.NL.LT.1,OR.NL.GT.LNLM) STOP
00154 C

```

```

00154 C
00155 C      APPEL DES SOUSPROGRAMMES FOUR LA LECTURE DES INFORMATIONS CARACT-
00156 C      TERISTIQUES DU RESEAU, LES COMMENTAIRES PERTINENTS SONT DONNES EN
00157 C      DETAIL DANS CHACUN D'ENTRE EUX.
00158 C
00159 C
00160 C      LECTURE DES IMPEDANCES ET ADMITANCES SHUNTS
00161 C
00162 C      CALL LECRXY
00163 C
00164 C      LECTURE DES PHASES DES TENSIONS DE BARRE
00165 C
00166 C      CALL LECVSM
00167 C
00168 C      CALL LNDIJ
00169 C
00170 C      LECTURES DES DONNEES SUR LES PUSSANCES REACTIVES
00171 C
00172 C      CALL LEQDAT
00173 C
00174 C      VOIR DANS LA SUBROUTINE CONCERNEE
00175 C
00176 C      IF(IP.NE.1)GO TO 10
00177 C      WRITE(6,22)IPAGE
00178 C      IPAGE=IPAGE+1
00179 C      CALL WRTER
00180 C
00181 10     CALL VMAGSP
00182 C
00183 C      CALL LNQIJ
00184 C
00185 C      CALL FQINET
00186 C
00187 C      CALL BSNETQ
00188 C
00189 C      CALL FACOBJ
00190 C
00191 C      CALL LPXLIM
00192 C
00193 C      ITER=1
00194 C
00195 C
00196 C      A CE STADE TOUTES LES INFORMATIONS NECESSAIRES ET PERTINENTES A
00197 C      L'UTILISATION DE LA SUBROUTINE D'OPTIMISATION "ZX3LP" SONT OBTENUS.
00198 C      SACHANT QUE ZX3LP SERT A FAIRE DE LA MAXIMISATION LES COEFFICIENTS
00199 C      DE LA FONCTION OBJECTIVE C(I) DOIVENT ETRE NEGATIFS.
00200 C
00201 DD 15 I=1,NCOL
00202 15     FUN(I)=-FUN(I)
00203 C
???

```

```
00203 C
00204 C      DEBUT DE LA BOUCLE D'OPTIMISATION LINEAIRE
00205 C
00206 100 CALL COEFLP
00207 C
00208 C
00209 CALL FORMAB
00210 C
00211 C      POUR L'ENONCE SUIVANT VOIR LE DETAIL DANS ZX3LP *LIBRARY IMSL*
00212 C
00213 C
00214 IA=45
00215 C
00216 CALL ZX3LP(A,IA,B,FUN,NVAR,M1,M2,FV,PSOL,DSOL,RW,IW,IER)
00217 IF(IER.GE.130.AND.IER.LE.133)GO TO 1
00218 C
00219 CALL SORTIE(FV,IPAGE)
00220 C
00221 C      FIN DE LA BOUCLE D'ITERATION DU PROBLEME.SI LA SOLUTION OB-
00222 C      TENUE NE SATISFAIT PAS A LA TOLERANCE SPECIFIEE SUR LA DE-
00223 C      MANDE TOTALE DE PUISSANCE REACTIVE,IL FAUT DONNER UN CHIFFRE
00224 C      DIFFERENT DE ZERO.
00225 C
00226 ITER=ITER+1
00227 PRINT *,">>>>TAPEZ 0 POUR ARRETER L ITERATION"
00228 READ *,ICON
00229 IF(ICON.NE.0)GO TO 100
00230 GO TO 1
00231 C
00232 122 FORMAT(1H1,70X,*PAGE*,I4,//,1X,*???
00233 ENTREZ LES DONNEES *,//,
00234 22 *,>>>DONNEZ LES VALEURS DE NB,NL,ICASE,IP,IVOLT*)
00235 FORMAT(1H1,70X,*PAGE*,I4)
00236 C
??
```

```

00236 C
00237 C      SUBROUTINE LECRXY
00238 C
00239 C      CETTE SUBROUTINE LIT SUR TAPE1 LES DONNEES CARACTERISTIQUES
00240 C      DES LIGNES R(L) ET X(L),ELEMENTS SERIE DE L'IMPEDANCE ,YSHT(L)
00241 C      L'ADMITTANCE SHUNT DE CHARGE DE LIGNE.ELLE FORME ENSUITE
00242 C
00243      INTEGER SN,TN,BUS,RSLIM,LNLIM,IA,IW(118),RFLAG,VFLAG,BSOUT
00244      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00245      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00246      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00247      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00248      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00249 C
00250 C
00251      REWIND 1
00252      DO 40 L=1,NL
00253      READ(1,*) SN(L),TN(L),R(L),X(L),YSHT(L)
00254      LINE(L)=1
00255      Z(L)=R(L)**2+X(L)**2
00256      SERR(L)=R(L)/Z(L)
00257      SERX(L)=X(L)/Z(L)
00258 40      CONTINUE
00259 C
00260      CALL FORMYB
00261 C
00262      RETURN
00263 C
00264 C
TT

```

```

00264 C
00265 C
00266      SURROUTINE FORMYB
00267 C
00268 C      CETTE SUBROUTINE CALCULE LES ELEMENTS DE LA MATRICE ADMITTANCE DE
00269 C      BARRE A PARTIR DES DONNEES PROVENANT DE "LECRXY". ELLE DEMANDE EGAL-
00270 C      MENT LA REACTANCE SHUNT PROPRE "YSHBK" DE CERTAINES BARRES.
00271 C      ***** NOTE IMPORTANTE *****
00272 C      NE PAS CONFONDRE "YSHBK" ET "YSHT(L)" QUI EST PROPRE A UNE LIGNE.
00273 C      LES 2 SONT ELEMENTS DE "SHTY(K)" QUI EST UTILISE POUR LA FORMATION
00274 C      DE YBARRE.
00275 C
00276 C
00277      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
00278      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00279      COMMON /AD2/ NB,NL,NR2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00280      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00281      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00282      ,YG(14,14),YE(14,14),DIJ(14,14)
00283 C
00284 C      INITIALISATION DES ELEMENTS DE LA MATRICE ADMITTANCE DE BARRE
00285 C
00286      DO 25 I=1,NB
00287 C
00288      SHTY(I)=0.0
00289 C
00290      DO 25 J=1,NB
00291 C
00292      YG(I,J)=0.0
00293 25      YB(I,J)=0.0
00294 C
00295 C      LECTURE INTERACTIVE DES VALEURS DE YSHBK
00296 C
00297      PRINT *, " DONNER K ET LA VALEUR DE YSHBK "
00298 C
00299 30      READ *,K,YSHBK
00300      IF (K,LT.1,OR,K,GT,NB) GO TO 50
00301      SHTY(K)=SHTY(K)+YSHBK
00302      GO TO 30
00303 C
00304 50      CONTINUE
00305 C
00306 C      ASSEMBLAGE DES ELEMENTS DES MATRICES YG(NB,NB) ET CEUX DE YB(NB,NB)
00307 C
00308      DO 60 I=1,NL
00309 C
00310      L=SN(I)
00311      M=TN(I)
???

```

```
00312 C
00313 C      CALCUL DE L'ADMITTANCE SHUNT DE CHAQUE BARRE (NOEUD)-->SHTY
00314 C
00315 SHTY(L)=SHTY(L)+YSHT(I)/2.0
00316 SHTY(M)=SHTY(M)+YSHT(I)/2.0
00317 C
00318 YG(L,L)=YG(L,L)+SERR(I)
00319 YG(M,M)=YG(M,M)+SERR(I)
00320 YG(L,M)=YG(L,M)-SERR(I)
00321 YG(M,L)=YG(M,L)-SERR(I)
00322 C
00323 YB(L,L)=YB(L,L)-SERX(I)+YSHT(I)/2.0
00324 YB(M,M)=YB(M,M)-SERX(I)+YSHT(I)/2.0
00325 YB(L,M)=YB(L,M)+SERX(I)
00326 60 YB(M,L)=YB(M,L)+SERX(I)
00327 C
00328 C
00329      RETURN
00330      END
00331 C
```

```

00331 C
00332 SUBROUTINE LNDIJ
00333 C
00334 C CETTE SUBROUTINE FORME LA CONSTANTE DIJ DEPENDANT EXPLICITEMENT
00335 C DES CARCTERISTIQUES DES LIGNES ET DES ANGLES DE TRANFERT DE PUIS-
00336 C SANCE REACTIVE.
00337 C
00338 C
00339 INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),RFLAG,VFLAG,BSOUT
00340 COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00341 COMMON /AD2/ NB,NL,NR2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00342 COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00343 +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00344 COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
00345 +COS(20)
00346 COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00347 +VMAG2(14),VIJSP(20)
00348 COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),UMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00349 +DVMAX(14)
00350 COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00351 C
00352 C
00353 C INITIALISATION
00354 C
00355 RAD=3.1416/180.0
00356 C
00357 C COMPOSITION DES DIFFERENCES DE PHASES TETIJ(L)
00358 C
00359 DO 30 L=1,NL
00360 LINE(L)=1
00361 I=SN(L)
00362 J=TN(L)
00363 TETIJ(L)=RAD*(TET(I)-TET(J))
00364 C
00365 C CALCUL DES CONSTANTES
00366 C
00367 COS(1)=COS(TETIJ(L))*X(L)
00368 SINN(L)=SIN(TETIJ(L))*R(L)
00369 30 CONTINUE
00370 C
00371 DO 40 M=1,NB
00372 DU 40 N=1,NB
00373 PHASE(M)=TET(M)
00374 PHASE(N)=TET(N)
00375 TETA(M,N)=PHASE(M)-PHASE(N)
00376 TETAR=RAD*TETA(M,N)
00377 C
00378 C CALCUL DES ELEMENTS DE LA MATRICE DIJ(NB,NB) FONCTION UNI-
00379 C QUEMENT DES PARAMETRES DES LIGNES ET DES ANGLES DES BARRES.
00380 C NOTONS QUE CES ELEMENTS SONT TOUS CONTANTS COMpte TENUE DE
00381 C LEUR COMPOSITION.
00382 C
00383 40 DIJ(M,N)=-YB(M,N)*COS(TETAR)+YG(M,N)*SIN(TETAR)
00384 C
00385 RETURN
00386 END
00387 C
???

```

```

00387 C
00388      SUBROUTINE LEQDAT
00389 C
00390 C
00391      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
00392      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00393      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00394      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00395      COMMON /AD9/ QINET(14),RIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),RELQD(14),
00396      +QNET(14)
00397      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00398 C
00399 C      CETTE SUBROUTINE LIT SUR TAPE3 LES INFORMATIONS RELATIVES AUX
00400 C      LIMITES DE GENERATION(PRODUCTION) ET DE DEMANDE DE PUISSANCE
00401 C      REACTIVE A CHAQUE BARRE DU RESEAU
00402 C
00403      REWIND 3
00404      SQG=SQD=0.0
00405      DO 60 K=1,NB
00406      READ(3,*) QGMIN(K),QG(K),QGMAX(K),QD(K)
00407      SQG=SQG+QG(K)
00408      SQD=SQD+QD(K)
00409      QDMIN(K)=0.0
00410      QDMAX(K)=5.50
00411      DELQG(K)=0.0
00412 C
00413 60      CONTINUE
00414 C
00415 C
00416      RETURN
00417      END
00418 C
00419 C
???

```

```

00412 C
00420 *
00421 C SUBROUTINE WRTER
00422 C CETTE SUBROUTINE IMPRIME LES DONNEES PRIMAIRES DU SYSTEME
00423 C C'EST-A DIRE LES CARACTERISTIQUES DES LIGNES ET LES PUISSANCES
00424 C DE BARRES. ELLE EST EGALEMENT UTILISEE POUR ECRIR LES VALEURS DE
00425 C CERTAINES CONSTANTES DU PROCESSUS.
00426 C
00427 INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
00428 COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00429 COMMON /AD2/ NB,NL,NR2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00430 COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00431 COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SFRE(20),SFRX(20)
00432 +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00433 COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),STNN(20),
00434 +COSS(20)
00435 COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00436 +VMAG2(14),VIJSP(20)
00437 COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00438 +DVMAX(14)
00439 COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00440 COMMON /AD9/ QINET(14),QTJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
00441 +QNET(14)
00442 COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACQ(14)
00443 COMMON /DA2/ A(45,42),B(45),C(42),RW(2143),PSOL(43),DSOL(45)
00444 COMMON /DA3/ SGG,SGD,QFLAG,IP,VFLAG
00445 C
00446 C ECRITURE DES DONNEES CARACTERISTIQUES DES LIGNES DU RESEAU ET DES
00447 C ELEMENTS DES MATRICES .
00448 C
00449 WRITE(6,5)
00450 5 FORMAT(//,1H1,22X,*TABLEAU 1 *,/,23X,9(1H-),//,10X,*INFORMATIONS*,,
00451 +* DE BASE SUR LE SYSTEME :*,/10X,37(1H=),//,5X,*DONNEES SUR LES *,,
00452 +*CARACTERISTIQUES DES LIGNES DU RESEAU*,/,5X,53(1H-),1X)
00453 PRINT 10
00454 10 FORMAT(//,4X,*LINE*,3X,*SN*,7X,*TN*,7X,*RTJ(L)*,5X,*TET(L)*,5X,
00455 +*YSHT*,7X,*TETIJ*,/)
00456 DO 70 L=1,NL
00457 WRITE(6,15)L,SN(L),TN(L),R(L),X(L),YSHT(L),TETIJ(L)
00458 15 FORMAT(4X,I2,4X,I2,1X,*<---->*,1X,I2,4X,4(F8.4,3X))
00459 70 CONTINUE
00460 C
00461 C ECRITURE DES CARACTERISTIQUES DES TENSIONS DE BARRE ET DES
00462 C CONSTANTES CALCULEES
00463 C
00464 WRITE(6,4)
00465 4 FORMAT(//,4X,*DONNEES SUR LES TENSIONS ET LES PUISSANCES*,1X,
00466 1*REACTIVES DE BARRE :*,/,4X,62(1H-),1X)
00467 PRINT 6
00468 6 FORMAT(//,3X,*BUS*,4X,*VMAG*,4X,*TET(K)*,4X,*QGMIN*,5X,*QG*,5X
00469 1,*QGMAX*,7X,*QD*,5X,*SHTY*,/)
00470 DO 100 K=1,NB
00471 WRITE(6,7) K,VMAG(K),TET(K),QGMIN(K),QGMAX(K),QD(K),
00472 1SHTY(K)
00473 7 FORMAT(2X,I3,2X,7(F8.4,1X))
00474 100 CONTINUE
00475 WRITE(6,12)SGG,SGD
TT PS6

```

```

00412 C
00420      SUBROUTINE WRTER
00421 C
00422 C      CETTE SUBROUTINE IMPRIME LES DONNEES PRIMAIRES DU SYSTEME
00423 C      C'EST-A DIRE LES CARACTERISTIQUES DES LIGNES ET LES PUISSANCES
00424 C      DE BARRES. ELLE EST EGALEMENT UTILISEE POUR ECRIR LES VALEURS DE
00425 C      CERTAINES CONSTANTES DU PROCESSUS.
00426 C
00427      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
00428      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00429      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSCOUT,LOUT,RAD
00430      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00431      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00432      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00433      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),IETA(14,14),SINN(20),
00434      +COSS(20)
00435      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00436      +VMAG2(14),VIJSF(20)
00437      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),UMIN(14),UVSF(14),UFLV(14),
00438      +UVMAX(14)
00439      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),RN(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00440      COMMON /AD9/ QINET(14),RIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
00441      +QNET(14)
00442      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACT(14)
00443      COMMON /DA2/ A(45,42),B(45),C(42),RW(2143),PSOL(43),DSOL(45)
00444      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00445 C
00446 C      ECRITURE DES DONNEES CARACTERISTIQUES DES LIGNES DU RESEAU ET DES
00447 C      ELEMENTS DES MATRICES .
00448 C
00449      WRITE(6,5)
00450 5      FORMAT(/,1H1,22X,*TABLEAU 1 *,/,23X,9(1H-),//,10X,*INFORMATIONS*,
00451      +* DE BASE SUR LE SYSTEME :*,/10X,37(1H=),//,5X,*DONNEES SUR LES *,
00452      +*CARACTERISTIQUES DES LIGNES DU RESEAU*,/,5X,53(1H-),1X)
00453      PRINT 10
00454 10     FORMAT(/,4X,*LINE*,3X,*SN*,7X,*TN*,7X,*RIJ(L)*,5X,*XIJ(L)*,5X,
00455      +*YSHT*,7X,*TETIJ*,/)
00456      DO 70 L=1,NL
00457      WRITE(6,15)L,SN(L),TN(L),R(L),X(L),YSHT(L),TETIJ(L)
00458 15      FORMAT(4X,I2,4X,I2,1X,*<--->*,1X,I2,4X,4(F8.4+3X))
00459 70      CONTINUE
00460 C
00461 C      ECRITURE DES CARACTFRISTIQUES DES TENSIONS DE BARRE ET DES
00462 C      CONSTANTES CALCULEES
00463 C
00464      WRITE(6,4)
00465 4      FORMAT(/,4X,*DONNEES SUR LES TENSIONS ET LES PUISSANCES*,1X,
00466      +*REACTIVES DE BARRE :*,/,4X,62(1H-),1X)
00467      PRINT 6
00468 6      FORMAT(/,3X,*BUS*,4X,*VMAG*,4X,*TET(K)*,4X,*QGMIN*,5X,*QD*,5X
00469      +,*QGMAX*,7X,*QD*,5X,*SHTY*,/)
00470      DO 100 K=1,NB
00471      WRITE(6,7) K,VMAG(K),TET(K),QGMIN(K),QG(K)-QGMAX(K),QD(K),
00472      +SHTY(K)
00473 7      FORMAT(2X,I3,2X,7(F8.4,1X))
00474 100    CONTINUE
???

```

```

00475      WRITE(6,12)SQQ,SQD
00476 12    FORMAT(35X,7(1H-),11X,7(1H-),/,35X,F7.4,11X,F7.4,/)
00477      RETURN
00478      END
00479 C
???

```

```

00480      SUBROUTINE COEFLP
00481 C
00482 C      CETTE SUBROUTINE CALCULE LES ELEMENTS DE LA MATRICE CONTENANT
00483 C      LES FACTEURS MULTIPLICATIFS DES VARIABLES DE CHAQUE EQUATION
00484 C      DE CONTRAINTE D'EGALITE. A CHAQUE ITERATION CES COEFFICIENTS
00485 C      SONT MIS A JOUR.
00486 C
00487      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),NFLAG,VFLAG,BSCOUT
00488      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00489      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,SECOUT,LOUT,RAD
00490      COMMON /AD4/ R(20),K(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERP(20),SERX(20)
00491      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00492      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSP1(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00493      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00494      COMMON /AD7/ VMAX(14),UCAL(14),UMIN(14),UVER(14),DELV(14),
00495      +UUMAX(14)
00496      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACT(14)
00497      COMMON /DA2/ SQQ,SQD,BFLAG,IP,VFLAG
00498 C
00499 C      CALCUL DES ELEMENTS DE LA MATRICE FDIJ(NB,NB)
00500 C
00501 C      INITIALISATION
00502 C
00503      DO 10 M=1,NB
00504      DO 10 N=1,NB
00505      FDIJ(M,N)=0.0
00506      COEF(M,N)=0.0
00507 10    CONTINUE
00508 C
00509      DO 20 K=1,NB
00510      DO 20 L=1,NB
00511 C
???

```

```

00512 C      EVALUATION DES ELEMENTS DIAGONAUX
00513 C
00514      FDIJ(K,K)=FDIJ(K,K)+DIJ(K,L)*VSPM(L)
00515 C
00516 C      EVALUATION DES ELEMENTS HORS DIAGONAL
00517 C
00518      FDIJ(K,L)=FDIJ(K,L)+DIJ(K,L)*VSPM(K)
00519 C
00520 20    CONTINUE
00521 C
00522 C      CALCUL DES ELEMENTS DE LA MATRICE COEF(NB,NB)
00523 C
00524      DO 30 I=1,NB
00525      FACQ(I)=2.0*VSPM(I)*SHTY(I)
00526      DO 30 J=1,NB
00527      COEF(I,J)=FDIJ(I,J)
00528 30    CONTINUE
00529 C
00530 C      ECRITURE DE LA MATRICE COEF(NN,NB) ET DU VECTEUR FAC(NB)
00531 C
00532 C      PRINT 300
00533 300  FORMAT(//,5X,*MATRICE COEF(NB,NB) + *,//)
00534 C      DO 330 I=1,NB
00535 C      WRITE(6,305)(FDIJ(I,J),J=1,NB)
00536 305  FORMAT(14(F7.3+1X),/)
00537 330  CONTINUE
00538 C
00539 C      PRINT 340
00540 340  FORMAT(//,*FACTEURS DES CONDENSATEURS SHUNTS DE BARRE//)
00541 C      WRITE(6,305)(FACQ(K),K=1,NB)
00542 C
00543 C      PRINT 350
00544 350  FORMAT(//,*LES ELEMENTS DU VECTEUR C(NVAR) SONT : *//)
00545 C      WRITE(6,305)(FUN(L),L=1,NB)
00546 C
00547      RETURN
00548      END
00549 C
???

```

```

00549 C
00550      SUBROUTINE LPXLIM
00551 C
00552 C      CETTE SUBROUTINE EVALUE CERTAINS PARAMETRES NECESSAIRES A
00553 C      DIMENTIONNER LES VECTEURS ET MATRICES UTILISES ULTERIEURE-
00554 C      MENT POUR LE TABLEAU SIMPLEX. ELLE PERMET EGALEMENT DE MO-
00555 C      DIFIER DE FACON INTERACTIF LES COEFFICIENTS DE LA FONCTION
00556 C      OBJECTIVE ET LES LIMITES DES VARIABLES DE CONTROL ET D'ETAT.
00557 C
00558      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
00559      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00560      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LCUT,RAD
00561      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00562      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAO(14),
00563      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00564      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00565      +DVMAX(14)
00566      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00567      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
00568      +QNET(14)
00569      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACB(14)
00570      COMMON /DA2/ A(45,42),B(45),C(42),RW(2143),PSOL(43),DSOL(45)
00571      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00572 C
00573 C      INITIALISATION DES DIFFERENTES VARIABLES UTILISEES
00574 C
00575      NB2=NB+NB
00576      NVAR=NB2+NB
00577      NCOL=NVAR
00578      NL2=NL+NL
00579      MM=NB2
00580      M1=NB2
00581      M2=NB
00582      NROW=M2+M1
00583      NR=NROW+2
00584      NC=NCOL+1
00585      VFLAG=0
00586 C
00587 C      INITIALISATION DES FACTEURS DE LA FONCTION OBJECTIVE
00588 C
00589      DO 10 K=1,NB
00590      FUN(K)=FUN(NB+K)=FAC(K)
00591      FUN(MM+K)=0.0
00592      DVMAX(K)=0.050
00593 10      CONTINUE
00594 C
00595 C      SPECIFICATION DE LA BARRE DE REFERENCE DU RESEAU SIMULE
00596 C
00597      PRINT *, ' INDIGUER LE NUMERO DE LA BARRE DE REFERENCE '
00598 C
00599      READ *,M
00600      FUN(M)=1.0
00601      DVMAX(M)=0.0
00602 C
???

```

```

00602 C
00603 C           **** NOTE IMPORTANTE ****
00604 C
00605 C   L'ENONCE GO TO 100 ET SON POINT D'ATTACHE ONT ETE INTRODUITS DANS
00606 C   CETTE PARTIE POUR RENDRE LE PROGRAMME MOINS INTERACTIF LORS DU TEST.
00607 C   CEPENDANT ON PEUT LES SUPPRIMER EN N'OUBLIANT PAS DE DONNER AUX VARIABLES
00608 C   "VFLAG" ET "QFLAG" DES VALEURS DIFFERENTES DE ZERO "0".
00609 C           ****
00610 C
00611 C   GO TO 100
00612 C
00613 C   LECTURE DES CORRECTIONS MAXIMALES PERMISES SUR LES TENSIONS
00614 C   DE BARRE
00615 C ***
00616 C   IF(VFLAG.EQ.0) GO TO 30
00617 C   PRINT *,">>>>DONNER LA DEVIATION LIMITE DES TENSIONS "
00618 15 READ *,K,DVMAXX
00619 DVMAXX(K)=DVMAXX
00620 IF(K.LT.1 .OR. K.GT.NB) GO TO 20
00621 GO TO 15
00622 C ***
00623 C
00624 C   POSSIBILITE DE MODIFICATION DES FACTEURS DE POIDS DES VARIATIONS
00625 C   DES TENSIONS DE BARRE (VFAC) .
00626 C ***
00627 20 CONTINUE
00628 C   PRINT *,">>>>DONNER LES NOUVEAUX FACTEURS DE POIDS "
00629 25 READ *,M,VFAC
00630 IF(M.LT.1 .OR. M.GT.NB) GO TO 30
00631 IF(VFAC.LE.0.001)VFAC=0.001
00632 FUN(M)=FUN(M+NB)=VFAC
00633 GO TO 25
00634 C ***
00635 30 DO 35 N=1,NB
00636 35 FUN(MM+N)=0.0
00637 IF (QFLAG.NE.0) GO TO 40
00638 GO TO 50
00639 100 CONTINUE
00640 C
00641 C   POSSIBILITE DE MODIFICATION DES LIMITES SUPERIEURES DES GENERATRICES
00642 C   DU RESEAU.
00643 C
00644 40 PRINT *,">>>>DONNER LES LIMITES DE PRODUCTION : QGMAXX"
00645 45 READ *,I,QGMAXX
00646 IF(I.LT.1 .OR. I.GT.NB)GO TO 50
00647 QGMAX(I)=QGMAXX
00648 GO TO 45
00649 50 CONTINUE
00650 C
00651 CALL LOSSG(QVL19)
00652 C
00653 WRITE(6,9)QVL05
00654 C
???

```

```

00654 C
00655      IF(ICASE.NE.1) CALL LECASE
00656      GO TO (111,222,333,444)ICASE
00657 C
00658 111  WRITE(6,11) ICASE
00659      GO TO 999
00660 222  WRITE(6,22) ICASE
00661      DO 223 K=1,NB
00662 223  QD(K)=QD(K)+DELQD(K)
00663      WRITE(6,55)(DELQD(K),K=1,NB)
00664      GO TO 999
00665 C
00666 333  WRITE(6,33) ICASE
00667      WRITE(6,34)BSOUT,(NBOUT(K),K=1,BSOUT)
00668      GO TO 999
00669 444  WRITE(6,44) ICASE
00670      WRITE(6,46) LOUT,(LOOP(L),L=1,LOUT)
00671 C
00672 C      WRITE(6,66)(FUN(MM+K),K=1,NB)
00673 C
00674 999  WRITE(6,666)(FUN(K),K=1,NB)
00675      WRITE(6,777)(DVMAX(K),K=1,NB)
00676 C
00677      RETURN
00678 C
00679 9     FORMAT(/,3X,*PERTE REACTIVE INITIALE DE TRANSMISSION=*,FB.4,/)
00680 11     FORMAT(/,3X,*EXPERIENCE (*,I1,*) : ECOULEMENT OPTIMAL DES CH*)
00681 +*ARGES*,/,3X,47(1H=))
00682 22     FORMAT(/,3X,*EXPERIENCE (*,I1,*) : FLUCTUATION DE LA DEMANDE*)
00683 +* DE CHARGES REACTIVES*,/,3X,63(1H=))
00684 33     FORMAT(/,3X,*EXPERIENCE (*,I1,*) : PANNE DES GENERATRICES*,/,3X,
00685 +59(1H=))
00686 34     FORMAT(/,3X,*GENERATRICE HORS SERVICE :*,=12X,*Y = * I1,*,X,
00687 +*26(1H=))
00688 44     FORMAT(/,3X,*EXPERIENCE (*,I1,*) : PANNE DES LIGNES DE TRANSP.,
00689 +*MISSION*,/,3X,48(1H=))
00690 46     FORMAT(/,3X,*LIGNES DE TRANSMISSION HORS SERVICE :*,=12X,*Y = *
00691 +*,I2)*/,3X,37(1H=))
00692 66     FORMAT(/,3X,*QFAC'S - FACTEURS DE POIDS DU REACTIF*,2/*
00693 +,7(1X,G10.3)))
00694 55     FORMAT(/,3X,*VALEURS DES DEMANDES ADDITIONNELLES DELONG*)
00695 +1/2(/,7(1X,G10.3)))
00696 666    FORMAT(/,3X,*VFAC(K) - COEFFICIENTS DES TENSIONS DE BARREK,
00697 +2(/,7(1X,G10.3)))
00698 777    FORMAT(/,3X,*LIMITE SUPERIEURE DES VARIATIONS DES TENETOMAUX,
00699 +2(/,7(1X,G10.3)))
00700          END
00701 C

```

```

00701 C
00702      SUBROUTINE LECASE
00703 C
00704 C      CETTE SUBROUTINE PERMET L'INITIALISATION SECONDAIRE DU PROGRAMME
00705 C      SELON LE TYPE DE SIMULATION DESIRE.
00706 C
00707      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),RFLAG,VFLAG,BSOUT
00708      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00709      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00710      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00711      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00712      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00713      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
00714      +COSS(20)
00715      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00716      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00717      COMMON /AD7/ UMAX(14),UCAL(14),UMIN(14),RVSP(14),DELV(14),
00718      +DVMAX(14)
00719      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00720      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
00721      +QNET(14)
00722      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACQ(14)
00723      COMMON /DA2/ A(43,42),B(45),C(42),RW(2143),PSCL(43),DSOL(45)
00724      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00725 C
00726      MAXOUT=NB/2
00727      MAXCUT1=MAXOUT+1
00728 C
00729      GO TO (20,20,30,40,20) ICASE
00730 C
00731 20      PRINT *,">>>>DONNER LES VALEURS DE DELQD(K) "
00732 25      READ *,K,DELQD(K)
00733      IF(K.LT.1.OR.K.GT.NB) RETURN
00734      DELQD(K)=DELQD(K)+DELQD(K)
00735      GO TO 25
00736 C
00737 30      PRINT *,">>>>DONNER LE NO DU GENERATEUR EN PANNE "
00738      BSOUT=0
00739 35      READ *,K
00740      IF(K.LT.1.OR.K.GT.NB) RETURN
00741      BSOUT=BSOUT+1
00742      NSOUT(BSOUT)=K
00743      RUS(K)=1
00744 C
00745 C      TRANSFORMATION DE LA BARRE DE GENERATION EN POINT DE CONDITION.
00746 C
00747 C      QG(K)=QGMAX(X)=QGMIN(K)=0,0
00748 C
00749 C
00750      GO TO 35
TT

```

```
00751 C
00752 40 PRINT *,">>>>DONNER LE NO DE LA LIGNE COUPEE "
00753 LOUT=0
00754 45 READ *,L
00755 IF(L.LT.1.OR.L.GT.NL) GO TO 80
00756 LOUT=LOUT+1
00757 LOOP(LOUT)=L
00758 LINE(L)=-1
00759 C
00760 C LES ENONCEES QUI SUIVENT PERMETTENT DE METTRE A JOUR LES EQUA-
00761 C TIONS D'INJECTION ET D'AUTRES RELATIONS POUR TENIR COMPTE DE
00762 C LA NOUVELLE STRUCTURE DU RESEAU.
00763 C
00764 I=SN(L)
00765 J=TN(L)
00766 C
00767 RIJ(I,J)=DIJ(J,I)=0.0
00768 C
00769 QNET(I)=QNET(I)-QIJ(L,1)
00770 QNET(J)=QNET(J)-QIJ(L,2)
00771 C
00772 C QINET(I)=QINET(I)-QIJ(L,1)
00773 C QINET(J)=QINET(J)-QIJ(L,2)
00774 C
00775 VIJSP(L)=COS(S(L))=SINN(L)=0.0
00776 GO TO 45
00777 C
00778 80 RETURN
00779 END
00780 C
??
```

```

00781 C
00782 C      SUBROUTINE LNGQJ
00783 C
00784 C      CETTE SUBROUTINE CALCULE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS
00785 C      UNE LIGNE, PAR DEFINITION QIJ(L,1) EST EQUIVALENT A UN ECOULEMENT
00786 C      POSITIF DE I-->J ET QIJ(L,2) POSITIF DE J-->I.
00787 C
00788 C      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),RFLAG,VFLAG,BSOUT
00789 C      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00790 C      COMMON /AD2/ NR,NL,NR2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,RSDOUT,LOUT,RAD
00791 C      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00792 C      +,YG(14,14),YB(14,14),QIJ(14,14)
00793 C      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
00794 C      +COS(20)
00795 C      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00796 C      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00797 C      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00798 C      +DVMAX(14)
00799 C      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),RIVAR(14),DELQG(14),DELQR(14),
00800 C      +QNET(14)
00801 C
00802 C      DO 10 L=1,NL
00803 C      IF(LINE(L),LE.0) GO TO 10
00804 C      I=SN(L)
00805 C      J=TN(L)
00806 C      QIJ(L,1)=-VSPM2(I)*YSHT(L)/2.0+(VSPM2(I)*X(L)-(COS(L)+SINN(L)
00807 C      1)*VIJSP(L))/Z(L)
00808 C      QIJ(L,2)=-VSPM2(J)*YSHT(L)/2.0+(VSPM2(J)*X(L)-(COS(L)-SINN(L)
00809 C      1)*VIJSP(L))/Z(L)
00810 C 10  CONTINUE
00811 C
00812 C      ECRITURE DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE A TRAVERS LES
00813 C      LIGNES.
00814 C      NOTONS QUE QIJ(L,1) EST EQUIVALENT A UN ECOULEMENT DE I-->J
00815 C      ET QIJ(L,2) DE J -->I .
00816 C
00817 C      WRITE(6,25)
00818 C 25  FORMAT(7X,*ECOULEMENT DE PUISSANCE REACTIVE DANS LIGNE*,*
00819 C      /*,3X,48(1H-),/)
00820 C      WRITE(6,27)
00821 C 27  FORMAT(7X,*LINE*,3X,*BN*,7X,*TN*,7X,*QIJ(1)*,6X,*QIJ(L)*,/)
00822 C      DO 50 L=1,NL
00823 C      IF(LINE(L),LE.0) GO TO 40
00824 C      WRITE(6,60)L,SN(L),TN(L),QIJ(L,1),QIJ(L,2)
00825 C      GO TO 50
00826 C 40  CONTINUE
00827 C      WRITE(6,45) L,SN(L),TN(L)
00828 C 50  CONTINUE
00829 C
00830 C      RETURN
00831 C
00832 C 60  FORMAT(7X,I2,4X,I2,1X,*-----*,1X,I2,4X,3(F9.4,1X))
00833 C 61  FORMAT(7X,I2,4X,I2,1X,*-----*,1X,I2,7X,*-----*,18(1H-),* PANNE *)
00834 C
00835 C      END
???

```

```

00836 C
00837      SUBROUTINE LECVSM
00838 C
00839 C      CETTE SUBROUTINE LIT SUR TAPE2 LES VALEURS INITIALES DES TENS-
00840 C      SONS DE BARRE SELON LE CHIFFRE ASSIGNE A LA VARIABLE IVOLT DANS
00841 C      LA DEUXIEME CARTE DE CONTROLE DU PROGRAMME PRINCIPAL.
00842 C
00843      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),OFLAG,VFLAG,BSOUT
00844      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00845      COMMON /AD2/ NB,NL,NR2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00846      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,ITER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00847      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
00848      +COS(20)
00849      COMMON /AD6/ VSPI(14),VSPI(14),VSFM(14),VSFM2(14),VMAG(14),
00850      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00851      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),UVSP(14),DELV(14),
00852      +DVMAX(14)
00853      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACQ(14)
00854 C
00855 C      SELECTION DU MODE DE LECTURE DES TENSIONS DE BARRE
00856 C
00857      IF(IVOLT.GT.1) GO TO 35
00858 C
00859 C      LECTURE DES TENSIONS EN COORDONNEES POLAIRES
00860 C
00861      REWIND 2
00862 C
00863      DO 30 K=1,NB
00864      READ(2,*) VSFM(K),TET(K)
00865      VMAG(K)=VSFM(K)
00866      DVSP(K)=0.0
00867      30    CONTINUE
00868      RETURN
00869 C
00870      35    CONTINUE
00871 C
00872 C      LECTURE DES TENSIONS EN COORDONNEES CARTESIENNES
00873 C
00874      REWIND 2
00875 C
00876      DO 40 K=1,NB
00877      READ(2,*) VSPI(K),VSPI(K)
00878      TET(K)=(ATAN2(VSPI(K),VSPI(K)))/RAD
00879      VSFM2(K)=VSPI(K)**2+VSPI(K)**2
00880      VSFM(K)=SQRT(VSFM2(K))
00881      VMAG(K)=VSFM(K)
00882      DVSP(K)=0.0
00883      40    CONTINUE
00884      RETURN
00885 C
00886      END
00887 C

```

```

00887 C
00888      SUBROUTINE BSNETQ
00889 C
00890 C      CETTE SUBROUTINE CALCULE LA PUISSANCE REACTIVE NETTE INJECTEE
00891 C      DANS UN NOEUD DU RESEAU SELON LA FORMULE(    ). 
00892 C
00893      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,RSOUT
00894      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00895      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,RSOUT,LOUT,RAD
00896      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00897      +,YG(14,14),YR(14,14),DIJ(14,14)
00898      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
00899      +COS(20)
00900      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00901      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00902      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),UMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00903      +UVMAX(14)
00904      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00905      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
00906      +QNET(14)
00907      COMMON /AD3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00908 C
00909      DO 15 K=1,NB
00910 15      QNET(K)=0.0
00911 C
00912      DO 10 L=1,NL
00913      IF(LINE(L).LE.0) GO TO 10
00914      I=SN(L)
00915      J=TN(L)
00916      QNET(I)=QNET(I)-(VSPM2(I)*YSHT(L)/2.0)+(VSPM2(I)*X(L)-(COS(1.+
00917      1*SINN(L))*VIJSP(L))/Z(L)
00918      QNET(J)=QNET(J)-(VSPM2(J)*YSHT(L)/2.0)+(VSPM2(J)*X(L)-(COS(1.-
00919      1*SINN(L))*VIJSP(L))/Z(L)
00920 C
00921 10      CONTINUE
00922 C      ECRITURE DES RESULTATS DE SORTIE
00923 C
00924      RETURN
00925
00926 C
???

```

```

00926 C
00927      SUBROUTINE VMAGSP
00928 C
00929 C      CETTE SUBROUTINE EVALUE CERTAINES CONSTANTES DEFENDANT UNIQUEMENT
00930 C      DES TENSIONS DE BARRES CALCULEES D'UNE ITERATION A L'AUTRE.
00931 C
00932      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),RFLAG,VFLAG,BSOUT
00933      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00934      COMMON /AD2/ NB,NL,NR2,NL2,IVOLT,ITFR,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00935      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00936      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00937      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00938      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
00939      +COSS(20)
00940      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00941      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00942      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00943      +DVMAX(14)
00944 C
00945      DO 5 K=1,NB
00946      VSPM2(K)=VSPM(K)**2
00947      5 CONTINUE
00948 C
00949      DO 15 L=1,NL
00950      I=SN(L)
00951      J=TN(L)
00952      VIJSP(L)=VSPM(I)*VSPM(J)
00953      IF(LINE(L) LE .0) VIJSP(L)=0.0
00954      15 CONTINUE
00955 C
00956      RETURN
00957      END
00958 C
??

```

```

00960 C
00961      SUBROUTINE FORMAB
00962 C
00963 C      CETTE SUBROUTINE INITIALISE LES ELEMENTS DES MATRICES ET VECTEURS
00964 C      DE LA SUBROUTINE ZX3LP DE LA LIBRAIRIE "IMSL" A L'AIDE DE VALEURS
00965 C      CALCULEES ANTERIEUREMENT.
00966 C      ELLE INTRODUIT SURTOUT LES LIMITES (PARTIE DE DROITE ) DES EQUA-
00967 C      DE CONTRAINTES D'INEGALITE ET D'EGALITE.
00968 C
00969 C
00970 C
00971      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,JA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
00972      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
00973      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
00974      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
00975      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
00976      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
00977      COMMON /AD6/ VSPI(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
00978      +VMAG2(14),VIJSP(20)
00979      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),UMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
00980      +DVMAX(14)
00981      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QI(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
00982      COMMON /AD9/ QINET(14),RIJ(20,2),QIVAR(14),DELQ(14),DELQD(14),
00983      +QNET(14)
00984      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACR(14)
00985      COMMON /DA2/ A(45,42),B(45),C(42),RW(2143),PSOI(43),DSOL(45)
00986      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
00987 C
00988 C
00989 C      INITIALISATION DES MATRICES ET VECTEURS DE LA SUBROUTINE "ZX3LP"
00990 C
00991      NR=NROW+2
00992      DO 10 IR=1,NROW
00993      DSOL(IR)=0.0
00994      B(IR)=0.0
00995      DO 5 IC=1,NCOL
00996      5   A(IR,IC)=0.0
00997      10  CONTINUE
00998 C
00999      DO 30 K=1,NB
01000 C
01001      KRI=K+M1
01002      A(K,K)=1.0
01003      KRI=M1+K
01004      A(K,NB+K)=1.0
01005      DSOL(K)=DECL(K)-QNET(K)
01006 C
01007      DO 30 L=1,NB
01008      A(KRI,L)=COEF(K,L)
01009      A(KRI,L+NB)=-COEF(K,L)
01010      B(K)=DVMAX(K)-ABS(DVSP(K))
01011      30  CONTINUE
01012 C
???

```

```
01012 C
01013 C
01014 C      INITIALISATION DES LIMITES DE PRODUCTION DES GENERATRICES
01015 C
01016      DO 75 K=1,NB
01017      KM1=K+M1
01018      KR=K+NB
01019      KC=K+NB2
01020      A(KR,KC)=1.0
01021      A(KM1,KC)=-1.0
01022      B(KR)=QGMAX(K)-QG(K)
01023      B(KM1)=DSOL(K)+(QG(K)-QD(K))+QGMIN(K)
01024 75      CONTINUE
01025 C
01026      RETURN
01027      END
01028 C
??
```

```

01028 C
01029      SUBROUTINE SORTIE(FU,IPAGE)
01030 C
01031 C      CETTE SUBROUTINE IMPRIME LES RESULTATS OBTENUS A LA SUITE DE
01032 C      CHAQUE ITERATION, PUIS ELLE INITIALISE LES NOUVELLES VALEURS
01033 C      DES TENSIONS DE BARRE.
01034 C
01035 C
01036      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
01037      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
01038      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,IOUT,RA0
01039      COMMON /AD3/ M1,M2,IA,IER,NCOL,NVAR,NROW,IW(118)
01040      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
01041      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
01042      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
01043      +COS(20)
01044      COMMON /AD6/ USPR(14),VSPI(14),VSFM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
01045      +VMAG2(14),VIJSP(20)
01046      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
01047      +DVMAX(14)
01048      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QQ(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
01049      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQQ(14),
01050      +QNET(14)
01051      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACQ(14)
01052      COMMON /DA2/ A(45,42),B(45),C(42),RW(2143),PSOL(43),DSOL(45)
01053      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
01054 C
01055 C      UTILISATION DES VARIATIONS OBTENUES APRES OPTIMISATION POUR METTRE
01056 C      A JOUR LES VECTEURS DE TENSIONS DE SORTIE ET CEUX DE CALCUL .
01057 C
01058      DO 35 K=1,NB
01059 C
01060 C
01061      DVSPNEW=PSOL(K)-PSOL(K+NB)
01062      VMAGNEW=VSPM(K)+DVSPNEW
01063      DELV(K)=VMAGNEW-VMAG(K)
01064      DVSP(K)=DVSPNEW
01065      VCAL(K)=VSPM(K)
01066      VSPM(K)=VMAGNEW
01067      VMAG(K)=VSFM(K)
01068 C
01069      35    CONTINUE
01070 C
01071      CALL VMAGEP
01072      CALL BSNETQ
01073 C
01074 C      ECRITURE DE L'ENTETE DE CHAQUE IMPRESSION DE RESULTAT
01075 C
01076      WRITE(6, 222)IPAGE,ICASE,ITER
01077      IPAGE=IPAGE+1
01078 C
???

```

```

01078 C
01079 C      ECRITURE DES VALEURS DE TENSIONS CALCULEES
01080 C
01081      WRITE(6,555)
01082      DO 75 K=1,NB
01083      WRITE(6,666)K,VCAL(K),DELV(K),VMAG(K),TET(K)
01084 75      CONTINUE
01085 C
01086      WRITE(6,777)-FV
01087 C
01088 C
01089      WRITE(6,300)
01090 C
01091      S1=S2=S3=S4=0.0
01092      DO 180 K=1,NB
01093 C      WORD=10H
01094 C
01095 C      IF(BUS(K).LE.0) WORD=10H-----PANNE
01096 C
01097 C      KK=K+NB2
01098 C
01099 C
01100 C      MISE A JOUR DES PUISSANCES REACTIVES CALCULEES
01101 C
01102      DELQGK=PSOL(KK)
01103      QG(K)=QG(K)+DELQGK
01104      QGKNEW=QG(K)+QGMIN(K)
01105      QDKNEW=QGKNEW-QNET(K)
01106      DELRDK=DELQD(K)=QDKNEW-QD(K)
01107 C
01108 C      ECRITURE DES RESULTATS OBTENUS A LA SUITE DE L'ITERATION
01109 C
01110      WRITE(6, 333)K,DELQGK,QGKNEW,DELQGK,QDKNEW,WORD
01111 C
01112      S1=S1+QGKNEW
01113      S2=S2+DELQGK
01114      S3=S3+QDKNEW
01115      S4=S4+DELRDK
01116 C
01117 180      CONTINUE
01118 C
01119      WRITE(6, 444)S2,S1,S4,S3
01120 C
01121 C      ECRITURE DES NOUVEAUX ECOULEMENTS A TRAVERS LES LIGNES
01122 C
01123      CALL LNQIJ
01124 C
01125      CALL LOSSQ(QLVLOS)
01126 C
01127      WRITE(6,888)QLVLOS
01128 C
01129 C      CALL BSQVAR
01130 C
???

```

```
01130 C
01131      RETURN
01132 222  FORMAT(1H1,70X,*PAGE*,I4,///,22X,*TABLEAU    *,,22X,10(1H-),//,
01133 +7X,*EXPERIENCE (*,I1,* ) - RESULTAT A L'ITERATION *,I1,/,7X,
01134 +41(1H=),/)
01135 300  FORMAT(/,9X,*PRODUCTION DES PUISSANCES REACTIVES*,/,9X,35(1H-)
01136 +/,3X,* BUS*,7X,*DEL.QG*,4X,*QG(OPT)*,4X,*DEL.QD*,7X,*QD*,/)
01137 333  FORMAT(4X,I2,4X,3(F9.4,1X),F9.4,1X,A10)
01138 444  FORMAT(13X,4(7(1H-),3X),/,10X,4(F9.4,1X),//)
01139 555  FORMAT(/,9X,*NOUVEAU PROFIL DES TENSIONS DE BARRE *,/,9X,36(1H-)
01140 +/,3X,*BUS*,7X,*VM(K-1)*,4X,*DEL.V*,7X,*VM(OPT)*,4X,*TETA*,/)
01141 666  FORMAT(2X,I3,5X,4(F9.4,2X))
01142 777  FORMAT(//,3X,*VALEUR DE LA FONCTION OBJECTIVE =*,F9.4,/)
01143 888  FORMAT(//,5X,*PERTE REACTIVE TOTALE DE TRANSMISSION =*,F7.4,/)
01144 C
01145      END
01146 C
??
```

```

01146 C
01147      SUBROUTINE FACOBJ
01148 C
01149 C      CETTE SUBROUTINE SERT A INITIALISER CERTAINES VARIABLE ET
01150 C      EVALUER LES FACTEURS DE LA FONCTION OBJECTIVE .
01151 C
01152 C
01153      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,RSOUT
01154      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
01155      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,RSOUT,LOUT,RAD
01156      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
01157      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
01158      COMMON /AD6/ USPR(14),VSPI(14),USPM(14),USPM2(14),VMAG(14),
01159      +VMAG2(14),VIJSP(20)
01160      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),UMIN(14),UVSP(14),DELV(14),
01161      +DVMAX(14)
01162      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
01163      COMMON /AD9/ QTNET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
01164      +QNET(14)
01165      COMMON /DA1/ COEF(14,14),FDIJ(14,14),FAC(14),FUN(42),FACQ(14)
01166      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
01167 C
01168 C
01169      IF(ICASE.GE.1) GO TO 10
01170      DO 5 M=1,NB
01171      5   QGMAX(M)=QG(M)
01172 10   CONTINUE
01173 C
01174      DO 30 K=1,NB
01175      BUS(K)=1
01176      DELQD(K)=DELQG(K)=0.0
01177      QG(K)=0.0
01178 30   CONTINUE
01179      SQG=SQD=0.0
01180 C
01181 C      LES ENONCEES QUI SUIVENT SERVENT A INITIALISER LES FACTEURS
01182 C      DE LA FONCTION OBJECTIVE. NOTE: CEUX-CI DOIVENT ETRE TOUJOURS
01183 C      POSITIFS. ICI LE CHIFFRE 1 A ETE CHOISI DE FACON ARBITRAIRE.
01184 C
01185      FACTOR=0.001
01186      DO 40 M=1,NB
01187      FAC(M)=1.0
01188      IF(FAC(M).LT.0.0)FAC(M)=FACTOR
01189 40   CONTINUE
01190 C
01191      RETURN
01192      END
01193 C
77

```

```

01193 C
01194      SUBROUTINE LOSSQ(SQLOS)
01195 C
01196 C      CETTE SURROUTINE CALCULE LES PERTES REACTIVES LIEES A LA TRANS-
01197 C      MISSION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE A TRAVERS LES LIGNES.
01198 C
01199 C
01200      INTEGER SN,TN,BUS,BSLIM,LNLIM,IA,IW(118),RFLAG,VFLAG,BSOUT
01201      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
01202      COMMON /AD2/ NB,NL,NB2,NL2,JVOLT,ITER,ICASE,BSOUT,LOUT,RAC
01203      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
01204      +,YG(14,14),YR(14,14),RTJ(14,14)
01205      COMMON /AD5/ TET(14),TETIJ(20),PHASE(14),TETA(14,14),SINN(20),
01206      +COS(20)
01207      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSFM(14),VSFM2(14),VMAG(14),
01208      +VMAG2(14),VIJSP(20)
01209      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
01210      +DVMAX(14)
01211      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQB(14),DELQD(14),
01212      +QNET(14)
01213      COMMON /DA3/ SQG,SQN,QFLAG,IP,VFLAG
01214 C
01215 C
01216      SQLOS=0.0
01217 C
01218      DO 10 L=1,NL
01219 C
01220      QL=QIJ(L,1)+QIJ(L,2)
01221      IF(LINE(L).LE.0) GO TO 10
01222      I=SN(L)
01223      J=TN(L)
01224      GL=((VMAG(I)**2+VMAG(J)**2)*X(L)-2*VMAG(I)*VMAG(J)*COS(E(L)))/Z(L)
01225 C
01226 C
01227      SQLOS=SQLOS+QL
01228 C
01229 10  CONTINUE
01230 C      ECRIRE DES RESULTATS DE SORTIE
01231 C
01232      RETURN
01233      END
01234 C
???

```

```

01234 C
01235 SUBROUTINE BSQVAR
01236 C
01237 C CETTE SUBROUTINE CALCULE LES INJECTIONS DIFFERENCIELLES DE PUISSANCE REACTIVES A CHAQUE NOEUD DU SYSTEME. SI LA PROCEDURE DE SOUTICTION CONVERGE LEUR VALEUR DEVIENT ZERO AU POINT OPTIMAL.
01238 C
01239 C
01240 C
01241 INTEGER SN,TN,BUS,RSILIM,LNLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
01242 COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(7)
01243 COMMON /AD2/ NB,NL,NR2,NL2,IVOLT,ITER,ICASE,BSDOUT,LSDOUT,RAD
01244 COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
01245 +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
01246 COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
01247 +VMAG2(14),VIJSP(20)
01248 COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
01249 +DVMAX(14)
01250 COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QR(14),QRMIN(14),QRMAX(14)
01251 COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQR(14),
01252 +QNFT(14)
01253 COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
01254 C
01255 C
01256 DO 100 M=1,NB
01257 100 QIVAR(M)=0.0
01258 C
01259 DO 200 K=1,NB
01260 DO 200 L=1,NB
01261 QIVAR(K)=QIVAR(K)+VSPM(K)*DIJ(K,L)*DVSP(L)+VSPM(L)*DIJ(K,L)*
01262 10VSP(K)
01263 200 CONTINUE
01264 C
01265 C ECRITURE DES VARIATIONS DES PUISSANCES REACTIVES INJECTEES
01266 C
01267 PRINT 10
01268 10 FORMAT(//,*VARIATIONS DES PUISSANCES REACTIVES INJECTEES : */)
01269 DO 22 K=1,NB
01270 WRITE(6,20) K,QIVAR(K)
01271 20 FORMAT(3X,*QIVAR(*,I2,*), = *,F9.4)
01272 22 CONTINUE
01273 C
01274 RETURN
01275 END
01276 C
???

```

```

01276 C
01277      SUBROUTINE FGINET
01278 C
01279 C      CFTTE SUBROUTINE CALCULE LES PUISSANCE REACTIVE INJECTEE EN
01280 C      UN NOEUD DU SYSTEME.
01281 C
01282      INTEGER SN,TN,BUS,RSLIM,INLIM,IA,IW(118),QFLAG,VFLAG,BSOUT
01283      COMMON /AD1/ SN(20),TN(20),LINE(20),BUS(14),LOOP(10),NBOUT(2)
01284      COMMON /AD2/ NR,NL,NB2,NL2,IVOL,T,ITFR,ICASE,BSOUT,LOUT,RAD
01285      COMMON /AD4/ R(20),X(20),YSHT(20),Z(20),SHTY(14),SERR(20),SERX(20)
01286      +,YG(14,14),YB(14,14),DIJ(14,14)
01287      COMMON /AD6/ VSPR(14),VSPI(14),VSPM(14),VSPM2(14),VMAG(14),
01288      +VMAG2(14),VIJSP(20)
01289      COMMON /AD7/ VMAX(14),VCAL(14),VMIN(14),DVSP(14),DELV(14),
01290      +DVMAX(14)
01291      COMMON /AD8/ QGMIN(14),QG(14),QGMAX(14),QD(14),QDMIN(14),QDMAX(14)
01292      COMMON /AD9/ QINET(14),QIJ(20,2),QIVAR(14),DELQG(14),DELQD(14),
01293      +QNET(14)
01294      COMMON /DA3/ SQG,SQD,QFLAG,IP,VFLAG
01295 C
01296 C
01297      DO 100 M=1,NB
01298 100    QINET(M)=0.0
01299 C
01300      DO 200 K=1,NB
01301      DO 200 L=1,NB
01302      QINET(K)=QINET(K)+VMAG(K)*DIJ(K,L)*VMAG(L)
01303 200    CONTINUE
01304 C
01305 C      ECRITURE DES PUISSANCES REACTIVES INJECTEES CALCULEES
01306 C
01307      PRINT 10
01308 10      FORMAT(//,*PUISANCES REACTIVES INJECTEES CALCULEES : *,/)
01309      DO 22 K=1,NB
01310      WRITE(6,20) K,QINET(K)
01311 20      FORMAT(3X,*QINET(*,I2,*), = *,F9.4)
01312 22      CONTINUE
01313 C
01314      RETURN
01315      END
01316 C
??
```