

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOHAMMED BOUDIAF DE M'SILA
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en
Electrotechnique
Option : Commande Electrique

THEME :

**Evaluation de la stabilité de la tension
d'un réseau électrique à l'aide d'une
nouvelle technique d'indice de
stabilité**

Présenté par :
Mr. KHOUDOUR Seghir
Mr. TRAIKIA Mabrouk Gharib

Encadré par :
Pr. ZEHAR Khaled

PROMOTION: 2007- 2008.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES	
I-1 Introduction	2
I-2 Types des réseaux électriques	2
I-2-1- Réseau de transport	3
I-2 -2- Réseau de répartition	3
I-2 -3- Réseau de distribution	3
I-2 -3-a/ Réseau de distribution à moyenne tension.....	4
I-2 -3-b/ Réseau de distribution à basse tension	4
I-3 Différentes structures des réseaux MT	4
I-3-1 Réseau de distribution radial	4
I-3-1-1 Réseau de distribution radial simple.....	5
I-3-1-1 Réseau de distribution radial double coté.....	5
I-4 Fonction du réseau	5
CHAPITRE 2 : ETUDE DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE AVEC LES METHODES ITERATIVES	
II-1 – introduction	6
II-2 – Modélisation du problème de l'écoulement de puissance	6
II-3 Méthodes itératives	7
II-3-1 Equation du réseau électrique.....	7
II-3-2 Méthode de Gauss Seidel	8
II-3-2-a-Organigramme de la méthode de Gauss –Seidel	10
II-3-3- Méthode de Newton-Raphson.....	11
II-3-3-a-Organigramme de la méthode de Newton-Raphson.....	15
II-4- Conclusion	16
CHAPITRE 3 : Méthode de la chute de tension	
III-1- Introduction	17
III-2 – Principe de chute de tension	17
III-3- Modélisation d'un réseau de distribution radial	17
III-3 -1- Cas simple.....	17
III-3-1-1-Organigramme	19
III-3-2- Cas générale	20
III-3-2-1- Organigramme	21
III-4- Conclusion	23
CHAPITRE 4 : CALCUL DE L'INDICE DE STABILITE	
IV-1- Introduction.....	24
IV-2- Modèle mathématique des réseaux de distribution radiaux	25
IV-3- Indice de stabilité de la tension	27
IV-4- Organigramme de calcul de l'indice de stabilité	29
CHAPITRE 5 : TEST ET VALIDATION	
V-1 -Les méthodes itératives	31
V-1-1- Méthode de Gauss –Seidel	31
V-1 -2 -Méthode de Newton-Raphson.....	34
V -2 – La méthode de la chute de tension.....	36
V-3- L'indice de stabilité.....	41
CONCLUSION GENERALE	
BIBLIOGRAPHIE	

Introduction Générale

L'énergie électrique n'est pas stockable à grandes quantités et face à la demande croissante et non contrôlée de la charge, les réseaux électriques modernes ont comme défi d'assurer la liaison entre la production dans les centrales électriques et la consommation et de maintenir une constante tension et une constante fréquence aux clients.

Généralement les réseaux de distribution ont une combinaison de charges (industrielles, commerciales et domestiques) et les changements considérables dans les niveaux de charge qui se produisent à tout moment et dans n'importe quelle partie du réseau qui menacent le réseau sont inévitables. Pendant la charge maximale, un petit changement du profil de la charge peut menacer la stabilité de tension du système. Pour qu'un système de puissance fonctionne d'une façon sûre, tous les états de fonctionnement peu sûrs doivent être bien identifiés à l'avance pour que les mesures correctives soient prises afin d'éviter la menace possible de l'effondrement de tension.

La capacité de prévoir l'effondrement de tension est très importante parce qu'elle peut sauver le système d'une éventualité dont les conséquences sont peu rassurantes.

Le problème d'instabilité de tension est du à la chute de tension qui se produit quand le chargement sur un réseau radial excède la capacité de ce dernier à maintenir la valeur de tension dans les limites permises. Un enregistrement réel de ce phénomène a été réalisé, dans lequel la tension du système s'écroule périodiquement et une compensation réactive pressante s'impose pour éviter cet effondrement de tension à se répéter ou s'aggraver.

Dans notre travail nous avons étudié la méthode de calcul de l'indice de stabilité qui est une fonction de la tension au niveau des jeux de barres. Pour calculer cet indice, il faut d'abord calculer les tensions au niveau des jeux de barres. Cet indice permet de connaître à priori le jeu de barres dans lequel la tension du système a la plus grande possibilité de s'écrouler et une solution doit être apportée.

Le problème que nous rencontrons en utilisant les méthodes itératives classiques à savoir les méthodes de Gauss, Gauss Seidel et Newton Raphson pour déterminer les tensions au niveau des jeux de barres d'un réseau électrique est le problème de la divergence dans le cas où le réseau électrique étudié est du type radial comme c'est le cas des réseaux de distribution de l'énergie électrique. Ce problème ne se présente pas dans le cas des réseaux maillés.

Ce problème est du principalement à la nature particulière de la matrice admittance Y_{BUS} du réseau électrique. Pour éviter le problème de la divergence on utilise une méthode basée sur la technique de la chute de tension. Une fois avoir calculé les tensions, on calcule l'indice de stabilité afin de reconnaître le jeu de barres présentant le maximum de risque d'effondrement.

I.1. Introduction :

Dans les systèmes électriques, les centrales électriques de production (particulièrement les centrales: nucléaires et hydrauliques) sont le plus souvent éloignées des zones de consommation (les consommateurs : habitations, industrie ...).

Pour réaliser la liaison entre les deux centres (Groupes générateurs et les charges), il faut mettre en œuvre un réseau de lignes électriques qui assure le transport et la distribution de l'énergie électrique. Les tronçons de ces lignes sont raccordés entre-eux dans des installations appelées postes, ces dernières comprennent : des appareils de coupures, de mesures, de contrôle, de réglage et de commande, des transformateurs et divers autres appareils auxiliaires nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble. Tout ces appareils sont regroupés les uns dans des cellules reliées électriquement entre-elles par des jeux de barres, les autres dans des panneaux de mesures ou de contrôle et dont les plus utiles à la surveillance du poste sont regroupés sur un tableau. Les postes constituent les nœuds du réseau, les lignes en forment les branches. Ces branches constituent soit des artères ou des antennes soit des mailles (ou des boucles).

Le transport d'énergie électrique depuis les sources jusqu'aux consommateurs est réalisé sous conditions d'un compromis technico-économiques, en respectant :

- ✓ La continuité du service.
- ✓ La constance de la puissance exigée par le client.
- ✓ Le maintien des caractéristiques de la tension et de la fréquence dans des plages admissibles.
- ✓ Maintien des normes de sécurité.
- ✓ Veille à la protection de l'environnement.

I.2. Types des réseaux électriques :

La structure du système électrique est décomposée en plusieurs niveaux de tension correspondants à différents types de réseaux, l'échelle de ces niveaux utilisée est très vaste, elle s'étend de quelques dizaines à près de million de volts :

Classe de tension	Tension nominale	Exemple d'application
Très Basse Tension (T.B.T)	<50 volts	Réseau B.T et de sécurité
Basse Tension (B.T)	120, 220, 380,660 V	Réseau de distribution B.T
Moyenne Tension (M.T)	3, 6, 10, 20, 35, 60 KV	Réseau de distribution M.T
Haute Tension (H.T)	110, 150, 220 KV	Réseau de transport

Très Haute Tension (T.H.T)	330, 500, 750 KV	Réseau de transport Réseau d'interconnexion
Ultra Haute Tension (U.H.T)	> 750 KV	Réseau d'interconnexion

Tableau I.1. Les réseaux électriques selon le niveau de tension.

I.2.1. Réseau de transport :

A la sortie des centrales de production, l'énergie électrique est portée à haute ou très haute tension (>110 KV) afin de limiter les pertes par effet Joule et satisfaire les demandes de plus en plus importantes en quantités d'énergie. Le réseau de transport se présente sous la forme d'un maillage de lignes H.T et M.T. Chacun de ses nœuds constitue un poste de transformation. Il transporte des puissances importantes sur des distances atteignant plusieurs centaines de kilomètres. La structure de ce réseau est essentiellement de type aérien et devant assurer une grande sécurité d'alimentation. Il a le rôle de :

- ✓ Acheminement de l'électricité des centrales aux grandes zones de consommation.
- ✓ Interconnexion nationale (répartition).
- ✓ Interconnexion internationale (échanges d'énergie entre les pays).

Le choix d'une tension de transport est avant tout un compromis technico-économique fonction des puissances à transporter et des distances à parcourir. Les protections de ce réseau doivent être très performantes.

I.2.2 Réseau de répartition :

Permet d'acheminer l'énergie électrique du réseau de transport vers les grands centres de consommation et aux réseaux de distribution sous des hautes tensions comprises de 40 et 110 KV. Il transporte des puissances de plusieurs dizaines de MW sur des distances atteignant plusieurs dizaines de kilomètres. La structure de ce réseau est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Ce réseau, généralement en boucle, alimente les postes HT/MT des réseaux de distribution MT situé en aval.

I.2.3. Réseau de distribution :

Le réseau de distribution comprend l'ensemble des canalisations et des branchements extérieurs qui permettent délivrer l'énergie électrique soit :

- ✓ Depuis les sources jusqu'aux postes de distribution.
- ✓ Depuis les postes de distributions jusqu'aux consommateurs.

Ce réseau est composé de deux parties : le réseau de distribution à moyenne tension et le réseau de distribution à basse tension.

I.2.3.1 Réseau de distribution à moyenne tension :

On appelle réseaux MT les réseaux couvrants la plage de 1 à 36 kV, selon (CIE) les réseaux MT se distinguent fortement des réseaux HT par le principe de distribution.

I.2.3.2 Réseau de distribution a basse tension :

Permet d'acheminer l'énergie électrique du réseau de distribution MT aux points de faible consommation (<250 kVA). Ce réseau alimente un nombre très élevé de consommateurs du domaine domestique. La structure de ce réseau est de type aérien ou souterrain.

I.3 Différentes structures de réseaux *MT* :

Le choix des schémas de réseaux est très important en particulier pour les réseaux MT, car ils sont très longs. Ceci conduit à une grande diversité de schémas. Il existe quatre (04) types de schémas de base de plus en plus combinés entre eux :

- ✓ Topologie radiale (en antenne).
- ✓ Topologie en boucle (à coupure d'artère).
- ✓ Topologie en double dérivation.
- ✓ Topologie en boucle fermée (maillée).

I.3.1 Réseau de distribution radial :

Son principe est d'assurer une liaison unique entre la source et le récepteur. Il se présente sous la forme de la structure d'un arbre, c'est-à-dire à partir d'un poste source, ce réseau ramifie en plusieurs artères (feeders). Ce type a comme avantages :

- ✓ Le plus simple.
- ✓ Il est moins onéreux.
- ✓ Il nécessite une protection par appareillage simple.

Mais, ce schéma est défavorable pour la continuité de service : En effet, la défaillance d'un élément engendre la mise hors tension permanente de tout le réseau situé en aval. Pour pallier cet inconvénient, on double (par mise en parallèle) les réseaux les plus importants ; la reprise de service dépend du temps de réparation. Ce type de réseau est généralement utilisé comme :

- ✓ Réseau de distribution publique MT en lignes aériennes (dans les régions rurales).
- ✓ Réseau de distribution BT.
- ✓ Réseau de distribution MT et BT dans la plus part des industries, le tertiaire et le logement.

I.3.1.1 Réseau radial simple :

Chaque ligne MT issue le plus souvent d'un poste HT/MT, alimente un certain nombre de postes MT/BT, de chacun de ces postes sont issus de ligne BT qui aboutissent aux habitations.

I.3.1.2 Réseau radial double coté :

On assure à chaque poste une double alimentation au moyen de deux câbles dont l'un est en service d'une façon normale, tandis que l'autre demeure en réserve, non raccordé mais maintenu sous tension, en cas d'indispensabilité du premier câble en service, celui-ci est mis hors circuit et on alimente les postes par le câble de réserve, en effectuant les manœuvres nécessaires.

I.4 Fonction du réseau :

La fonction générale d'un réseau électrique est d'acheminer l'énergie électrique des centres de production jusqu'au consommateurs, en plus le réseau a un rôle de transformation, puisqu'il doit permettre délivrer aux utilisateurs un bien de consommation adapté à leurs besoins, le produit électricité caractérisé par :

- ✓ Une puissance disponible en fonction des besoins quantitatifs du client
- ✓ Une tension fixée fonction de cette puissance et du type du clientèle
- ✓ Une qualité traduisant la capacité à respecter les valeurs et les formes prévues de ces deux paramètres et à la maintenir dans le temps.

II.1. Introduction :

La compréhension et la prévision du comportement des systèmes électro-énergétique nécessitent un calcul de répartition des puissances actives et réactives (écoulement de puissance), qui sert à déterminer les conditions de fonctionnement du système en régime permanent. Pour faire ce calcul, il faut d'abord modéliser finement les différents éléments du système (générateurs, lignes, transformateurs, charges...).

II.2 Modélisation du problème de l'écoulement de puissance:

Dans l'analyse d'écoulement de puissance on peut classer les jeux de barres en trois catégories en fonction des spécifications des variables utilisées:

A. Jeu de barre de référence (SLACK ou SWING BUS) ou V est défini, connecté à une centrale électrique et dont la puissance et la phase est élevée.

B. Jeu de barre de charge (type P-Q bus) ou la puissance active P et la puissance réactive Q sont définies.

C. Jeu de barre à tension contrôlée (type PV bus) ou la puissance active P et le module de la tension V est défini.

Types de jeux de barres	Grandeurs connues	Grandeurs inconnues
Jeux de barres de références	V, θ	P, Q
Jeux de barres de génération	P, V	Q, θ
Jeux de barres de charge PQ bus	P, Q	V, θ

Tableau.II.1. Spécification des différentes grandeurs des jeux de barres.

Un jeu de barres du réseau est choisi pour être le « swing bus » ; C'est un jeu de barres connecté à un générateur. Dans le cas où plusieurs jeux de barres sont connectés à des générateurs, on choisira celui qui est relié au générateur fournissant le plus de puissance.

Pour spécifier complètement l'état du système on a besoin de connaître les modules et les angles des tensions au niveau de tous les jeux de barres:

On doit spécifier pour chaque jeu de barre sauf le « swing bus » les puissances actives et soit les puissances actives, soit les modules de tensions (généralement, on spécifie la puissance réactive pour les jeux de barres dits de 'charge' et les modules de tensions pour ceux dits de

génération). Pour le « swing bus » on doit spécifier le module et la phase de la tension, les puissances actives et réactives seront déterminées pour l'ordinateur et feront partie de la solution. Une puissance consommée par une charge est considérée comme une puissance négative. A partir des paramètres du réseau, la matrice admittance (ou impédance) est obtenue à l'aide de l'ordinateur, dans ce travail on utilise la matrice admittance.

II.3 Méthodes itératives:

La résolution du problème de l'écoulement de puissance est basée sur un processus itératif. On utilise des valeurs estimées des tensions des jeux de barres pour calculer un ensemble de nouvelles valeurs, qui sont fonctions des valeurs estimées des tensions, des puissances actives et réactives spécifiées et des admittances du réseau. Chaque fois qu'un ensemble des valeurs de tensions est obtenue, le nombre d'itérations augmente d'une unité.

Ce processus itératif est répété jusqu'au point où au niveau de tous les jeux de barres, la différence entre deux tensions appartenants à deux itérations successives est inférieure à une certaine valeur qu'on spécifie (ce qu'on appelle tolérance ou précision).

Depuis longtemps plusieurs méthodes ont été proposées par différents chercheurs pour la résolution des systèmes d'équations modélisant le fonctionnement en régime permanent du système électrique. Pour calculer les tensions des jeux de barres des réseaux électriques on utilise l'une des méthodes suivantes :

1. La méthode de Gauss.
2. La méthode de Gauss-Seidel.
3. La méthode de Newton Raphson

Les deux méthodes que nous avons utilisées pour la résolution du problème de la répartition des charges sont : la méthode de Gauss-Seidel et la méthode de Newton Raphson.

II.3.1 Equation du réseau électrique :

L'équation décrivant les relations entre courants et tensions aux jeux de barres sont données par :

$$I_{BUS} = Y_{BUS} * V_{BUS} \quad (II.1)$$

Où :

V_{BUS} : Vecteur des tensions des jeux de barres.

$$V_{BUS} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} \quad (\text{II.2})$$

I_{BUS} : Vecteur des courants des jeux de barres.

Les vecteurs courants et tensions sont d'ordre (n*1).

$$I_{BUS} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

Y_{BUS} : La matrice admittance du réseau électrique donnée par :

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n Y_{1i} & -Y_{12} & \cdot & \cdot & -Y_{1n} \\ -Y_{21} & \sum_{i=0}^n Y_{2i} & \cdot & \cdot & -Y_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ -Y_{n1} & -Y_{n2} & \cdot & \cdot & \sum_{i=0}^n Y_{ni} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

La matrice Y_{BUS} présente les propriétés suivantes :

1. Carrée d'ordre n.
2. Symétrique $Y_{BUS}(i, k) = Y_{BUS}(k, i)$
3. Complexe.
4. Chaque élément $Y_{BUS}(i, k)$ en dehors de la diagonale est l'opposé de l'admittance de la branche $Y_{BUS}(k, i)$ entre les nœuds i et k.
5. Chaque élément de la diagonale $Y_{BUS}(k, k)$ est la somme des admittances de toutes les branches liées au jeu de barres k.

II.3.2 Méthode de Gauss-Seidel:

On désigne comme <<SWING BUS>> le jeu de barre1 .donc les calculs commenceront pour le jeu de barre2.

$$S_2 = V_2 I_2^* = P_2 + jQ_2 \quad (\text{II.5})$$

$$I_2^* = \frac{P_2 + jQ_2}{V_2} \quad (II.6)$$

$$I_2 = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2^*}$$

En faisant intervenir les éléments de la matrice admittance on aura :

$$\frac{P_2 - jQ_2}{V_2^*} = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 + Y_{23} V_3 + Y_{24} V_4 \quad (II.7)$$

D'où on tire la tension au jeu de barre2

$$V_2 = \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{V_2^*} - (Y_{21} V_1 + Y_{23} V_3 + Y_{24} V_4) \right] \quad (II.8)$$

Dans chaque itération la tension est déterminée pour tous les jeux de barres sauf le <<SWING BUS>>. Le processus est répété plusieurs fois jusqu'à ce que les tensions dans deux itérations successives ne se diffèrent pas l'une de l'autre de plus que la tolérance. Ce processus de résoudre les équations linéaires est connu sous le nom de la méthode itérative de GAUSS Seidel. Si le même ensemble des valeurs des tensions est utilisé dans une itération complète (au lieu de substituer les nouvelles valeurs chaque fois qu'elles sont déterminées pour calculer la tension du jeu de barre suivant), le processus serait appelé la méthode itérative de Gauss.

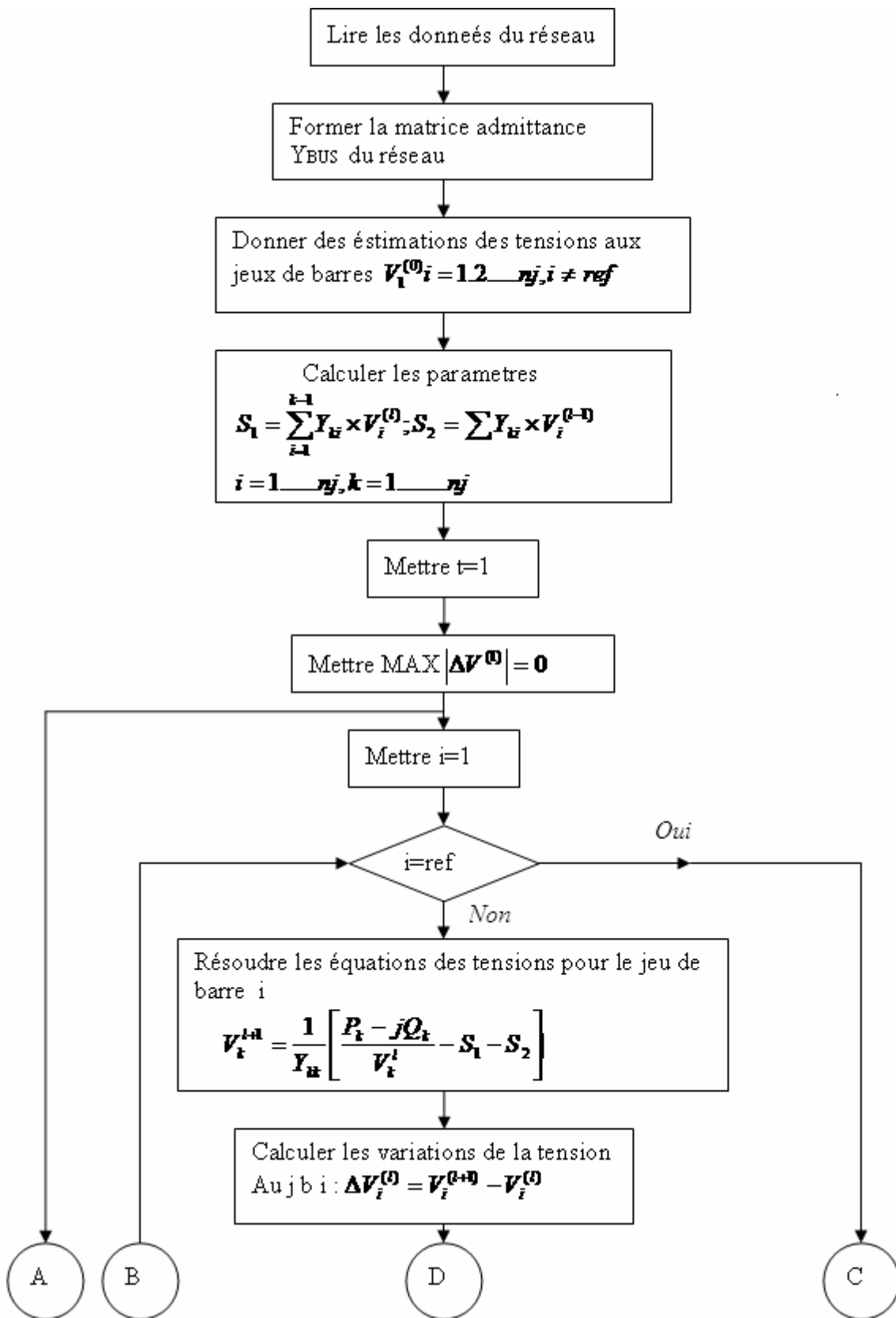
La convergence vers une fausse solution peut être évitée si les tensions estimées au départ ne sont pas 'largement' différentes des valeurs correctes.

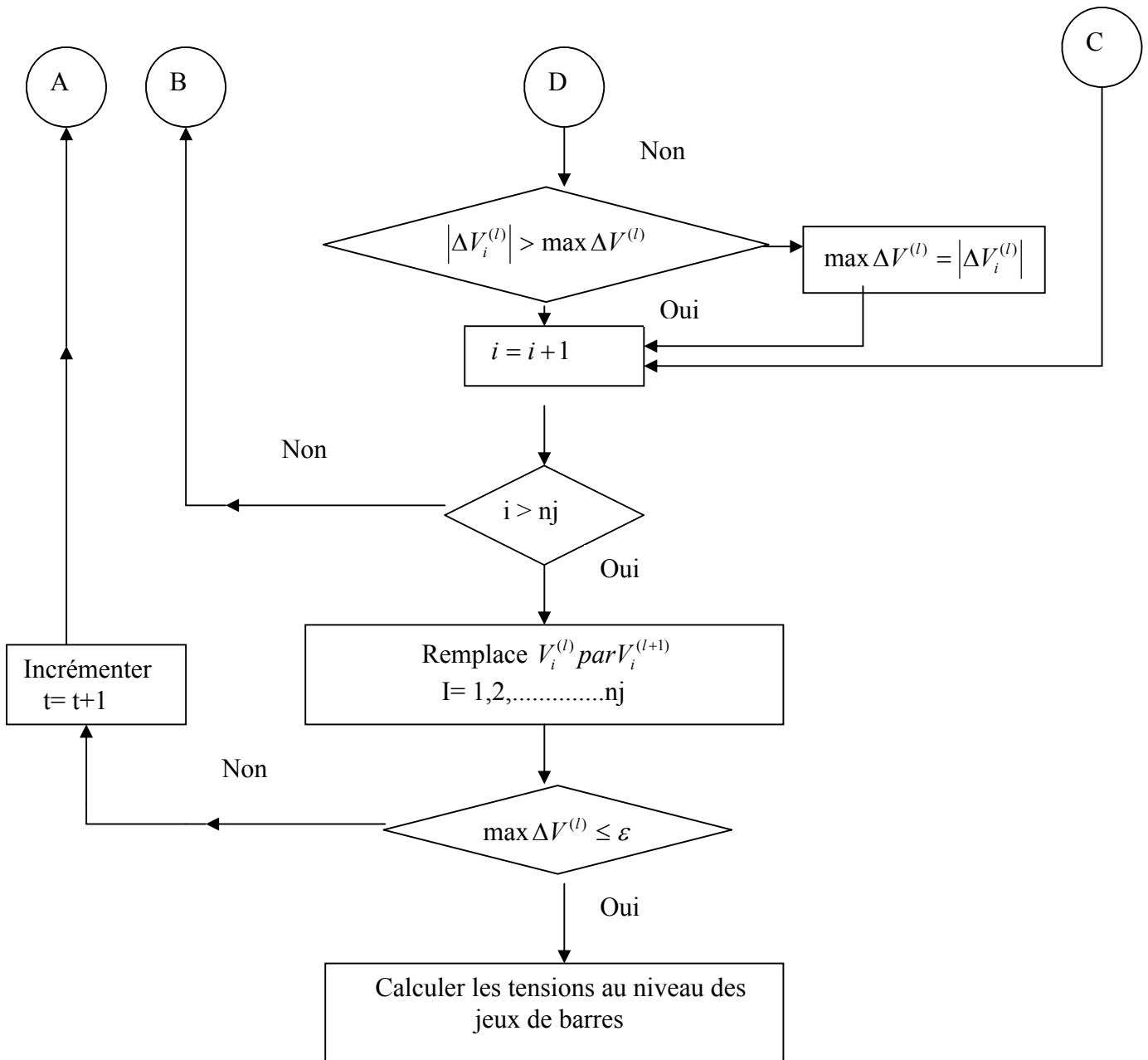
Pour un réseau de N jeux de barres, la tension calculée à n'importe quel jeu de barre k , où P_k et Q_k sont données par :

$$V_k^{(i)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left[\frac{P_k - jQ_k}{V_k^{*(i-1)}} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq k}}^N Y_{kn} V_n^{(i-1)} \right] \quad \text{GAUSS}$$

$$V_k^{(i)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left[\frac{P_k - jQ_k}{V_k^{(i-1)}} - \sum_{i=1}^{k-1} Y_{ki} V_i^{(i)} - \sum_{i=k+1}^N Y_{ki} V_i^{(i-1)} \right] \quad \text{GAUSS-Seidel}$$

II-3-2-a- ORGANIGRAMME DE GAUSS_SEIDEL :





II.3.3 Méthode de Newton-Raphson :

Cette méthode est basée sur l'expansion en série de Taylor. L'étude de cette méthode commencera avec la résolution d'un problème de deux équations avec deux variables. Puis on verra comment cette analyse sera généralisée pour la solution des équations de l'écoulement de puissance. Soit :

$$f_1(x_1, x_2) = k_1$$

$$f_2(x_1, x_2) = k_2$$

k_1, k_2 sont des constantes.

On estime que $x_1^{(0)}$ et $x_2^{(0)}$ sont les solutions de ces deux équations. L'exposant (0) indique que ces valeurs sont les estimations initiales. On désigne par $\Delta x_1^{(0)}$ et $\Delta x_2^{(0)}$ les valeurs à ajouter à $x_1^{(0)}$ et $x_2^{(0)}$ pour trouver la solution correcte.

$$k_1 = f_1(x_1, x_2) = f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)})$$

$$k_2 = f_2(x_1, x_2) = f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)})$$

A l'aide de l'expansion en série de Taylor on aura :

$$k_1 = f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{df_1}{dx_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{df_1}{dx_2} \right|_{(0)} + \dots$$

$$k_2 = f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{df_2}{dx_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{df_2}{dx_2} \right|_{(0)} + \dots$$

Le terme $\left. \frac{df_1}{dx_1} \right|_{(0)}$ correspond à la dérivée partielle évaluée avec les valeurs de

$$x_1^{(0)} \text{ et } x_2^{(0)}$$

En négligeant les dérivées partielles d'ordre supérieur à 1, on obtiendra :

$$\begin{bmatrix} k_1 - f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ k_2 - f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix}$$

La matrice carré est appelée le Jacobien J, et dans ce cas précis $J^{(0)}$ pour indiquer que les valeurs de $x_1^{(0)}$ et $x_2^{(0)}$ ont été utilisées pour calculer les dérivées partielles. Il faut indiquer que $f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)})$ est la valeur estimée de $f_1(x_1, x_2)$ donc de k_1 .

On désigne par $\Delta k_1^{(0)}$ la différence les valeurs spécifiques de k_1 et la valeur calculée en utilisant $x_1^{(0)}$ et $x_2^{(0)}$, il en de meme pour $\Delta k_2^{(0)}$.

$$\begin{bmatrix} \Delta k_1^{(0)} \\ \Delta k_2^{(0)} \end{bmatrix} = J^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix}$$

On obtenait la matrice de $J^{(0)}$, on peut déterminer $\Delta x_1^{(0)}$ et $\Delta x_2^{(0)}$ en ajoutant ces valeurs $\Delta x_1^{(0)}$ et $\Delta x_2^{(0)}$. A $x_1^{(0)}$ et $x_2^{(0)}$ respectivement on n'obtiendra pas la solution correcte du système d'équations :

$$\begin{cases} k_1 = f_1(x_1, x_2) \\ k_2 = f_2(x_1, x_2) \end{cases}$$

Et on doit répéter cette procédure avec les nouvelles valeurs estimées :

$$\begin{aligned} x_1^{(1)} &= x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} \\ x_2^{(1)} &= x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \end{aligned}$$

Jusqu'à ce que les corrections $\Delta x_1^{(k)}$ et $\Delta x_2^{(k)}$ deviennent aussi petites que possible.

Pour résoudre les équations de l'écoulement de puissance, on exprime les tensions des jeux de barres et les admittances des lignes comme suit –en forme polaire- :

$$\begin{aligned} V_k &= |V_k| \angle \delta_k \\ V_n &= |V_n| \angle \delta_n \\ Y_{kn} &= |Y_{kn}| \angle \theta_{kn} \end{aligned}$$

On a :

$$P_k - JQ_k = V_k * \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n = \sum_{n=1}^N |V_k Y_{kn} V_n| \angle \theta_{kn} + \delta_n - \delta_k$$

Donc :

$$\begin{aligned} P_k &= \sum_{n=1}^N |V_k Y_{kn} V_n| \cos \angle \theta_{kn} + \delta_n - \delta_k \\ Q_k &= - \sum_{n=1}^N |V_k Y_{kn} V_n| \sin \angle \theta_{kn} + \delta_n - \delta_k \end{aligned}$$

Comme dans la méthode de Gausse-Seidel le <<swing bus>> ne sera pas considéré dans les itérations puisque le module et l'angle de la tension au niveau de ce jeu de barres sont spécifiés.

P et Q sont spécifiées pour tous les jeux de barres sauf le <<swing bus>> sont estimées, ils correspondent au vecteur $[x_1, x_2 \dots \dots \dots]$. On utilise les valeurs estimées du module et de l'angle des tensions au niveau des jeux de barres pour calculer P_k et Q_k au niveau de chaque jeu de barres sauf le <<swing bus>>.

A partir des deux équations précédentes ont définit :

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_k &= P_{k\text{spcf}} - P_{k\text{calc}} \\ \Delta Q_k &= Q_{k\text{spcf}} - Q_{k\text{calc}} \end{aligned} \right\}$$

Ceci correspond au vecteur Δk .

Le jacobien est formé à partir des dérivées partielles de P et Q par rapport aux variables $|V|$ et δ . Les éléments du vecteur $\Delta\delta_k^{(0)}$ et $\Delta|V_k|^{(0)}$ correspondent à $\Delta x_1^{(0)}$ et $\Delta x_2^{(0)}$; et leurs corrections seront ajoutées aux valeurs estimées $\delta_k^{(0)}$ et $|V_k|^{(0)}$ pour calculer $\Delta P_k^{(1)}$ et $\Delta Q_k^{(1)}$.

Les dérivées partielles sont :

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_n} = -|V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq k}}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial |V_k|} = \sum_{n=1}^N |V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) + 2|V_k Y_{kk}| \cos \theta_{kk}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial |V_n|} = |V_k Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

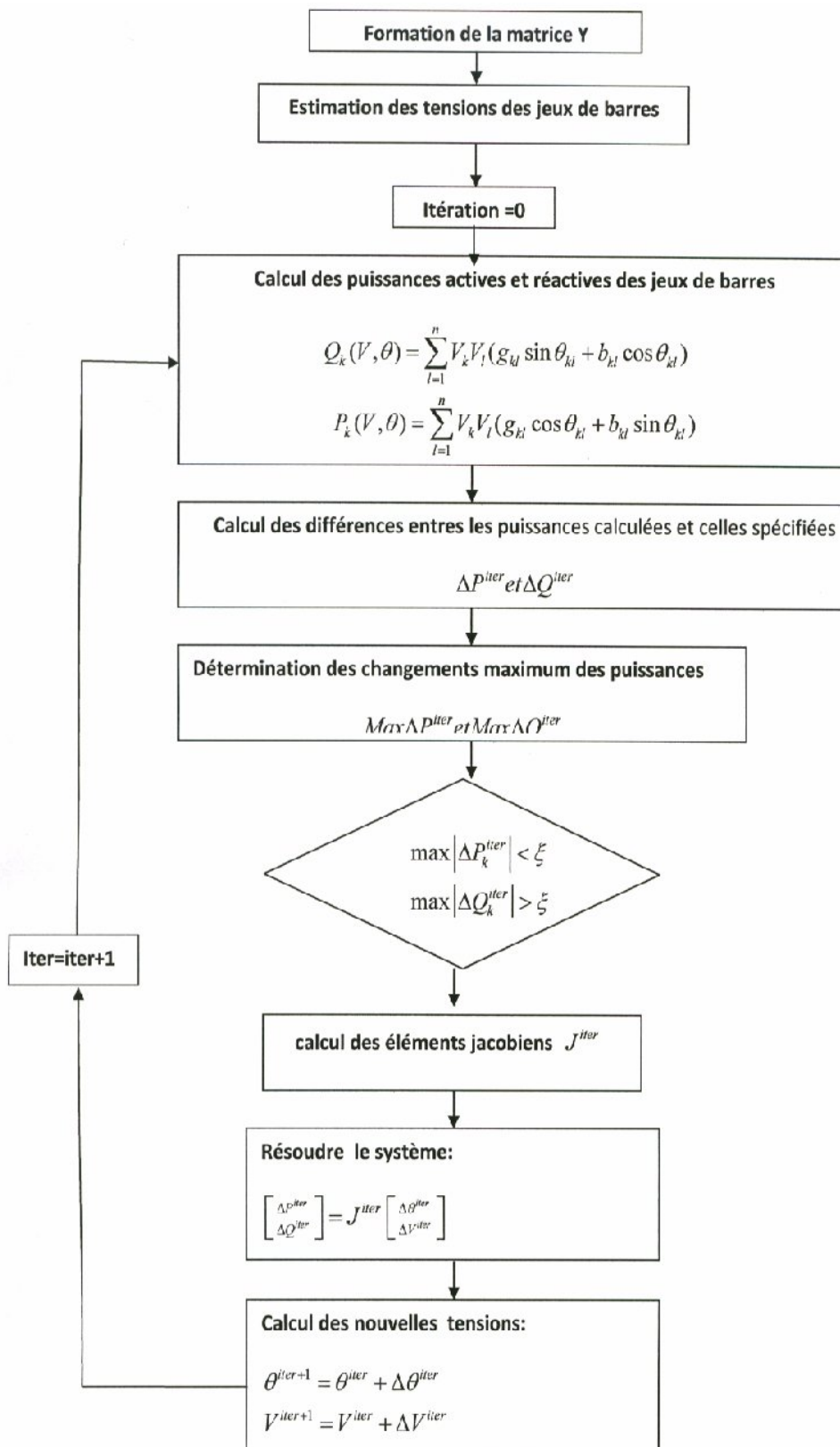
$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_n} = -|V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq k}}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial |V_k|} = -\sum_{n=1}^N |V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) - 2|V_k Y_{kk}| \sin \theta_{kk}$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial |V_n|} = -|V_k Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k)$$

II-3-3-a-ORGANIGRAMME DE NEWTON-RAPHSON:



Conclusion :

Le problème de l'écoulement de puissance occupe une partie très importante dans la procédure de commande et de contrôle des réseaux électriques. Il est largement utilisé dans les centres de contrôle de système de puissance pour étudier les problèmes d'exploitation des réseaux électriques.

Le but de l'analyse de la répartition des charges est l'équilibre entre la production et la demande en énergie électrique. L'analyse de la répartition des charges est très importante dans la planification des nouveaux réseaux électriques et avoir une bonne qualité d'énergie à la disposition de l'utilisateur.

III.1. Introduction :

Le calcul des chutes de tension apparaissant le long des lignes des réseaux de distribution dépend :

- ✓ De la tension de service de la ligne.
- ✓ Des paramètres de la ligne à savoir la résistance et l'inductance.
- ✓ Des puissances actives et réactives à chaque jeu de barre.

III.2. Principe de chute de tension :

La méthode de chute de tension est une méthode itérative. Son principe consiste à calculer en premier lieu, les courants qui passent par les différents jeux de barres, du dernier jusqu'à la source. Ces courants sont calculés à partir des valeurs estimées –pour la première itération- des tensions, des puissances au niveau des jeux de barres et des valeurs de l'impédance de chaque branche entre deux jeux de barres successifs. Les courants ainsi calculés vont nous servir pour déterminer les nouvelles valeurs des tensions au niveau des jeux de barres qui à leur tour vont être utilisées pour le calcul des courants dans la deuxième itération et ainsi de suite. Ce processus se déroulera jusqu'au moment où on obtient des tensions qui ne varient d'une itération à une autre que d'une petite différence que nous fixons et qu'on appelle la précision ou la tolérance. Dans notre étude on néglige les pertes des puissances actives et réactives dans les différentes branches du réseau.

III.3. Modélisation d'un réseau de distribution radial :

Notre étude a porté sur les réseaux de distributions radiaux. On a considéré deux types :

III.3.1 Cas simple : *branche principale (réseau en échelle)*

Considérons le cas simple d'une branche principale radiale constituée de n tronçons (éléments), comme le montre la figure X.1 (exemple de 10 jeux de barres)

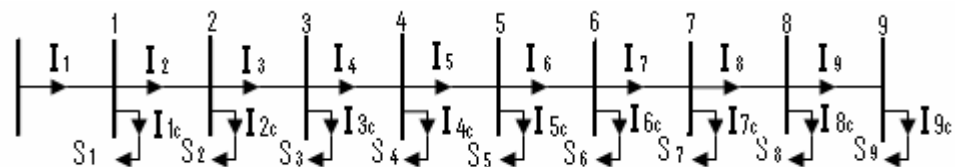


Fig.III.1 Réseau de distribution radial avec une branche principale

Les lignes sont modélisées par leur impédance série :

$$Z_i = R_i + jX_i \quad (\text{III.1})$$

La puissance apparente de charge au niveau de chaque nœud est donnée par

$$S_i = P_i + jQ_i \quad (\text{III.2})$$

Le processus de calcul:

$$I_9 = I_{9c} = \frac{S_9^*}{V_9^*} \quad (\text{III.3})$$

$$I_8 = I_{8c} + I_9 = \frac{S_8^*}{V_8^*} + I_9 \quad (\text{III.4})$$

$$I_7 = I_{7c} + I_8 = \frac{S_7^*}{V_7^*} + I_8 \quad (\text{III.5})$$

$$I_1 = I_{1c} + I_2 = \frac{S_1^*}{V_1^*} + I_2 \quad (\text{III.6})$$

Nous généralisons par la formule suivante :

$$I = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{S_i^*}{V_i^*} \quad (\text{III.7})$$

Après avoir calculé les courants dans chaque branche, on calcule maintenant les chutes de tensions. Ces dernières nous permettent de calculer les nouvelles valeurs des tensions dans chaque jeu de barre.

$$\Delta V(s,1) = V(s) - V(1) = Z(1) * I(1) \quad (\text{III.8})$$

$$V(1) = V(s) - Z(1) * I(1) \quad (\text{III.9})$$

$$\Delta V(1,2) = V(1) - V(2) = Z(2) * I(2) \quad (\text{III.10})$$

$$V(2) = V(1) - Z(2) * I(2) \quad (\text{III.11})$$

$$\Delta V(8,9) = V(8) - V(9) = Z(9) * I(9) \quad (\text{III.12})$$

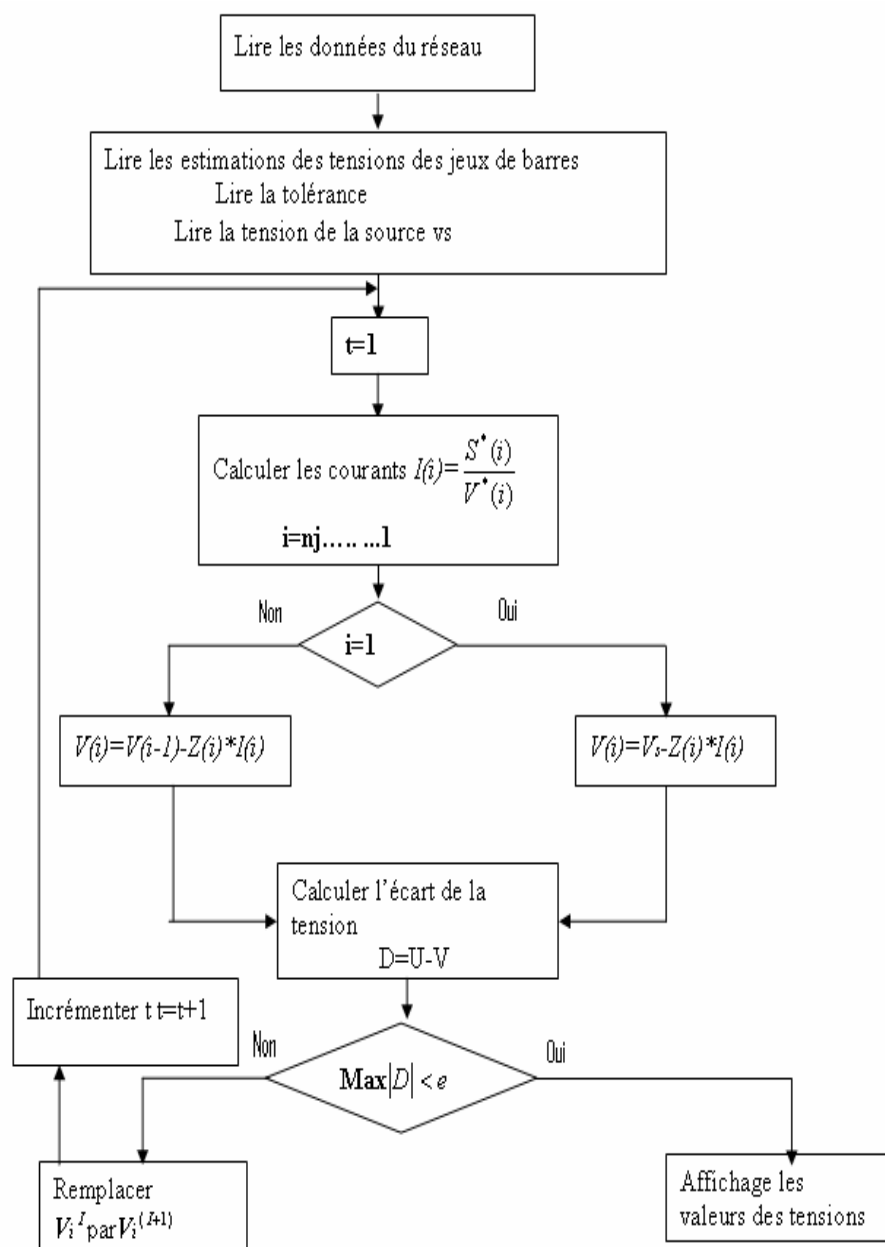
$$V(9) = V(8) - Z(9) * I(9) \quad (\text{III.13})$$

Donc:

$$V(i) = V(i-1) - Z(i) * I(i) \quad (\text{III.14})$$

III.2.1.1 Organigramme de la méthode de la chute de tension

Cas d'un réseau radial simple



III.3.2 Cas général : branche principale avec des ramifications

On considère maintenant le cas où le réseau radial est constitué par une branche principale et des ramifications. Exemple de 24 jeux de barres :

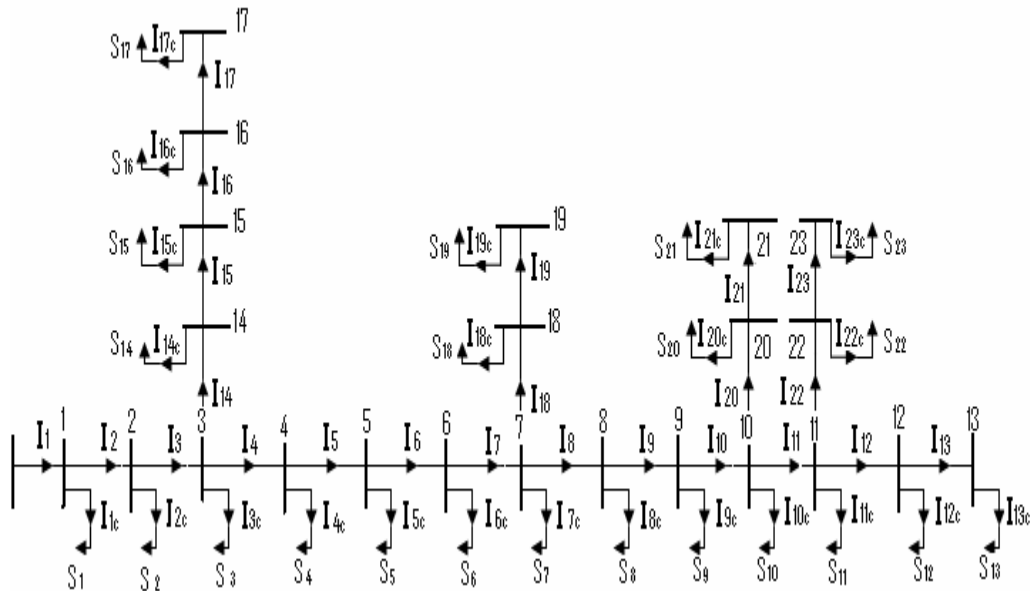
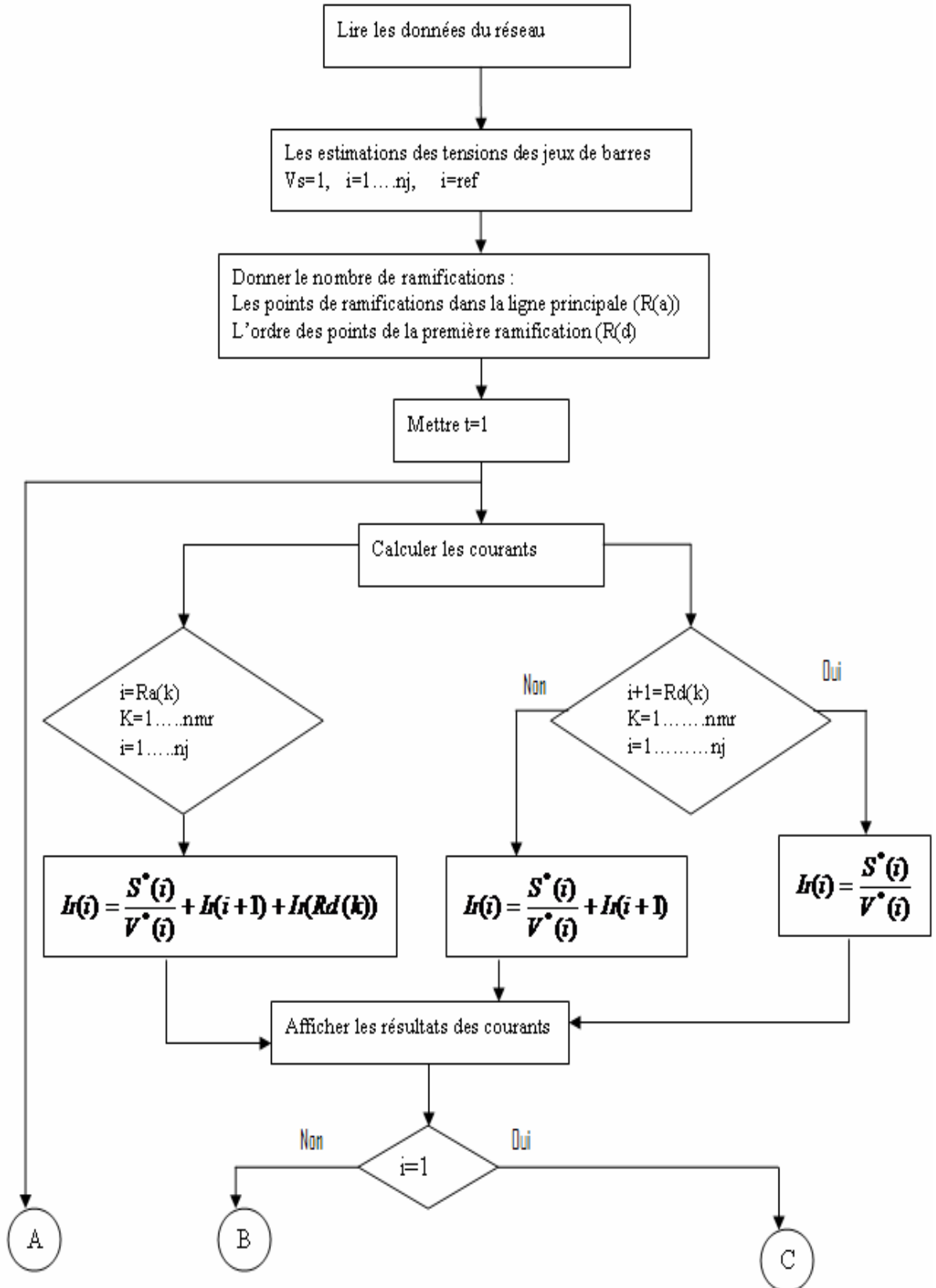


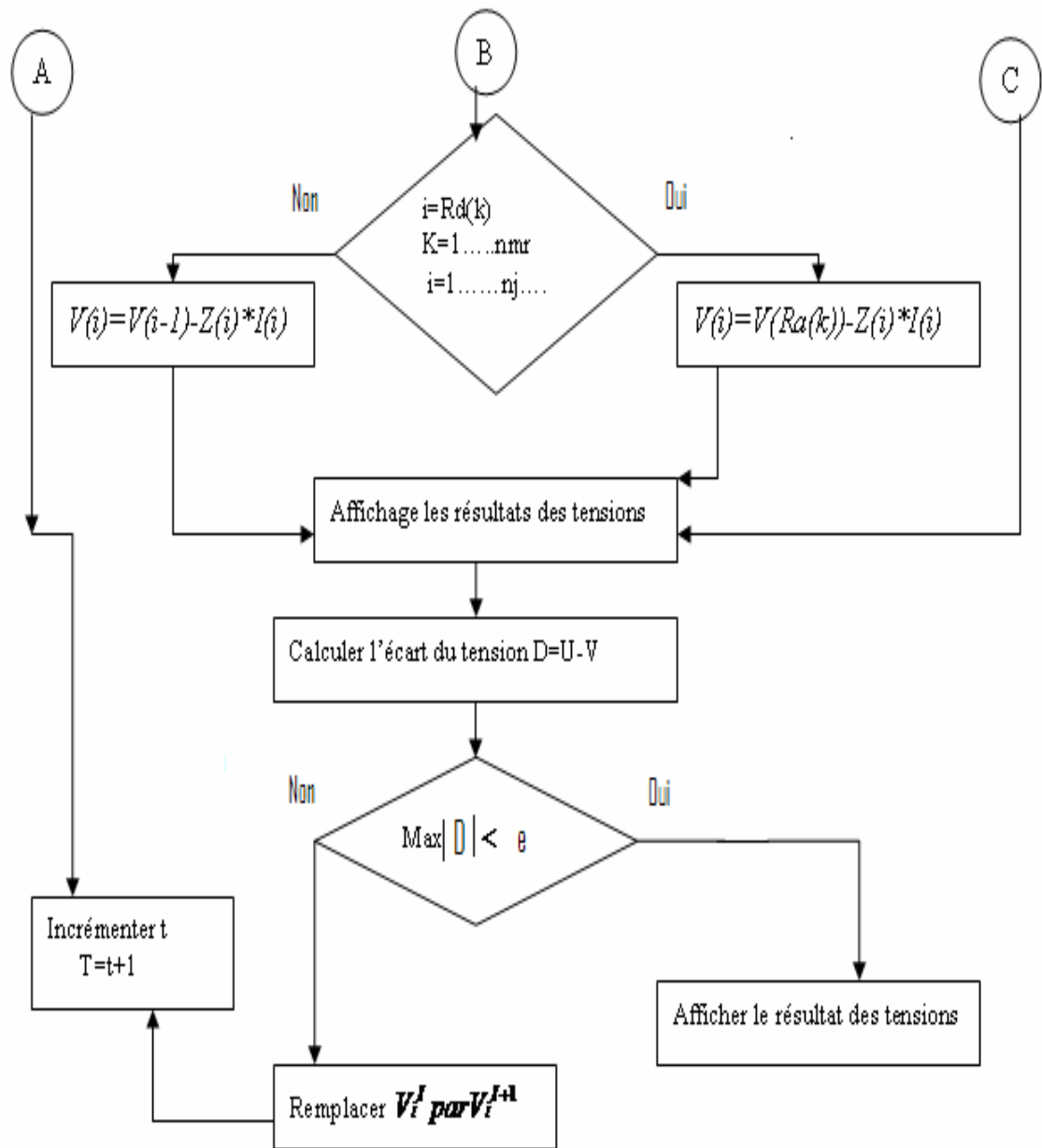
Fig.III.2 Réseau de distribution radial de 24 jeux de barres
(Branche principale avec ramifications)

On a appliqué dans ce cas, les mêmes formules que nous avons appliquées dans le cas du réseau radial Simple (branche principale). Un léger changement a été opéré. La différence se trouve au niveau de la détermination du courant au niveau des jeux de barres de ramifications. Où les courants dans les différentes ramifications doivent être rajoutés aux courants de la ligne principale.

III.3.2.1 Organigramme de la chute de tension

Cas D'un réseau radial avec ramifications.





III.4. Conclusion :

La méthode de la chute de tension appliquée dans les réseaux de distributions radiaux, nous permet de calculer les tensions aux niveaux de chaque jeu de barre.

Ces tensions vont nous servir par la suite dans la détermination des valeurs de l'indice de stabilité.

IV.1. Introduction :

Notre travail concerne l'analyse de la stabilité de tension des réseaux de distribution de type radial. On a étudié une nouvelle méthode de calcul de l'indice de stabilité pour identifier les nœuds qui sont à la limite de l'effondrement de tension. La valeur de l'indice de la stabilité de tension proposé est calculée à chaque nœud du réseau. Une méthode modifiée de l'écoulement de puissance est employée pour déterminer les tensions aux jeux de barres qui vont servir dans l'analyse de la stabilité de tension. Les réseaux de distribution modernes, font face constamment à la demande croissante et non contrôlée de la charge. Généralement les réseaux de distribution ont une combinaison de charge (industrielle, commerciale et domestique) et les changements considérables dans les niveaux de charges se produisent à tout moment et dans n'importe quelle partie du réseau. Pendant la charge maximale un petit changement du profil de la charge peut menacer la stabilité de la tension du système. Pour qu'un système de puissance fonctionne d'une façon sûre, tous les états de fonctionnement peu sûrs doivent être bien identifiés à l'avance pour que les mesures correctives soient prises afin d'éviter la menace possible de l'effondrement de tension. La capacité de prévoir l'effondrement de tension est très importante parce qu'elle peut sauver le système d'une éventualité dont les conséquences sont peu rassurantes.

Le problème d'instabilité de tension est dû à la chute de tension qui se produit quand le chargement sur un réseau radial excède la capacité de ce dernier à maintenir une valeur de la tension dans les limites permises. Brownell et Clark ont rapporté un enregistrement réel de ce phénomène, dans lequel la tension du système s'écroule périodiquement et une compensation réactive pressante doit être fournie pour éviter cet effondrement de tension à répétition.

Une enquête a montré que beaucoup de travail a été effectué sur l'analyse de stabilité de tension des systèmes de transport d'énergie, et une attention semblable doit être réservée aux réseaux de distribution.

Sterling a étudié l'effondrement de tension à un jeu de barres de charge à l'aide du circuit équivalent de Thevenin. Jasmon et lie ont développé un indice de stabilité de tension pour un système soumis à une contrainte. GUBINA et Strmchnik ont également étudié l'analyse de stabilité de tension des réseaux radiaux.

Dans [6],[8] le modèle de système est réduit à un système équivalent unifilaire. Cependant, le système équivalent unifilaire est valide seulement au point de fonctionnement auquel il est obtenu. Le modèle pourrait être suffisant pour un petit changement de modèle de charge autour du point de fonctionnement.

Mais puisque le flux de puissance est fortement non linéaire en nature, même dans un système radial le schéma équivalent unifilaire, ne serait pas suffisant pour évaluer la limite de

stabilité de tension. Une autre limitation de la technique est qu'il ne convient pas à un modèle changeant de charge qui influence considérablement sur le point d'effondrement de tension.

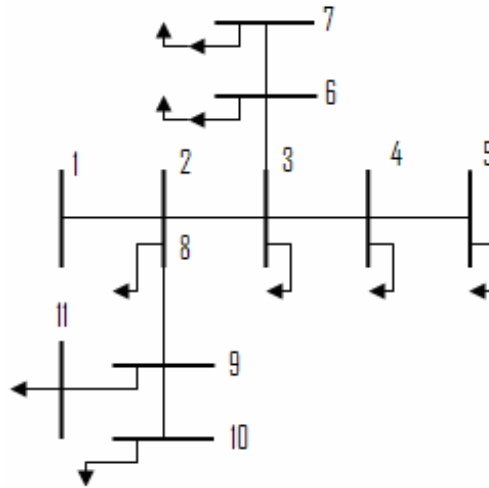
Chakravorty et Das [8] ont proposé une nouvelle technique d'analyse de sensibilité de la tension qui calcule l'indice à chaque nœud et peut identifier le nœud le plus sensible pour l'effondrement de tension. Cependant, leur indice de sensibilité met en jeu une complexité mathématique.

Dans ce chapitre on a étudié une nouvelle méthode de calcul de l'indice de stabilité de tension. Proposé par Ranjan et Venkatesh, et qui calcule la proximité à l'effondrement de tension d'un jeu de barres dans le réseau de distribution de type radial.

L'expression mathématique pour l'indice de stabilité de tension est très simple. En utilisant l'indice, on peut identifier le nœud qui est à la limite de l'effondrement de tension et lancer de ce fait l'action appropriée. Il est montré que le nœud ayant un indice minimum de stabilité de tension est le plus enclin à l'effondrement de tension.

IV.2. Modèle mathématique des réseaux de distribution radiaux :

Il est supposé qu'un réseau de distribution radial triphasé est équilibré et peut être représenté par un diagramme équivalent unifilaire. La capacité shunt du linge est négligée.



FigIV.1. Réseau de distribution radial

La figure.IV.1 montre un exemple d'un diagramme unifilaire équivalent d'un réseau de distribution radial. Si on considère un tronçon du linge entre les jeux de barres 1 et 2 à titre d'exemple. Sa représentation en utilisant les grandeurs électriques est montrée sur la figure IV.2

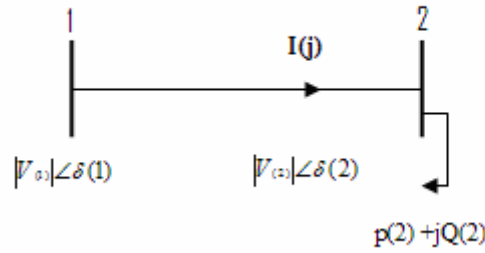


Fig. IV.2 Représentation en fonctions des grandeurs électriques

D'après ce schéma on peut écrire les équations suivantes :

$$I(j) = \frac{|V_1| \angle \delta_1 - |V_2| \angle \delta_2}{Z(j)} \quad (\text{IV.1})$$

$$P_2 - jQ_2 = V_2^* \cdot I(j) \quad (\text{VI.2})$$

Où : $Z(j) = R(j) + j \cdot X(j)$, **1** et **2** sont des nœuds de l'envoi et de la réception respectivement, on considère que j est la branche entre **1** et **2**.

$P(2)$ c'est la somme des puissances actives de tous les nœuds au-delà du nœud **2** plus la puissance active du nœud **2** lui-même .

$Q(2)$ c'est la somme des puissances réactives du nœud **2** lui-même.

$$S_2^* = P_2 - jQ_2 = V_2^* \times I_2 \quad (\text{IV.3})$$

$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{Z_j} \quad (\text{IV.4})$$

$$P_2 - jQ_2 = V_2^* \left(\frac{V_1 - V_2}{R_j + jX_j} \right) \quad (\text{IV.5})$$

$$R_j P_2 - jR_j Q_2 + jX_j P_2 + X_j P_2 = V_1 V_2 (\cos(\delta_1 - \delta_2) + j \sin(\delta_1 - \delta_2)) - V_2^2 \quad (\text{IV.6})$$

$$R_j P_2 + X_j Q_2 + V_2^2 + j(X_j P_2 - R_j Q_2) = V_1 V_2 \cos(\delta_1 - \delta_2) + j V_1 V_2 \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (\text{IV.7})$$

$$R_j P_2 + X_j Q_2 + V_2^2 = V_1 V_2 \cos(\delta_1 - \delta_2) \quad (\text{IV.8})$$

$$X_j P_2 + R_j Q_2 = V_1 V_2 \sin(\delta_1 - \delta_2)$$

$$[(R_j P_2 + X_j Q_2) + V_2^2]^2 + [X_j P_2 - R_j Q_2]^2 = V_1^2 V_2^2 \quad (\text{IV.9})$$

$$(R_j P_2 + X_j Q_2)^2 + 2V_2^2 (R_j P_2 + X_j Q_2) + V_2^4 + (X_j P_2 - R_j Q_2)^2 - V_1^2 V_2^2 = 0 \quad (\text{IV.10})$$

$$V_2^4 + 2V_2^2[(R_j P_2 + X_j Q_2) - \frac{V_1^2}{2}] + (R_j P_2 + X_j Q_2)^2 + (X_j P_2 - R_j Q_2)^2 = 0 \quad (\text{IV.11})$$

$$V_2^4 + 2V_2^2 * A(j) + Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2) = 0 \quad (\text{IV.12})$$

$$\Delta' = A^2(j) - Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2) = B^2(j) \quad (\text{IV.13})$$

$$V_2^2 = -A(j) + \sqrt{A^2(j) - Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2)} = B(j) - A(j) \quad (\text{IV.14})$$

Donc on peut obtenir :

$$|V_2| = \sqrt{(B(j) - A(j))} \quad (\text{IV.15})$$

Avec :

$$A(j) = P_2 * R_j + Q_2 * X_j - 0.5 * |V_1|^2 \quad (\text{IV.16})$$

$$B(j) = \sqrt{\{A^2(j) - Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2)\}} \quad (\text{IV.17})$$

IV .3. Indice de stabilité de la tension :

A partir de l'équation (15) on constate que pour des solutions possibles de la tensions possibles de la tensions au niveau des jeux de barres ; il faut que :

$$B(j) - A(j) \geq 0 \quad (\text{IV.18})$$

$$(B(j) - A(j))^2 \geq 0 \quad (\text{IV.19})$$

Ou bien :

$$\begin{aligned} [B^2(j) + A^2(j)] - 2B(j)A(j) &\geq 0 \\ [B^2(j) - A^2(j)] &\geq 2A(j)[B(j) - A(j)] \end{aligned} \quad (\text{IV.20})$$

Le membre de gauche de l'équation (20) est obtenu à partir de :

$$\begin{aligned} B^2(j) - A^2(j) &= \{A^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2)\} - A^2(j) \\ B^2(j) - A^2(j) &= -Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2) \end{aligned} \quad (\text{IV.21})$$

Des équations (20) et (21) :

$$-Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2) \geq 2A(j)[B(j) - A(j)] \quad (\text{IV.22})$$

Ou bien :

$$Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2) \leq -2A(j)[B(j) - A(j)] \quad (\text{IV.23})$$

Mais comme $Z^2(j) * (P_2^2 + Q_2^2)$ ne peut pas être négatif, et de l'équation (18) on a :

$$B(j) - A(j) > 0 \quad (\text{IV.24})$$

Par conséquent, pour que l'équation (23) existe il faut que :

$$A(j) < 0 \quad (\text{IV.25})$$

Mais l'équation (5),

$$\begin{aligned} P_2 * R(j) + Q_2 * X(j) - 0.5 * |V_1|^2 < 0 \\ 0.5 * |V_1|^2 - P_2 * R(j) - Q_2 * X(j) \end{aligned} \quad (\text{IV.26})$$

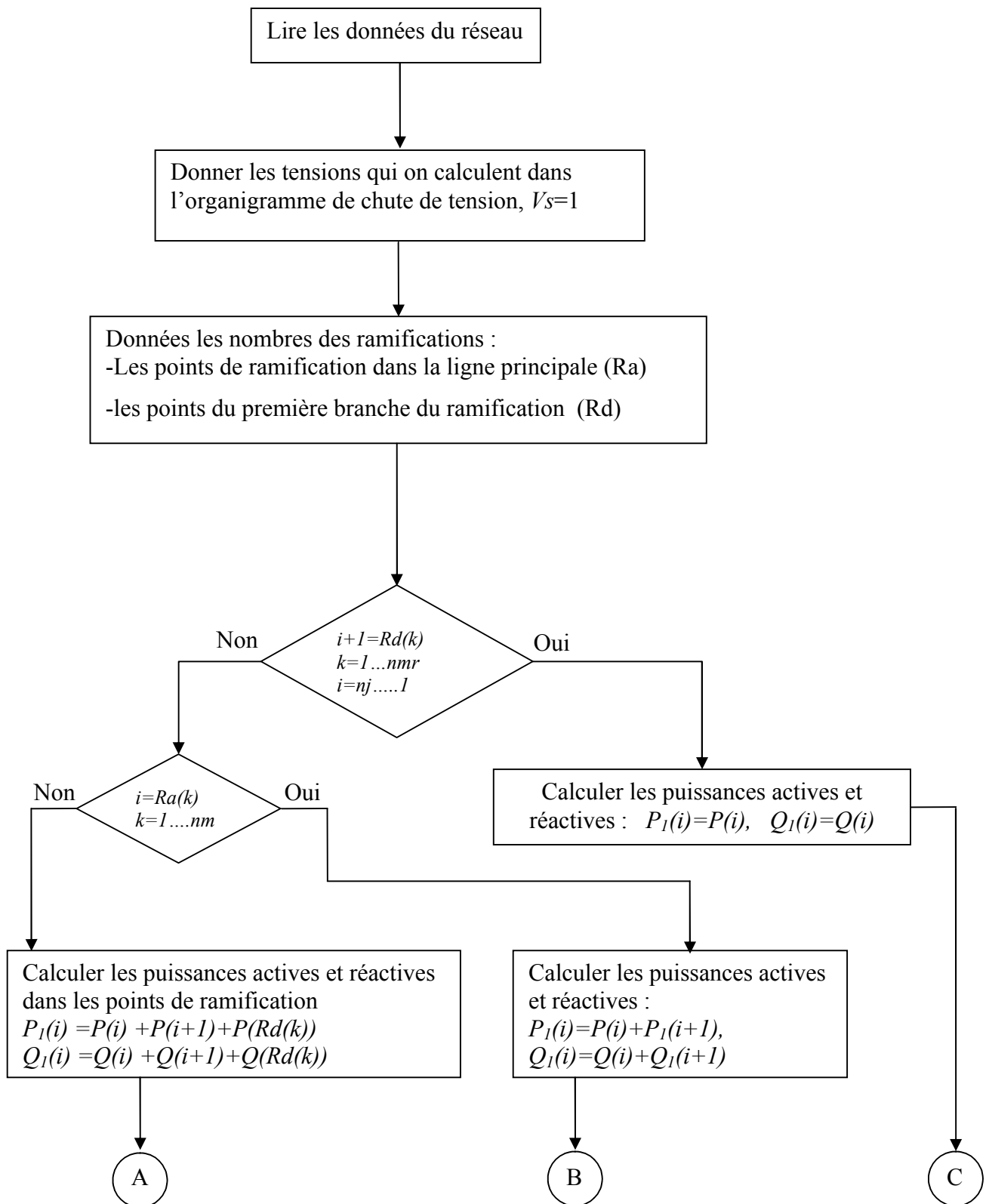
Posons :

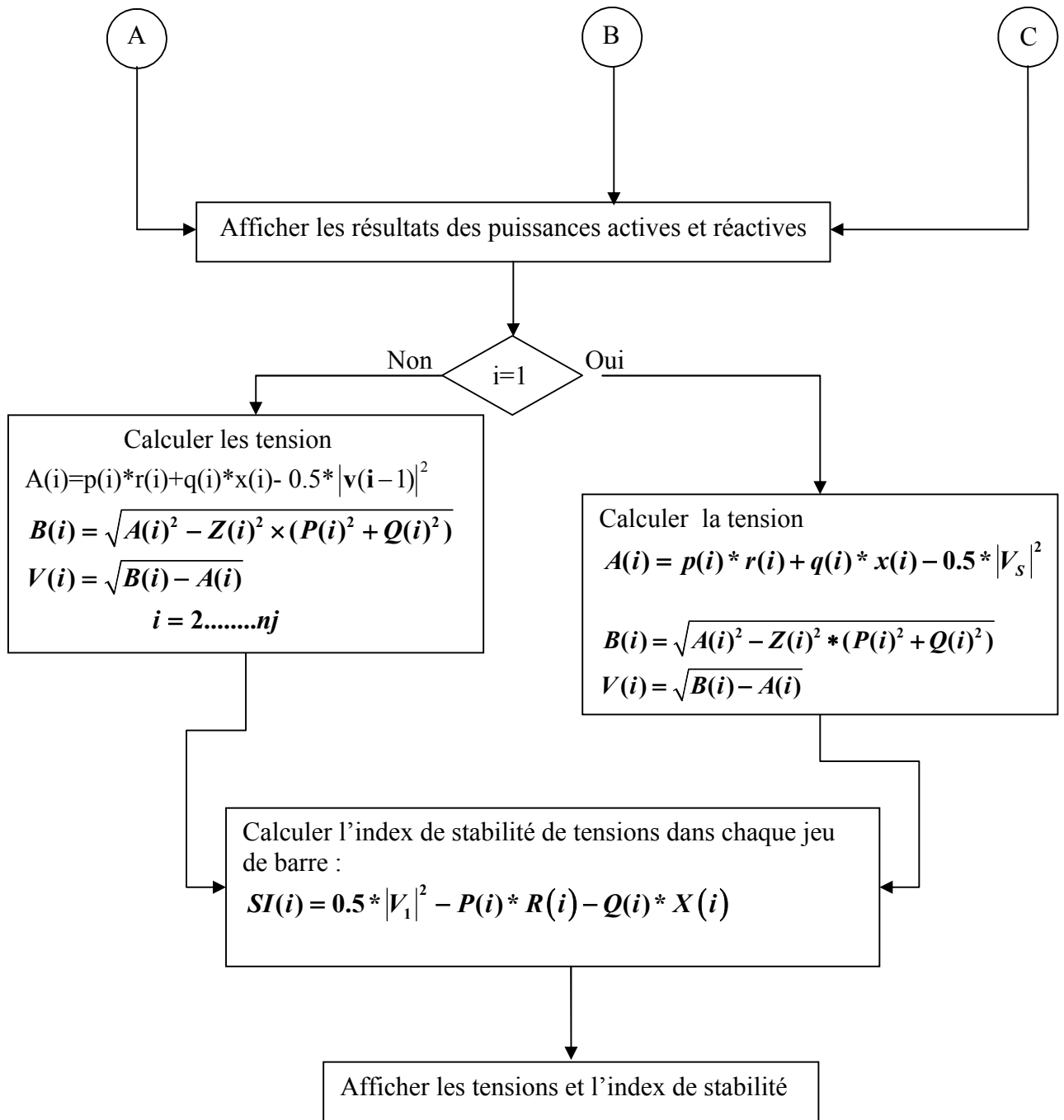
$$SI_2 = 0.5 * |V_1|^2 - P_2 * R(j) - Q_2 * X(j) \quad (\text{IV.27})$$

Où SI_2 est l'indice de la stabilité de tension des nœuds ($i=2,3,\dots,Nb$). Pour un fonctionnement sure et stable il faut que $SI_2 > 0$ pour tous les jeux de barres. Le nœud pour lequel la valeur du SI_2 est minimale est le nœud le plus sensible à l'effondrement de la tension.

Type nappe verticale

IV.3.1 Organigramme de Calcul de L'indice de stabilité





V.1 Les méthodes itératives :

V.1.1 méthode de Gauss-Seidel

Tension de base = 23 kv

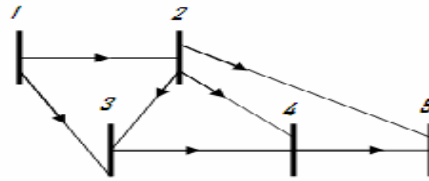


Fig.V.1 Réseau maillé de 5 jeux de barres

Les données du réseau sont :

➤ Admittances des branches:

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & 5-15i & 1.25-3.75i & 0 & 0 \\ 5-15i & 0 & 1.666-5i & 1.666-5i & 2.5-7.5i \\ 1.25-3.75i & 1.666-5i & 0 & 10-30i & 0 \\ 0 & 1.666-5i & 10-30i & 0 & 1.25-3.75i \\ 0 & 2.5-7.5i & 0 & 1.25-3.75i & 0 \end{bmatrix}$$

➤ Admittances des shunts:

$$Y_0 = \begin{bmatrix} 0+0.000i & 0+0.03i & 0+0.0025i & 0 & 0 \\ 0+0.03i & 0 & 0+0.02i & 0+0.02i & 0+0.015i \\ 0+0.025i & 0+0.02i & 0 & 0+0.01i & 0 \\ 0 & 0+0.02i & 0+0.01i & 0 & 0+0.025i \\ 0 & 0+0.015i & 0 & 0+0.0025i & 0 \end{bmatrix}$$

➤ Les puissances actives et réactives :

Jeu de barres	1	2	3	4	5
P	0	0.20	-0.45	-0.40	-0.60
Q	0	0.20	-0.15	-0.05	-0.10

La tension de source $V_s = 1.06$ p.u (jeu de barre n°1)

Les tensions estimées des autres jeux de barres ont toutes un module égal à 1 et un argument égal à 0.

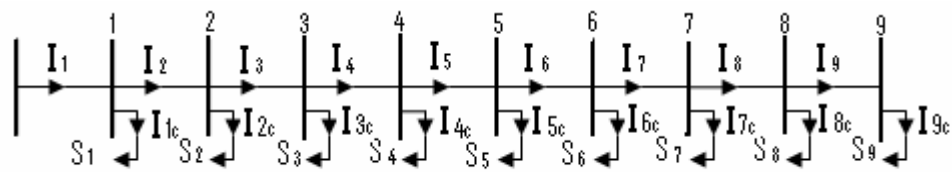
Les résultats du programme ‘Gauss- Seidel’ en termes de tension dans chaque jeu de barre est :

Jeu de barre	1	2	3	4	5
Tension en <i>p.u</i>	1.0600	1.0475	1.0243	1.0237	1.0180

Tableau V.1 Résultats du programme du Gauss-Seidel avec réseau radial

V.1.1.1 Exemple 1:

Le réseau considéré dans notre étude est représenté dans le digramme unifilaire ci-dessous :



FigV.2. Réseau de distribution radial avec branche principale.

Les données du réseau radial avec une seule branche à -10- jeux de barres sont :

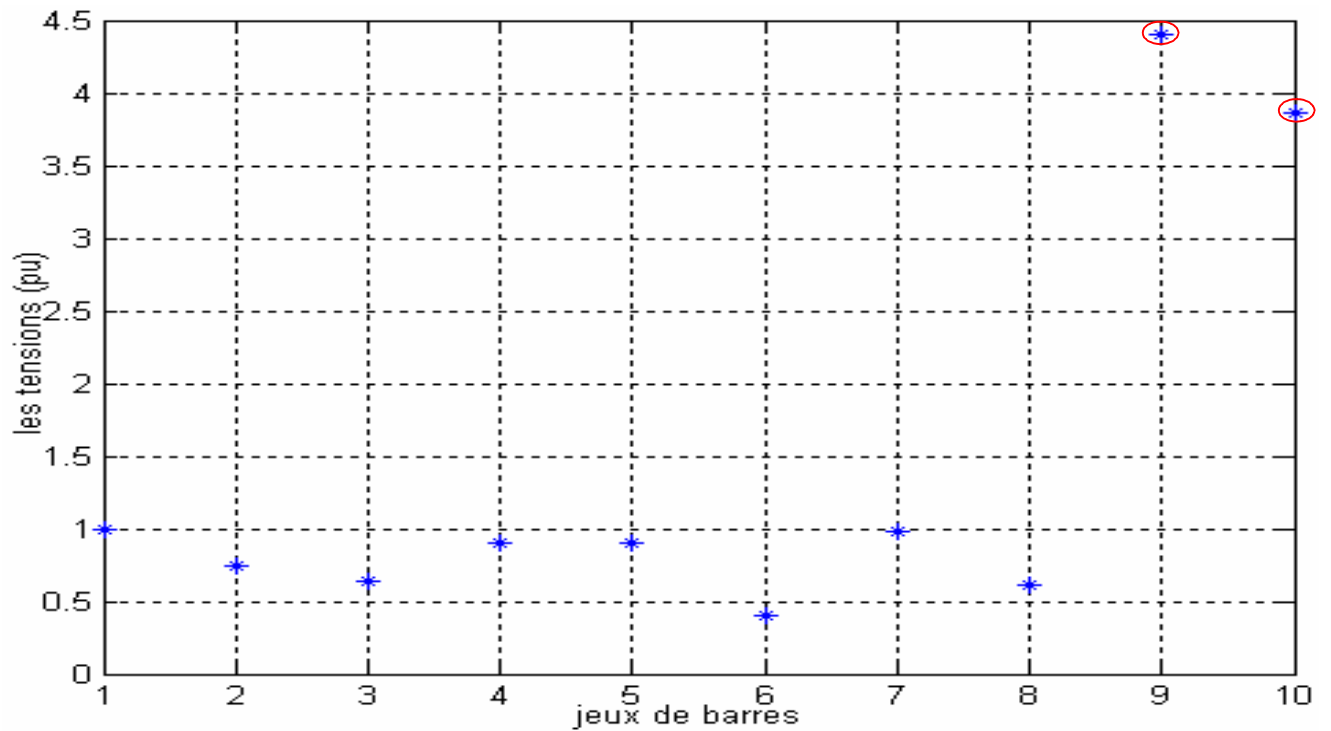
La tension de base est égale à 23kV, la puissance de base est égale à 4186 kVA

Numéro branche	Nœuds de départ	Nœuds D'arrivée	$R (\Omega)$	$X (\Omega)$	$P (kW)$	$Q (kVA)$
1	1	2	0.1233	0.4127	1840	460
2	2	3	0.2466	0.6051	980	340
3	3	4	0.7463	1.2050	1790	446
4	4	5	0.6984	0.6084	1598	1840
5	5	6	1.9831	1.7276	1610	600
6	6	7	0.9053	0.7886	780	110
7	7	8	2.0552	1.1640	1150	60
8	8	9	4.7953	2.7160	980	130
9	9	10	5.3434	3.0264	1640	200

Le travail est fait en unités relatives et par conséquent on choisit les tensions estimées de tous les jeux de barres avec un module égal à 1 et un argument égale à 0.

Les résultats du programme de la méthode de Gauss-seidel avec réseau radial nous donnent les tensions aux jeux de barres suivantes :

Jeu de barres	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tension	1	0.7386	0.6394	0.8983	0.8972	0.3960	0.9764	0.6065	4.3976	3.8648



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres par la méthode de Gauss-Seidel (Réseau radial de 10 JB)

V.1.2 Méthode de Newton Raphson :

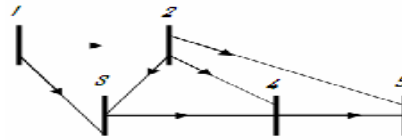


Fig.V.3 réseau maillé à -5- jeux de barres

Les données du réseau à -5- jeux de barres sont :

➤ Admittances des branches:

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & 5-15i & 1.25-3.75i & 0 & 0 \\ 5-15i & 0 & 1.666-5i & 1.666-5i & 2.5-7.5i \\ 1.25-3.75i & 1.666-5i & 0 & 10-30i & 0 \\ 0 & 1.666-5i & 10-30i & 0 & 1.25-3.75i \\ 0 & 2.5-7.5i & 0 & 1.25-3.75i & 0 \end{bmatrix}$$

➤ Admittances des shunts:

$$Y_0 = \begin{bmatrix} 0+0.000i & 0+0.03i & 0+0.0025i & 0 & 0 \\ 0+0.03i & 0 & 0+0.02i & 0+0.02i & 0+0.015i \\ 0+0.025i & 0+0.02i & 0 & 0+0.01i & 0 \\ 0 & 0+0.02i & 0+0.01i & 0 & 0+0.025i \\ 0 & 0+0.015i & 0 & 0+0.0025i & 0 \end{bmatrix}$$

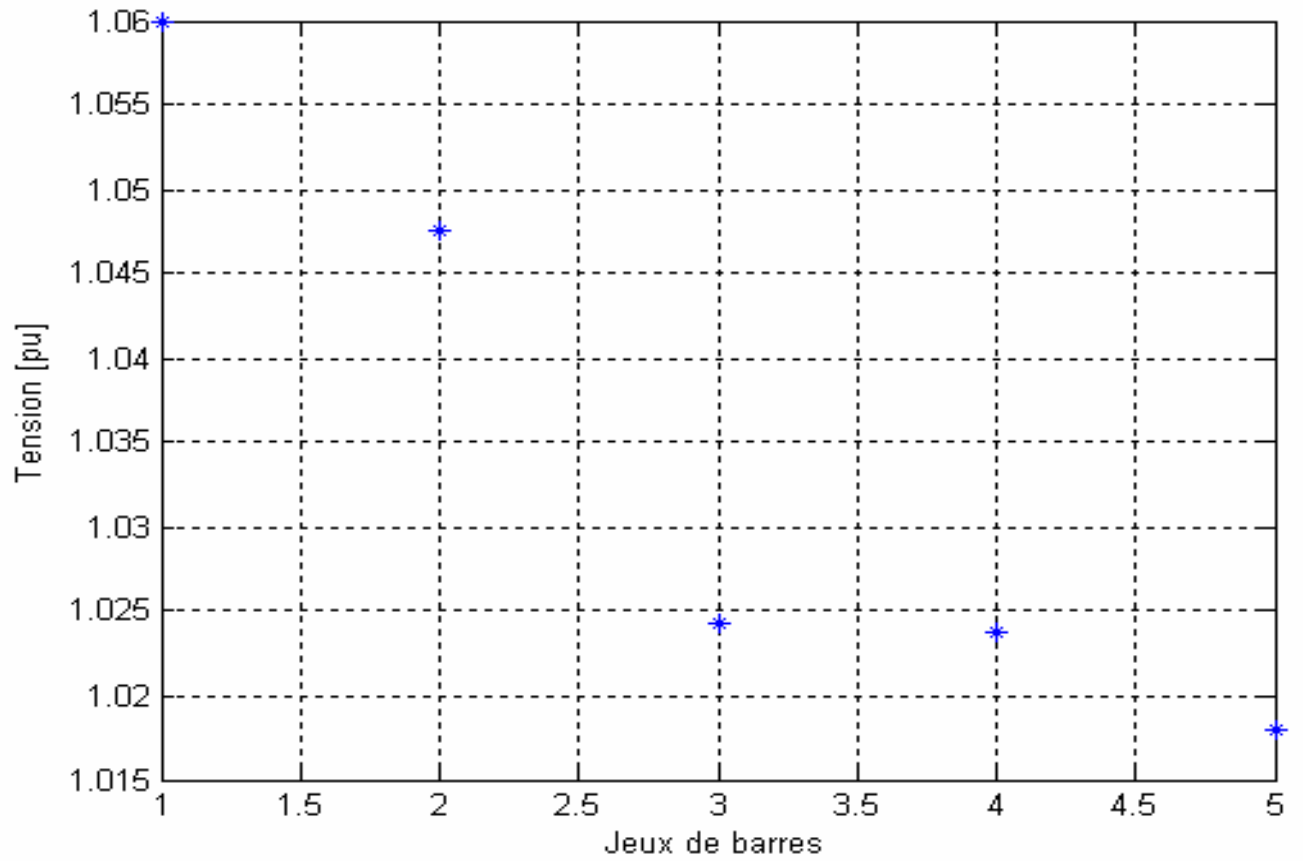
➤ Les puissances actives et réactives :

Jeu de barres	1	2	3	4	5
P	0	0.20	-0.45	-0.40	-0.60
Q	0	0.20	-0.15	-0.05	-0.10

La tension de source $V_s = 1.06$ p.u (jeu de barre n°1). Les tensions estimées des autres jeux de barres ont toutes un module égal à 1 et un argument égal à 0.

Les résultats du programme en terme de tension dans chaque jeu de barre sont :

Jeu de barre	1	2	3	4	5
Tension en p.u	1.0600	1.0475	1.0243	1.0237	1.0180



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres
par la méthode de Newton-Raphson (Réseau maillé de 5 JB)

V.2. La méthode de chute de la tension

Cette méthode a été appliquée sur deux exemples de réseaux de distribution radiaux. Le premier est un réseau à une seule branche et le deuxième est d'une branche principale et de plusieurs ramifications.

V.2.1 Exemple 1

Le réseau considéré dans notre étude est représenté dans le digramme unifilaire ci-dessous :

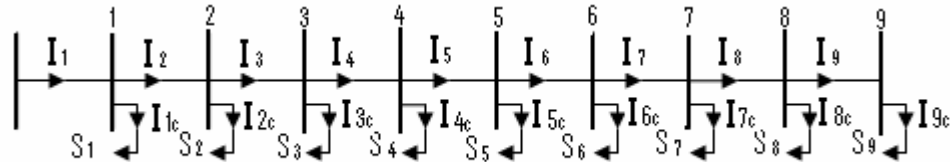


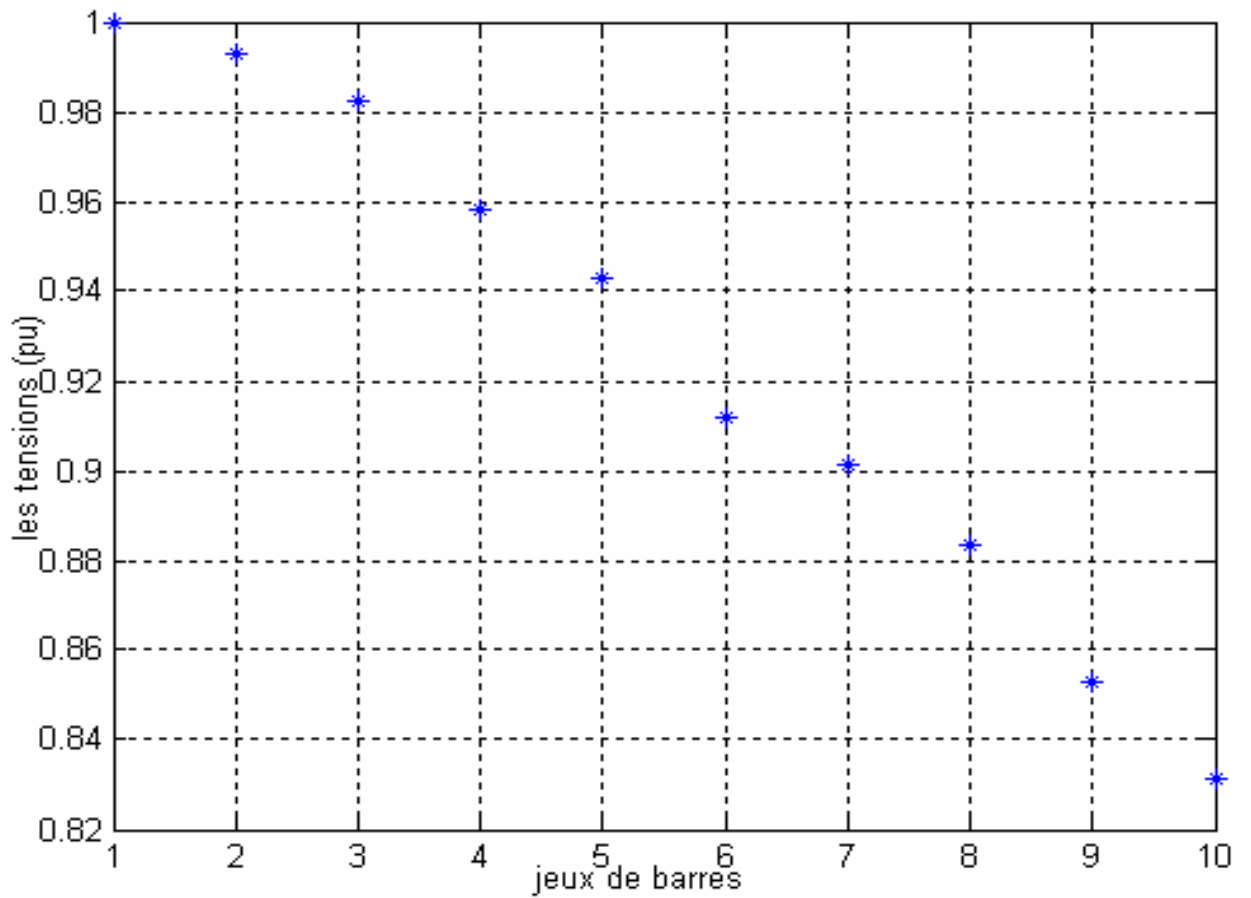
Fig.V.4 Réseau de distribution radial avec branche principale.

Les données du réseau radial avec une seule branche à -10- jeux de barres sont : La tension de base est égale à 23kV, la puissance de base est égale à 4186 KVA

Numéro branche	Nœuds de départ	Nœuds D'arrivée	$R (\Omega)$	$X (\Omega)$	$P (kW)$	$Q (kVA)$
1	1	2	0.1233	0.4127	1840	460
2	2	3	0.2466	0.6051	980	340
3	3	4	0.7463	1.2050	1790	446
4	4	5	0.6984	0.6084	1598	1840
5	5	6	1.9831	1.7276	1610	600
6	6	7	0.9053	0.7886	780	110
7	7	8	2.0552	1.1640	1150	60
8	8	9	4.7953	2.7160	980	130
9	9	10	5.3434	3.0264	1640	200

Le travail est fait en unités relatives et par conséquent on choisit les tensions estimées de tous les jeux de barres avec un module égal à 1 et un argument égale à 0. Les résultats du programme de la méthode de la chute de tension nous donne les tensions aux jeux de barres suivantes :

Jeu de barres	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tension	1	0.9929	0.9823	0.9582	0.9427	0.9116	0.9015	0.8832	0.8527	0.8314



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres
avec la méthode de la chute de tension (Réseau radial de 10 JB)

Nous remarquons que les valeurs des tensions se diminuent en éloignant du jeu de barres source. Ces résultats obtenus à l'aide du programme informatique que nous avons développé sont très proches (presque identiques) à ceux obtenus par Mr. HAMOUDA dans son travail de doctorat.

V.2.2 Exemple 2

Le réseau considéré est représenté dans le diagramme unifilaire ci- dessous :

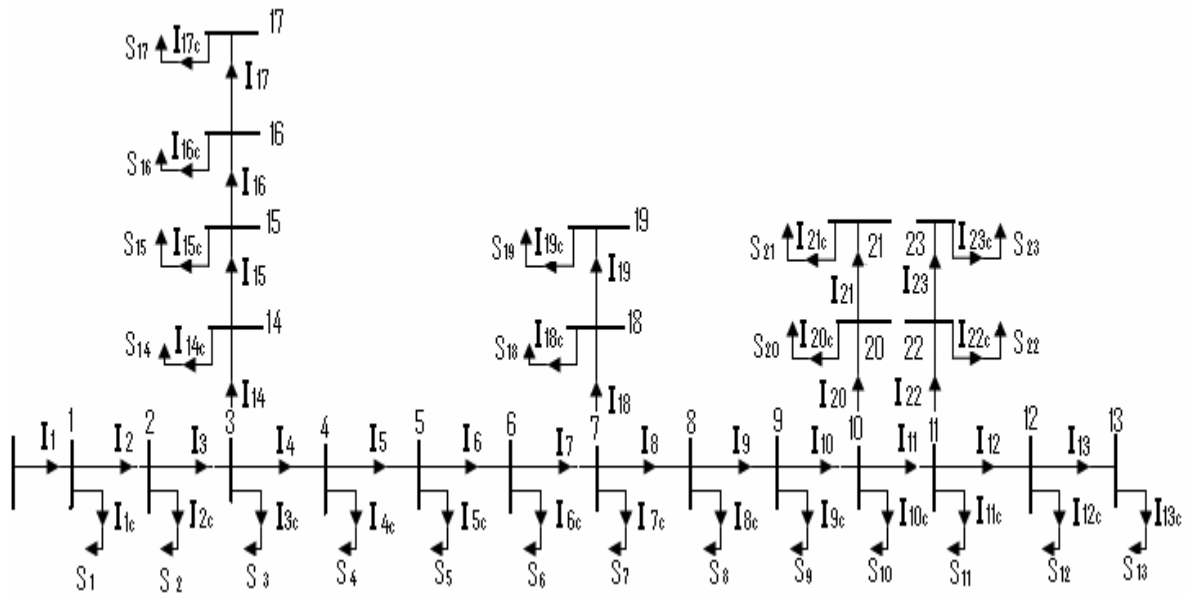


Fig.V.5 Réseau de distribution radial de 24 jeux de barres (branche principale avec 4 ramifications).

Les données du réseau de distribution radial à branche principale avec des ramifications contiennent 24 jeux de barres.

La tension de base est égale à 12 KV, la puissance de base est égale à 100 MVA

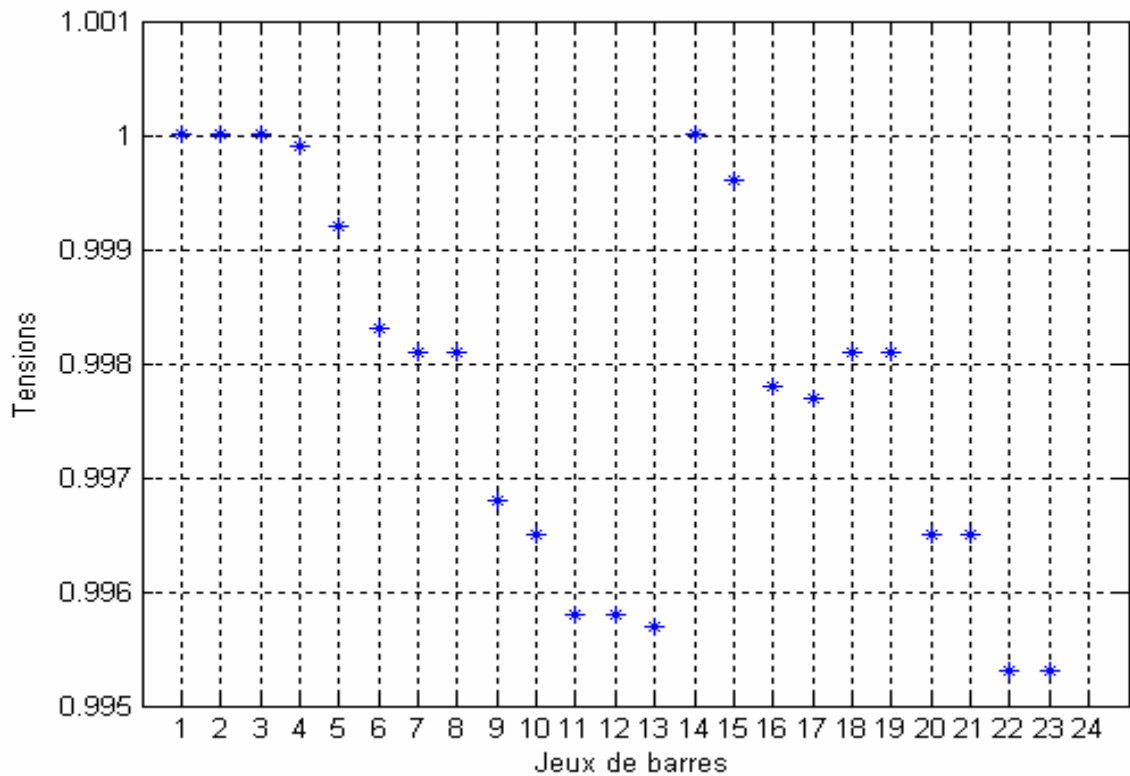
Numéro de La branche	Noeuds de départ	Nœuds D'arrivée	R (Ω)	X (Ω)	P (kW)	Q (kVAR)
1	source	1	0.0005	0.0012	0.0000	0.0000
2	1	2	0.0005	0.0012	0.0000	0.0000
3	2	3	0.0015	0.0036	0.0000	0.0000
4	3	4	0.0251	0.0294	0.0000	0.0000
5	4	5	0.3660	0.1864	2.6000	2.2000
6	5	6	0.3811	0.1964	40.400	30.000
7	6	7	0.0922	0.0470	75.000	54.000
8	7	8	0.0493	0.0251	30.000	22.000
9	8	9	0.8190	0.2707	28.000	19.000
10	9	10	0.1872	0.0619	145.00	104.00
11	10	11	0.7114	0.2351	145.00	104.00

12	11	12	1.0300	0.3400	8.0000	5.0000
13	12	13	1.0440	0.3450	8.0000	5.5000
14	3	14	0.0034	0.0084	0.0000	0.0000
15	14	15	0.0851	0.2083	79.000	56.400
16	15	16	0.2898	0.7091	384.70	274.50
17	16	17	0.0822	0.2011	384.70	274.50
18	7	18	0.0928	0.0473	40.500	28.300
19	18	19	0.3319	0.1114	3.6000	2.7000
20	10	20	0.2012	0.0611	18.000	13.000
21	20	21	0.0047	0.0014	18.000	13.000
22	11	22	0.7394	0.2444	28.000	20.000
23	22	23	0.0047	0.0016	281.00	20.000

Le travail fait en unités relatives et par conséquent on choisit les tensions estimées de tous les jeux de barres avec un module égal à 1 et un argument égal à 0.

Les résultats du programme de la méthode de la chute de tension nous donne les tensions aux jeux de barres suivantes :

Numéro du Jeu de barres	tension	Numéro du Jeu de barres	tension	Numéro du Jeu de barres	tension
1	1	9	0.9968	17	0.9977
2	1	10	0.9965	18	0.9981
3	1	11	0.9958	19	0.9981
4	0.9999	12	0.9958	20	0.9965
5	0.9992	13	0.9957	21	0.9965
6	0.9983	14	1	22	0.9953
7	0.9981	15	0.9996	23	0.9953
8	0.9981	16	0.9978		



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres
par la méthode de la chute de tension (Réseau radial de 28 JB)

Nous remarquons que les valeurs des tensions se diminuent en éloignant du jeu de barres source, ou les jeux de barres de ramifications vers les fins.

Ces résultats obtenus à l'aide du programme informatique que nous avons développé sont très proches (presque identiques) à ceux obtenus par Mr. HAMOUDA dans son travail de doctorat .

V.3 L'indice de stabilité de la tension

Dans cette partie du travail on a considéré un troisième réseau de distribution radial constitué d'une branche principale et de plusieurs ramifications et comportant 28 jeux de barres .Il y a lieu de signaler que l'étude se fait en deux étapes. La première c'est la détermination des tensions aux différents jeux de barres et la deuxième c'est la détermination des indices de stabilité de la tension au niveau de ces jeux de barres.

Le réseau considéré dans notre étude est représenté dans le diagramme unifilaire ci-dessous :

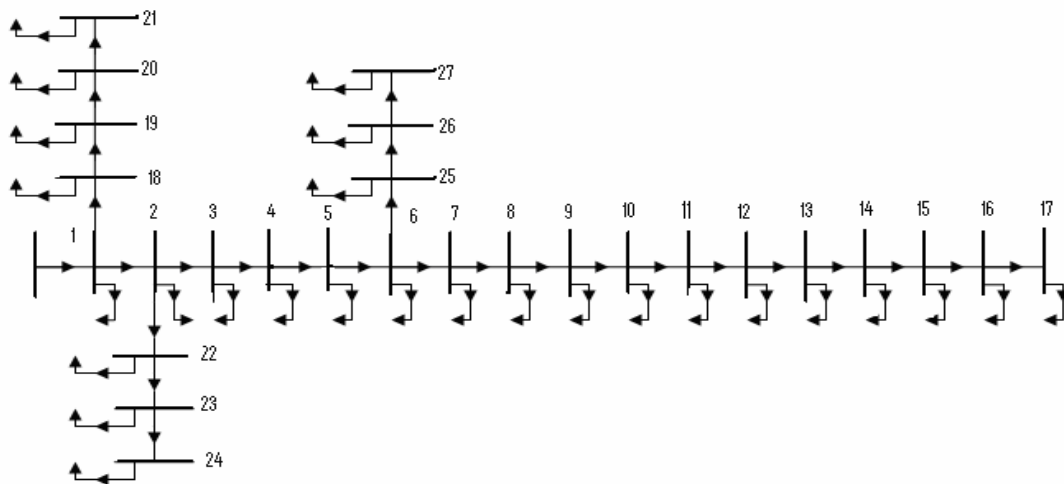


Fig.V.6 Réseau de distribution radial constitué d'une branche principale et de 3 ramifications (28 jeux de barres).

Les données du réseau de distribution radial à branche principal avec trois ramifications contiennent 28 jeux de barres.

La tension de base est égale 11KV, la puissance de base est égale 100MVA

Numéro de la branche	Nœuds de départ	Nœud d'arrivée	R (Ω)	X (Ω)	P (kW)	Q (kVAr)
1	0	1	1.8216	0.7580	140.00	90.000
2	1	2	2.2270	0.9475	80.000	50.000
3	2	3	1.3562	0.5685	80.000	60.000
4	3	4	0.9180	0.3790	100.00	60.000
5	4	5	3.6432	1.5160	80.000	50.000
6	5	6	2.7324	1.1370	90.000	40.000
7	6	7	1.4573	0.6064	90.000	40.000
8	7	8	2.7324	1.1370	80.000	50.000
9	8	9	3.6432	1.5160	90.000	50.000
10	9	10	2.7520	0.7780	80.000	50.000
11	10	11	1.3760	0.3890	80.000	40.000
12	11	12	4.1280	1.1670	90.000	50.000

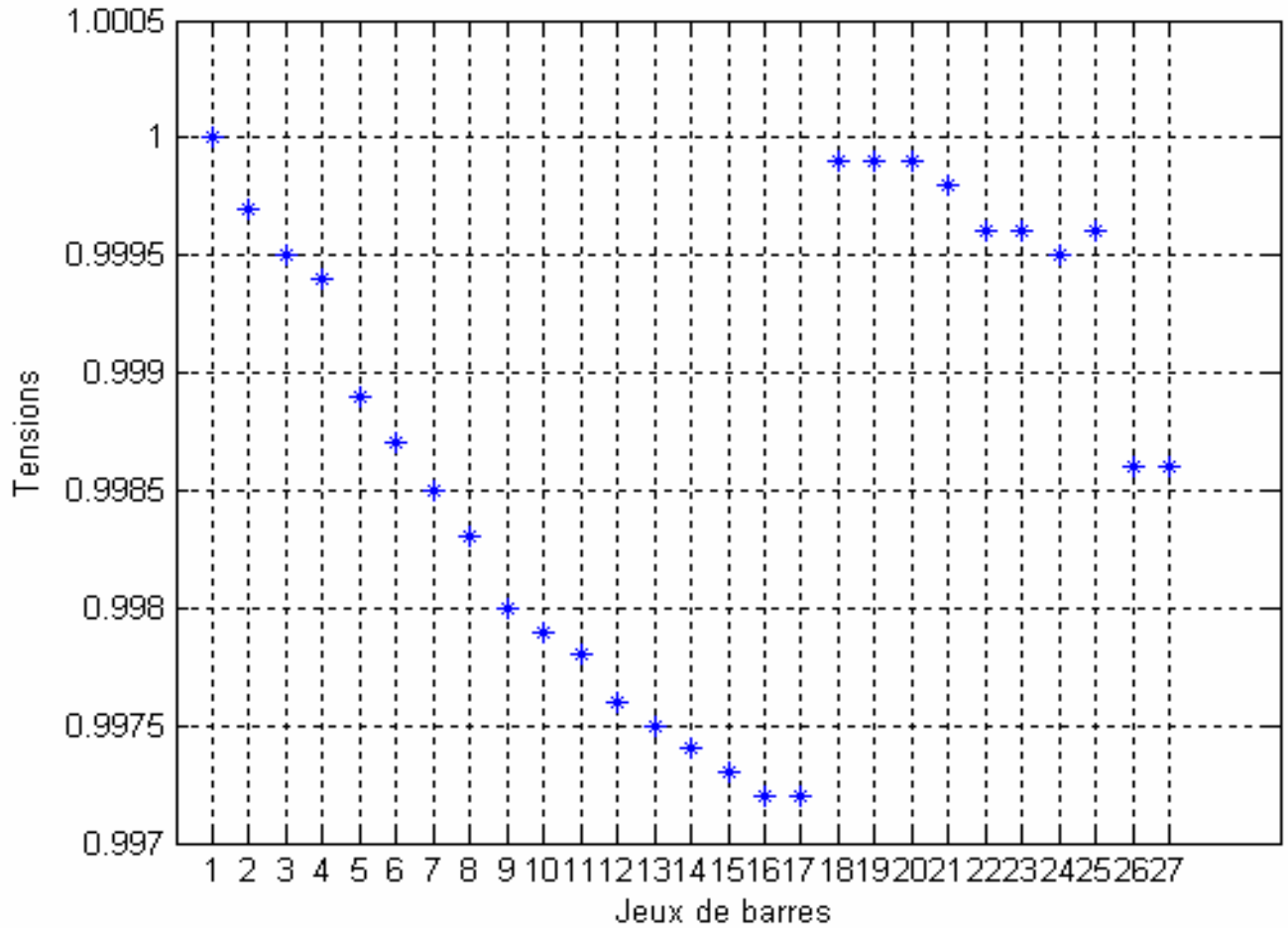
13	12	13	4.1280	0.8558	70.000	40.000
14	13	14	3.0272	0.7780	70.000	40.000
15	14	15	2.7520	1.1670	70.000	40.000
16	15	16	4.1280	0.7780	60.000	30.000
17	16	17	2.7520	0.7780	60.000	30.000
18	1	18	3.4400	0.9725	70.000	40.000
19	18	19	1.3760	0.3890	50.000	30.000
20	19	20	2.7520	0.7780	50.000	30.000
21	20	21	4.9536	1.4004	40.000	20.000
22	2	22	3.5776	1.0114	50.000	30.000
23	22	23	3.0272	0.8558	50.000	20.000
24	23	24	5.5040	1.5560	60.000	30.000
25	6	25	2.7520	0.7780	40.000	20.000
26	25	26	1.3760	0.3890	40.000	20.000
27	26	27	1.3760	0.3890	40.000	20.000

Le travail est fait en unités relatives et par conséquent on choisit les tensions estimées de tous les jeux de barres avec un module égal à 1 et un argument égale à 0 .

Les résultats du programme de la méthode de la chute de tension nous donne les tensions aux niveaux des jeux de barres suivantes :

Les tensions sans considération des pertes :

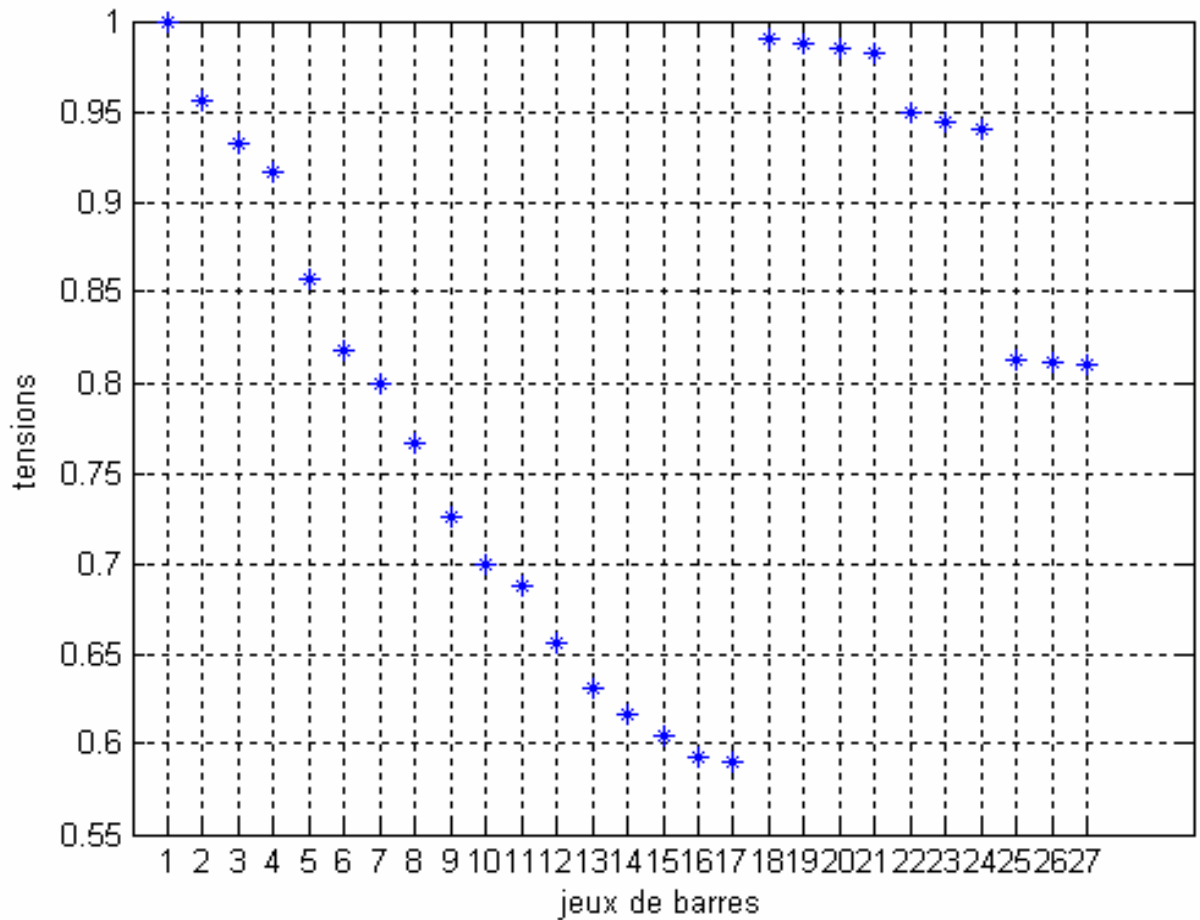
Numéro du Jeu de barres	tension	Numéro du Jeu de barres	tension	Numéro du Jeu de barres	tension
1	1	10	0.9979	19	0.9999
2	0.9997	11	0.9978	20	0.9999
3	0.9995	12	0.9976	21	0.9998
4	0.9994	13	0.9975	22	0.9996
5	0.9989	14	0.9974	23	0.9996
6	0.9987	15	0.9973	24	0.9995
7	0.9985	16	0.9972	25	0.9996
8	0.9983	17	0.9972	26	0.9986
9	0.9980	18	0.9999	27	0.9986



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres avec la méthode de la chute de tension sans considération des pertes (Réseau radial de 28 JB)

Les tensions avec considération des pertes :

Numéro du Jeu de barres	tension	Numéro du Jeu de barres	tension	Numéro du Jeu de barres	tension
1	1.0000	10	0.6990	19	0.9881
2	0.9563	11	0.6875	20	0.9843
3	0.9319	12	0.6560	21	0.9824
4	0.9160	13	0.6315	22	0.9487
5	0.8571	14	0.6161	23	0.9440
6	0.8178	15	0.6040	24	0.9407
7	0.7989	16	0.5927	25	0.8127
8	0.7661	17	0.5900	26	0.8108
9	0.7251	18	0.9906	27	0.8102



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres
par la méthode de la chute de tension avec considération des pertes (Réseau radial de 28 JB)

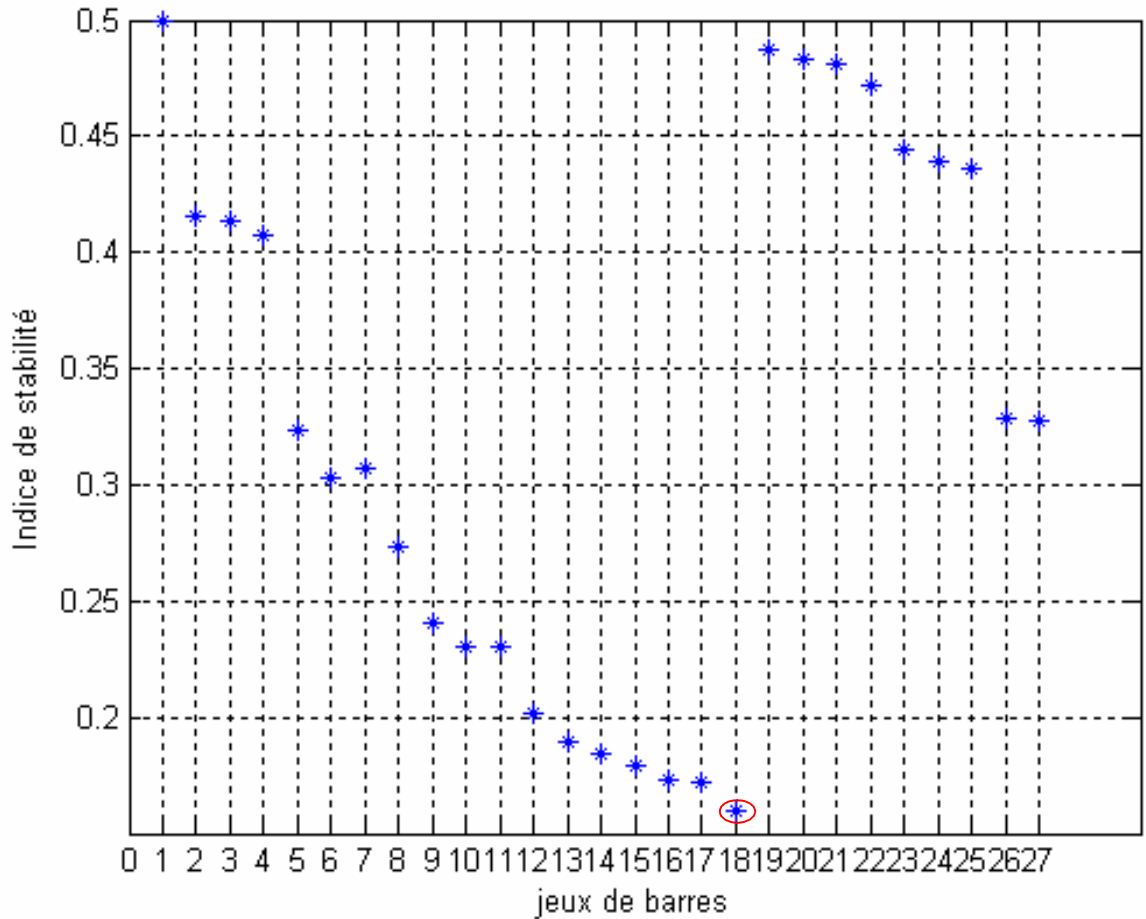
Nous remarquons que les valeurs des tensions se diminuent en éloignant du jeu de barres source, ou les jeux de barres de ramifications vers les fins.

Ces résultats obtenus à l'aide du programme informatique que nous avons développé sont très proches (presque identiques) à ceux obtenus par Mr. HAMOUDA (Réf 1) dans son travail de doctorat et par Mr. DAS dans son travail sur un exemple similaire (Réf 2), (prenant en compte les arrondissements des chiffres par le MATLAB).

Les valeurs de l'indice de stabilité :

Numéro du jeu de barres	Indice de stabilité	Numéro du jeu de barres	Indice de stabilité	Numéro du jeu de barres	Indice de stabilité
1	0.5000	10	0.2305	19	0.4870
2	0.4157	11	0.2305	20	0.4834
3	0.4139	12	0.2019	21	0.4807
4	0.4070	13	0.1894	22	0.4717

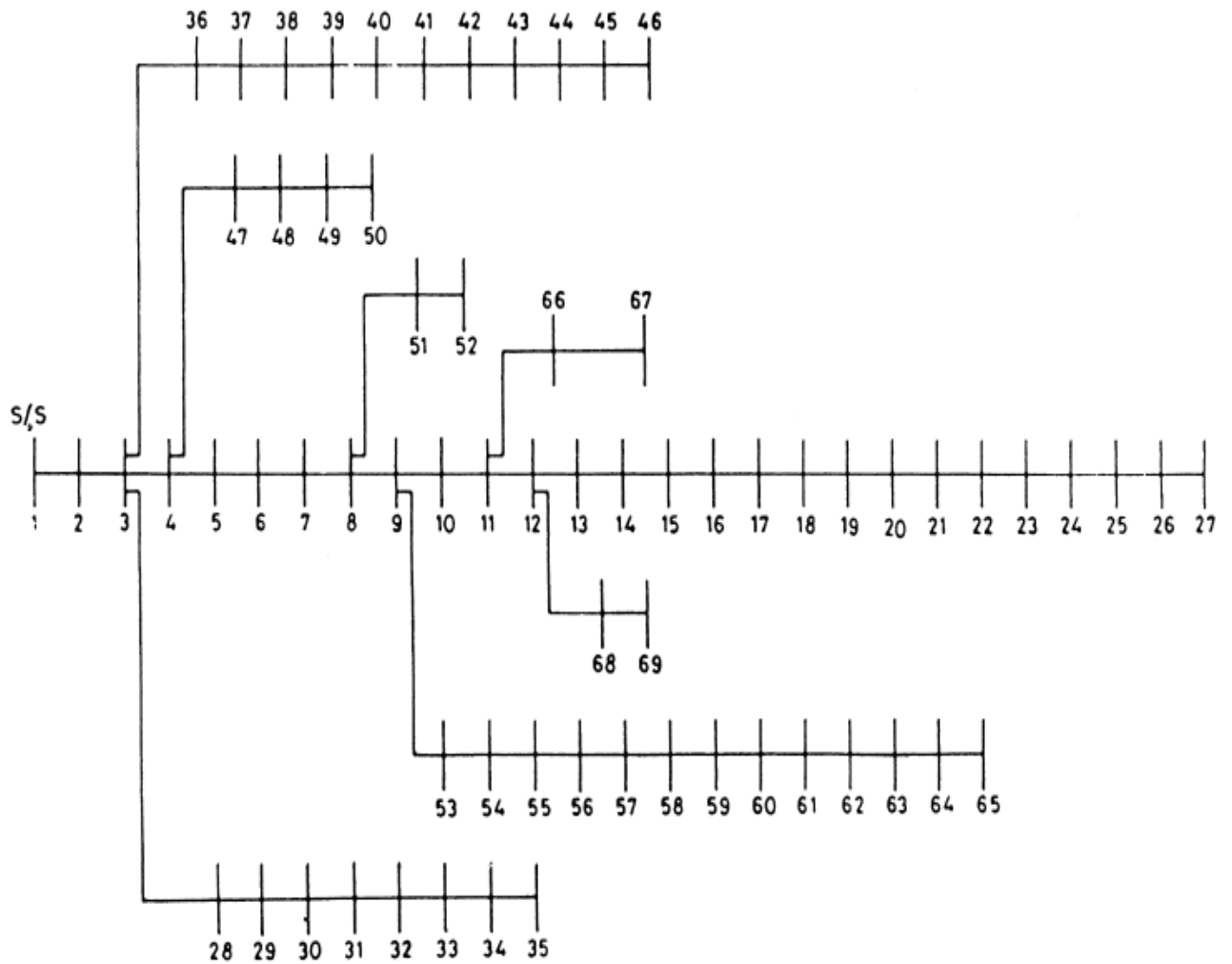
5	0.3235	14	0.1844	23	0.4438
6	0.3026	15	0.1791	24	0.4393
7	0.3067	16	0.1734	25	0.4362
8	0.2731	17	0.1725	26	0.3282
9	0.2401	18	0.1601	27	0.3277



La répartition des indices de stabilités au niveau des jeux de barres par la méthode de la chute de tension avec considération des pertes (Réseau radial de 28 JB)

Le jeu de barres qui a le plus petit indice est le jeu de barres (18) dont la tension risque de s'écrouler.

V.5.Exemple n°3 : Réseau radial de 69 jeux de barres :



Numéro de la branche	Nœuds de départ	Nœud d'arrivée	R (ohm)	X (ohm)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	2	0.0005	0.0012	0	0
2	2	3	0.0005	0.0012	0	0
3	3	4	0.0015	0.0036	0	0
4	4	5	0.0251	0.0294	0	0
5	5	6	0.3660	0.1864	2.6	2.2
6	6	7	0.3811	0.1941	40.4	30
7	7	8	0.0922	0.0470	75	54
8	8	9	0.0493	0.0251	30	22
9	9	10	0.8190	0.2707	28	19
10	10	11	0.1872	0.0619	145	104
11	11	12	0.7114	0.2351	145	104

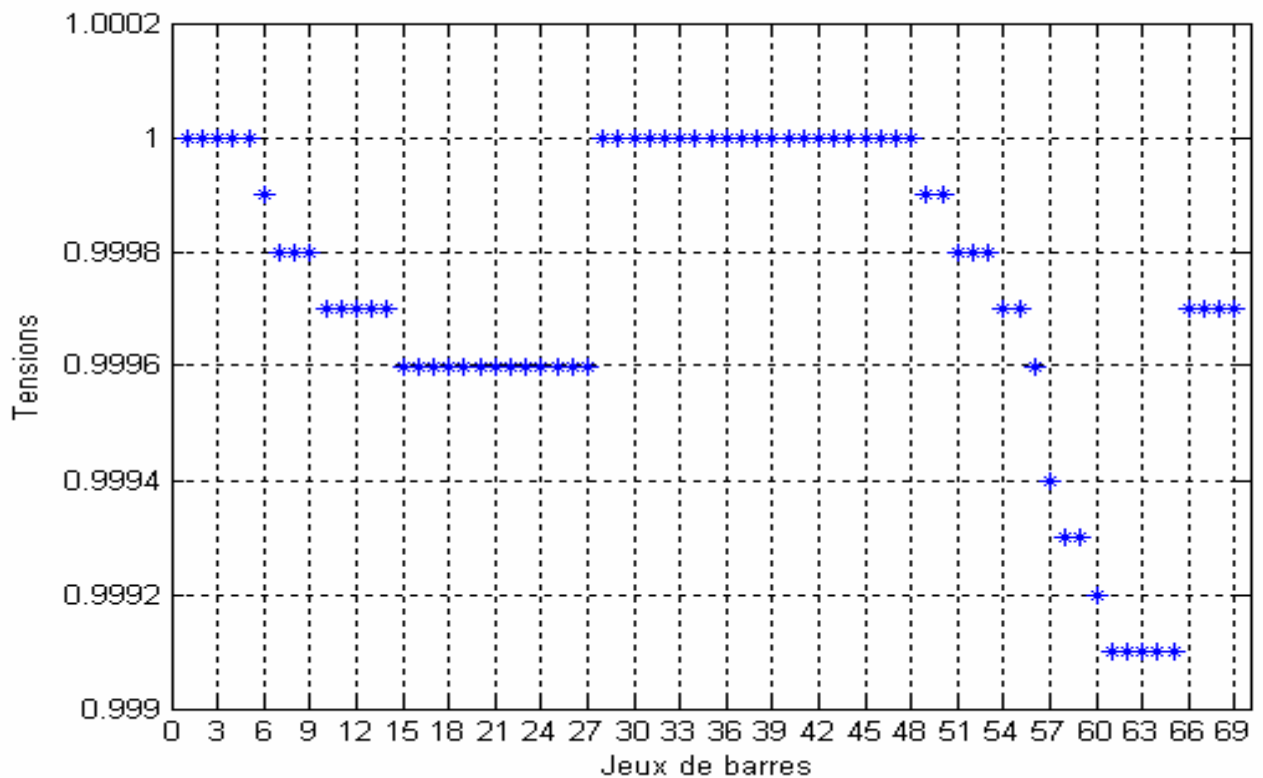
12	12	13	1.0300	0.3400	8	5
13	13	14	1.0400	0.3450	8	5.5
14	14	15	1.0580	0.3496	0	0
15	15	16	0.1966	0.0650	45.5	30
16	16	17	0.3744	0.1238	60	35
17	17	18	0.0047	0.0016	60	35
18	18	19	0.3276	0.1083	0	0
19	19	20	0.2106	0.0690	1	0.6
20	20	21	0.3416	0.1129	114	81
21	21	22	0.0140	0.0046	5	3.5
22	22	23	0.1591	0.0526	0	0
23	23	24	0.3463	0.1145	28	20
24	24	25	0.7488	0.2475	0	0
25	25	26	0.3089	0.1021	14	10
26	26	27	0.1732	0.0572	14	10
27	3	28	0.0044	0.0108	26	18.6
28	28	29	0.0640	0.1565	26	18.6
29	29	30	0.3978	0.1315	0	0
30	30	31	0.0702	0.0232	0	0
31	31	32	0.3510	0.1160	0	0
32	32	33	0.8390	0.2816	14	10
33	33	34	1.7080	0.5646	9.5	14
34	34	35	1.4740	0.4873	6	4
35	3	36	0.0044	0.0108	26	18.55
36	36	37	0.0640	0.1565	26	18.55
37	37	38	0.1053	0.1230	0	0
38	38	39	0.0304	0.0355	24	17
39	39	40	0.0018	0.0021	24	17
40	40	41	0.7283	0.8509	1.2	1
41	41	42	0.3100	0.3623	0	0
42	42	43	0.0410	0.0478	6	4.3
43	43	44	0.0092	0.0116	0	0
44	44	45	0.1089	0.1373	39.22	26.3
45	45	46	0.0009	0.0012	39.22	26.3

46	4	47	0.0034	0.0084	0	0
47	47	48	0.0851	0.2083	79	56.4
48	48	49	0.2898	0.7091	384.7	274.5
49	49	50	0.0822	0.2011	384.7	274.5
50	8	51	0.0928	0.0473	40.5	28.3
51	51	52	0.3319	0.1114	3.6	2.7
52	9	53	0.1740	0.0886	4.35	3.5
53	53	54	0.2030	0.1034	26.4	19
54	54	55	0.2842	0.1447	24	17.2
55	55	56	0.2813	0.1433	0	0
56	56	57	1.5900	0.5337	0	0
57	57	58	0.7837	0.2630	0	0
58	58	59	0.3042	0.1006	100	72
59	59	60	0.3861	0.1172	0	0
60	60	61	0.5075	0.2585	1244	888
61	61	62	0.0974	0.0496	32	23
62	62	63	0.1450	0.0738	0	0
63	63	64	0.7105	0.3619	227	162
64	64	65	0.0410	0.5302	59	42
65	11	66	0.2012	0.0611	18	13
66	66	67	0.0047	0.0014	18	13
67	12	68	0.3794	0.2444	28	20
68	68	69	0.0047	0.0016	28	20

Les tensions sans considération des pertes :

N° de jeu De barres	Tension	N° de jeu De barres	Tension	N° de jeu De barres	Tension
1	1	24	0.9996	47	1
2	1	25	0.9996	48	1
3	1	26	0.9996	49	0.9999
4	1	27	0.9996	50	0.9999
5	1	28	1	51	0.9998
6	0.9999	29	1	52	0.9998
7	0.9998	30	1	53	0.9998
8	0.9998	31	1	54	0.9997

9	0.9998	32	1	55	0.9997
10	0.9997	33	1	56	0.9996
11	0.9997	34	1	57	0.9994
12	0.9997	35	1	58	0.9993
13	0.9997	36	1	59	0.9993
14	0.9997	37	1	60	0.9992
15	0.9996	38	1	61	0.9991
16	0.9996	39	1	62	0.9991
17	0.9996	40	1	63	0.9991
18	0.9996	41	1	64	0.9991
19	0.9996	42	1	65	0.9991
20	0.9996	43	1	66	0.9997
21	0.9996	44	1	67	0.9997
22	0.9996	45	1	68	0.9997
23	0.9996	46	1	69	0.9997

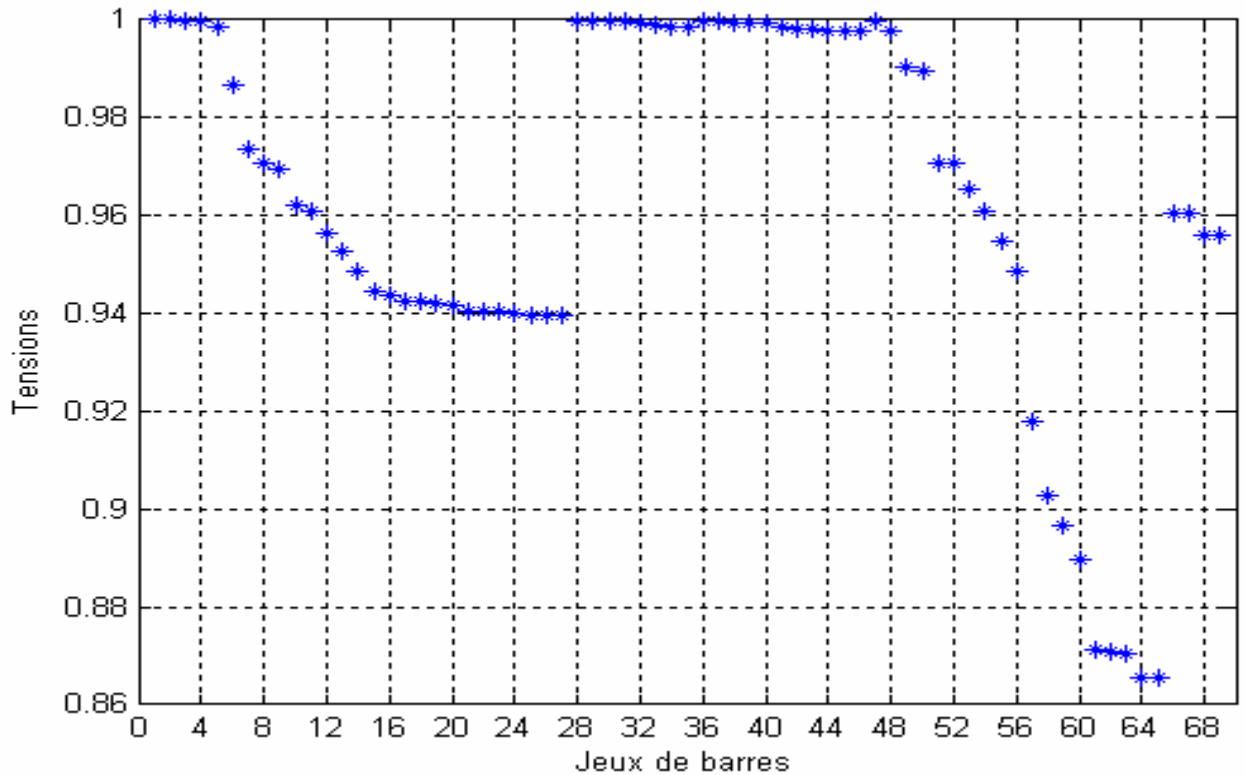


La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres par la méthode de la chute de tension sans considération des pertes (Réseau radial de 69 JB)

La tension avec considération des pertes et l'indice de stabilité de chaque jeu de barres :

N° de jeu De barres	Tension	Indice de stabilité	N° de jeu De barres	Tension	Indice de stabilité
1	1	0.5000	28	0.9999	0.4414
2	1	0.4999	29	0.9998	0.4997
3	0.9999	0.4999	30	0.9996	0.4995
4	0.9998	0.4997	31	0.9996	0.4996
5	0.9987	0.4976	32	0.9995	0.4994
6	0.9866	0.4748	33	0.9991	0.4990
7	0.9738	0.4621	34	0.9986	0.4985
8	0.9708	0.4683	35	0.9985	0.4984
9	0.9693	0.4683	36	0.9999	0.4985
10	0.9623	0.4568	37	0.9996	0.4994
11	0.9608	0.4602	38	0.9994	0.4992
12	0.9566	0.4535	39	0.9993	0.4993
13	0.9526	0.4500	40	0.9993	0.4993
14	0.9486	0.4463	41	0.9984	0.4975
15	0.9447	0.4426	42	0.9980	0.4976
16	0.9439	0.4449	43	0.9980	0.4979
17	0.9425	0.4433	44	0.9979	0.4979
18	0.9425	0.4441	45	0.9978	0.4977
19	0.9419	0.4430	46	0.9977	0.4978
20	0.9415	0.4428	47	0.9997	0.4976
21	0.9404	0.4419	48	0.9979	0.4964
22	0.9404	0.4421	49	0.9902	0.4878
23	0.9403	0.4420	50	0.9895	0.4888
24	0.9400	0.4417	51	0.9707	0.4895
25	0.9397	0.4413	52	0.9707	0.4711
26	0.9396	0.4414	53	0.9655	0.4638
27	0.9396	0.4414	54	0.9610	0.4576
55	0.9548	0.4501	63	0.8704	0.3784
56	0.9488	0.4445	64	0.8657	0.3742
57	0.9181	0.3934	65	0.8654	0.3743
58	0.9029	0.3940	66	0.9607	0.3744

59	0.8967	0.3971	67	0.9607	0.4615
60	0.8898	0.3898	68	0.9559	0.4607
61	0.0.8714	0.3780	69	0.9559	0.4569
62	0.8710	0.3790			



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres

par la méthode de la chute de tension avec considération des pertes (Réseau radial de 69 JB)

Nous remarquons que les valeurs des tensions se diminuent en éloignant du jeu de barres source, ou les jeux de barres de ramifications vers les fins.

Ces résultats obtenus à l'aide du programme informatique que nous avons développé sont très proches (presque identiques) à ceux obtenus par Mr. HAMOUDA (Réf 1) dans son travail de doctorat et par Mr. DAS dans son travail sur un exemple similaire (Réf 2), (prenant en compte les arrondissements des chiffres par le MATLAB).

Le jeu de barres qui a le plus petit indice est le jeu de barres (64) dont la tension risque de s'écrouler.

Exemple n°4 : Réseau radial de 85 jeux de barres :

Numéro de la branche	Nœuds de départ	Nœud d'arrivée	R (ohm)	X (ohm)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	2	0.108	0.075	0	0
2	2	3	0.163	0.112	56	56
3	3	4	0.217	0.149	0	0
4	4	5	0.108	0.074	35.28	35.28
5	5	6	0.435	0.298	0	0
6	6	7	0.272	0.186	35.28	35.28
7	7	8	1.197	0.820	0	0
8	8	9	0.108	0.074	0	0
9	9	10	0.598	0.410	56	56
10	10	11	0.544	0.373	0	0
11	11	12	0.544	0.373	0	0
12	12	13	0.598	0.410	35.28	35.28
13	13	14	0.272	0.186	35.28	35.28
14	14	15	0.326	0.223	35.28	35.28
15	2	16	0.728	0.302	112	112
16	3	17	0.455	0.189	56	56
17	5	18	0.820	0.340	56	56
18	18	19	0.637	0.264	35.28	35.28
19	19	20	0.455	0.189	35.28	35.28
20	20	21	0.819	0.340	35.28	35.28
21	21	22	1.548	0.642	56	56
22	19	23	0.182	0.075	35.28	35.28
23	7	24	0.910	0.378	35.28	35.28
24	8	25	0.455	0.189	56	56
25	25	26	0.364	0.151	0	0
26	26	27	0.546	0.226	56	56
27	27	28	0.273	0.113	0	0
28	28	29	0.546	0.226	35.28	35.28
29	29	30	0.546	0.226	35.28	35.28
30	30	31	0.273	0.113	0	0
31	31	32	0.182	0.075	14	14
32	32	33	0.182	0.075	0	0

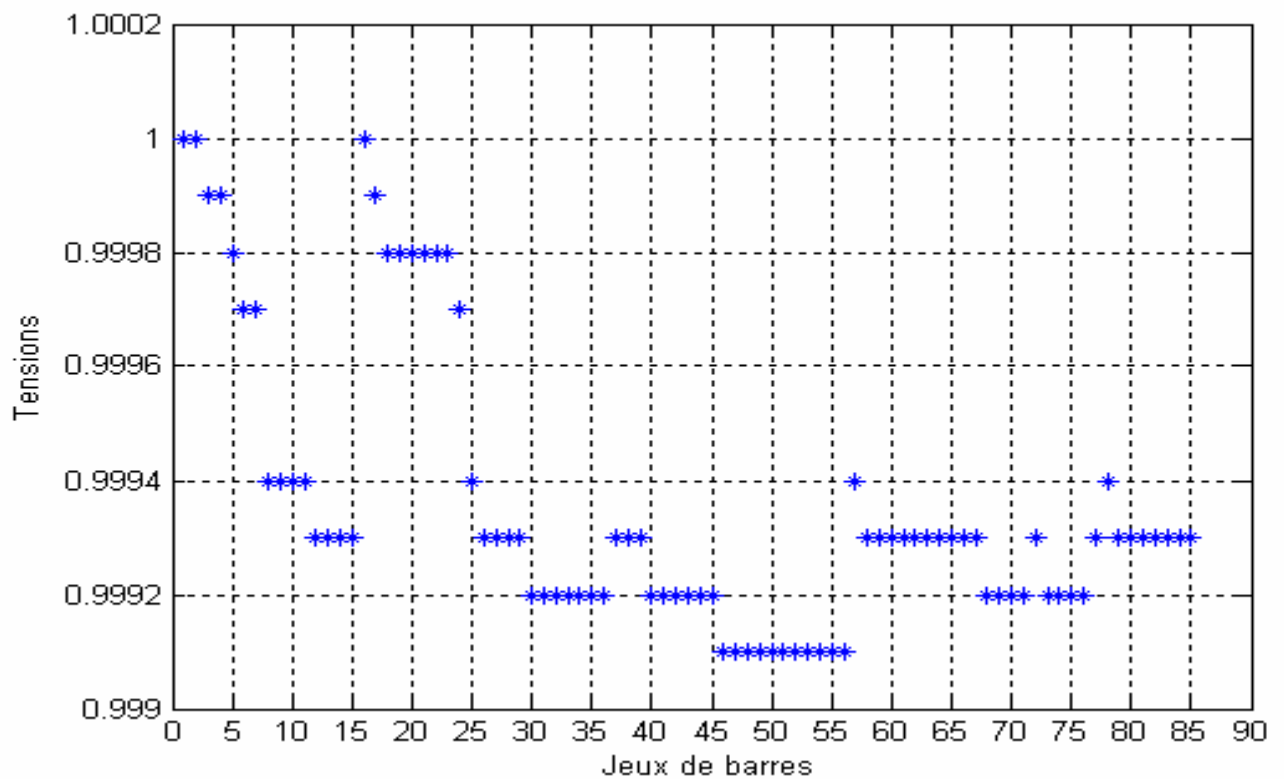
33	33	34	0.819	0.340	0	0
34	34	35	0.637	0.264	35.28	35.28
35	35	36	0.182	0.075	56	56
36	26	37	0.364	0.151	56	56
37	27	38	1.002	0.416	56	56
38	29	39	0.546	0.226	35.28	35.28
39	32	40	0.455	0.189	0	0
40	40	41	1.002	0.416	35.28	35.28
41	41	42	0.273	0.113	35.28	35.28
42	41	43	0.455	0.189	35.28	35.28
43	34	44	1.002	0.416	35.28	35.28
44	44	45	0.911	0.378	35.28	35.28
45	45	46	0.911	0.378	14	14
46	46	47	0.546	0.226	0	0
47	35	48	0.637	0.264	0	0
48	48	49	0.182	0.075	36.28	36.28
49	49	50	0.364	0.151	56	56
50	50	51	0.455	0.189	0	0
51	48	52	1.366	0.567	35.28	35.28
52	52	53	0.455	0.189	56	56
53	53	54	0.546	0.226	56	56
54	52	55	0.546	0.226	14	14
55	49	56	0.546	0.226	56	56
56	9	57	0.273	0.113	0	0
57	57	58	0.819	0.340	56	56
58	58	59	0.182	0.075	56	56
59	58	60	0.546	0.226	56	56
60	60	61	0.728	0.302	56	56
61	61	62	1.002	0.415	14	14
62	60	63	0.182	0.075	0	0
63	63	64	0.728	0.302	0	0
64	64	65	0.182	0.075	56	56
65	65	66	0.182	0.075	0	0
66	64	67	0.455	0.189	0	0

67	67	68	0.910	0.378	56	56
68	68	69	1.092	0.453	0	0
69	69	70	0.455	0.189	0	0
70	70	71	0.546	0.226	35.28	35.28
71	67	72	0.182	0.075	56	56
72	68	73	1.184	0.491	0	0
73	73	74	0.273	0.113	56	56
74	73	75	1.002	0.416	35.28	35.28
75	70	76	0.546	0.226	56	56
76	65	77	0.091	0.037	14	14
77	10	78	0.637	0.264	56	56
78	67	79	0.546	0.226	35.28	35.28
79	12	80	0.728	0.302	56	56
80	80	81	0.364	0.151	0	0
81	81	82	0.091	0.037	56	56
82	81	83	1.092	0.453	35.28	35.28
83	83	84	1.002	0.416	14	14
84	13	85	0.819	0.340	35.28	35.28

Les tensions sans considération des pertes :

N° de jeu De barres	Tension	N° de jeu De barres	Tension	N° de jeu De barres	Tension
1	1	30	0.9992	59	0.9993
2	1	31	0.9992	60	0.9993
3	0.9999	32	0.9992	61	0.9993
4	0.9999	33	0.9992	62	0.9993
5	0.9998	34	0.9992	63	0.9993
6	0.9997	35	0.9992	64	0.9993
7	0.9997	36	0.9992	65	0.9993
8	0.9994	37	0.9993	66	0.9993
9	0.9994	38	0.9993	67	0.9993
10	0.9994	39	0.9993	68	0.9992
11	0.9994	40	0.9992	69	0.9992
12	0.9993	41	0.9992	70	0.9992
13	0.9993	42	0.9992	71	0.9992

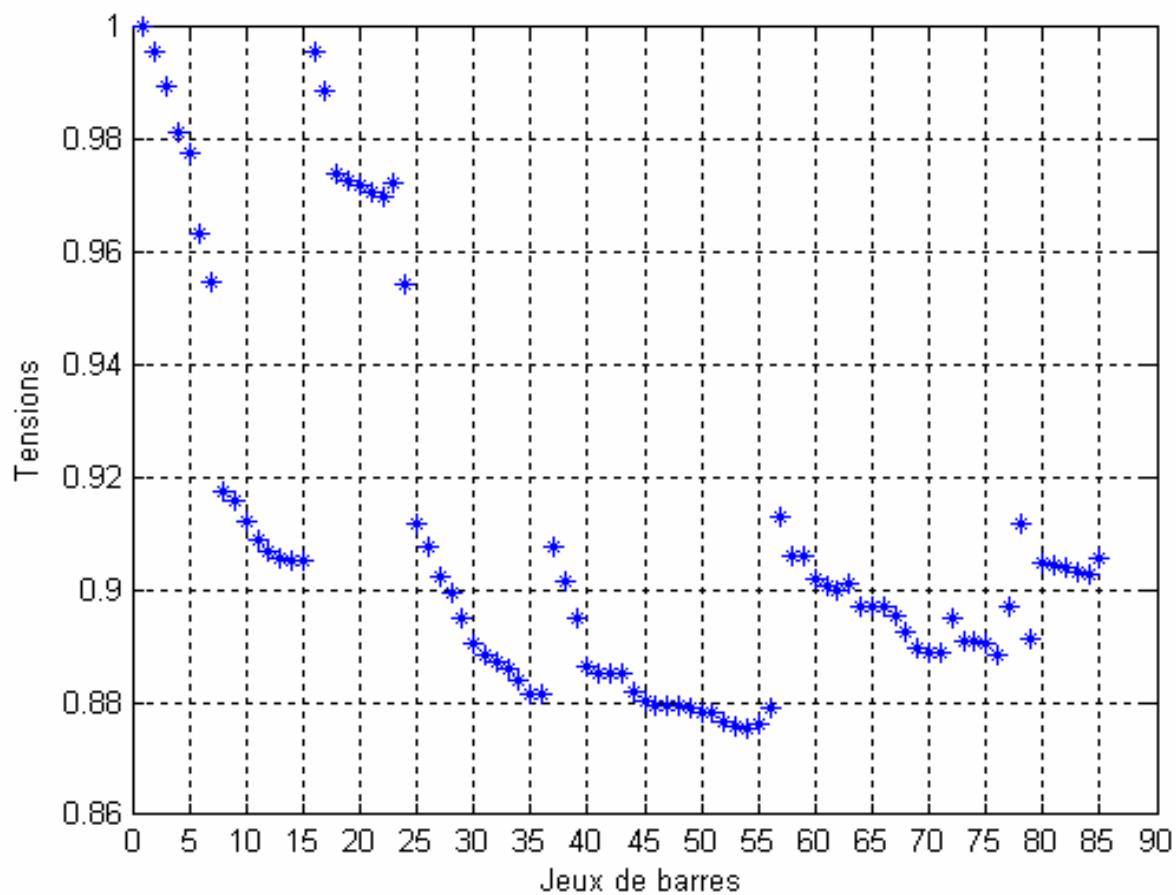
14	0.9993	43	0.9992	72	0.9993
15	0.9993	44	0.9992	73	0.9992
16	1	45	0.9992	74	0.9992
17	0.9999	46	0.9991	75	0.9992
18	0.9998	47	0.9991	76	0.9992
19	0.9998	48	0.9991	77	0.9993
20	0.9998	49	0.9991	78	0.9994
21	0.9998	50	0.9991	79	0.9993
22	0.9998	51	0.9991	80	0.9993
23	0.9998	52	0.9991	81	0.9993
24	0.9997	53	0.9991	82	0.9993
25	0.9994	54	0.9991	83	0.9993
26	0.9993	55	0.9991	84	0.9993
27	0.9993	56	0.9991	85	0.9993
28	0.9993	57	0.9994		
29	0.9993	58	0.9993		



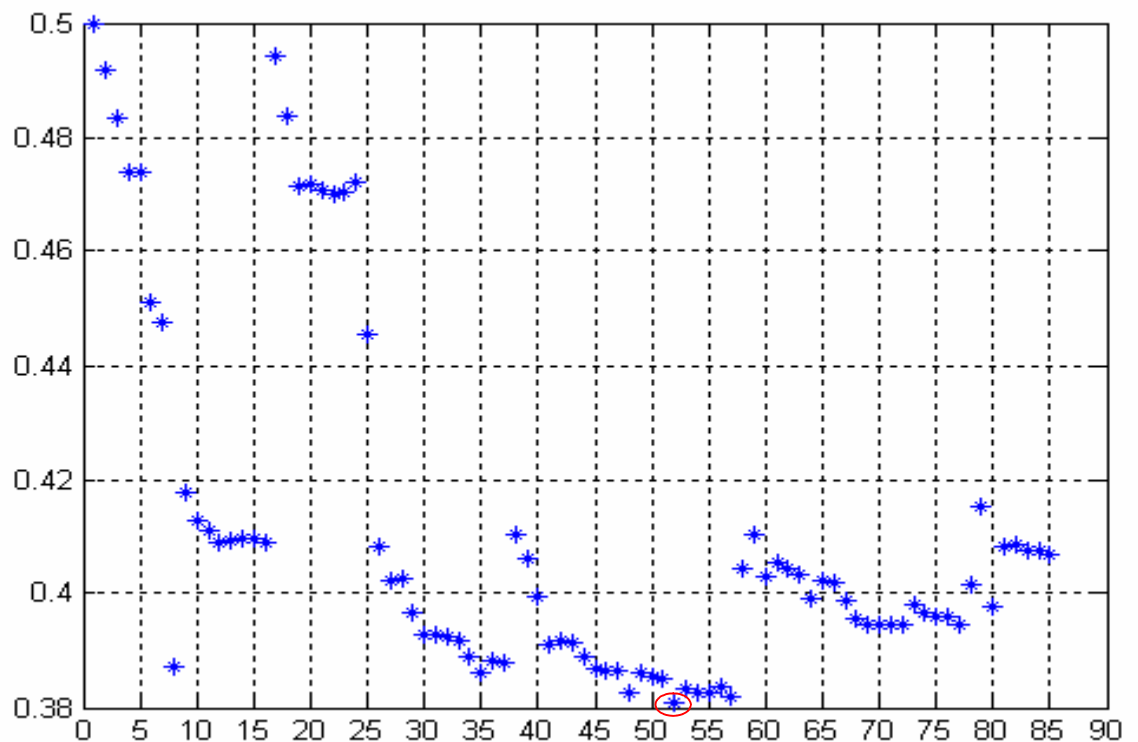
La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres
 par la méthode de la chute de tension sans considération des pertes (Réseau radial de 85 JB)
 La tension avec considération des pertes et l'indice de stabilité de chaque jeu de barres :

N° de jeu De barres	Tension	Indice de stabilité	N° de jeu De barres	Tension	Indice de stabilité
1	1	0.5000	44	0.8818	0.3889
2	0.9958	0.4916	45	0.8804	0.3870
3	0.9895	0.4834	46	0.8794	0.3865
4	0.9814	0.4739	47	0.8793	0.3865
5	0.9775	0.4740	48	0.8793	0.3828
6	0.9633	0.4509	49	0.8791	0.3861
7	0.9548	0.4476	50	0.8784	0.3856
8	0.9175	0.3872	51	0.8781	0.3852
9	0.9157	0.4176	52	0.8766	0.3808
10	0.9122	0.4129	53	0.8759	0.3833
11	0.9091	0.4112	54	0.8754	0.3828
12	0.9068	0.4091	55	0.8762	0.3825
13	0.9058	0.4094	56	0.8789	0.3837
14	0.9054	0.4097	57	0.9130	0.3818
15	0.9052	0.4096	58	0.9062	0.4044
16	0.9955	0.4091	59	0.9061	0.4104
17	0.9889	0.4943	60	0.9021	0.4030
18	0.9742	0.4837	61	0.9008	0.4053
19	0.9726	0.4713	62	0.9001	0.4044
20	0.9718	0.4718	63	0.9010	0.4033
21	0.9708	0.4708	64	0.8972	0.3991
22	0.9701	0.4699	65	0.8971	0.4022
23	0.9725	0.4703	66	0.8969	0.4021
24	0.9544	0.4721	67	0.8953	0.3987
25	0.9119	0.4456	68	0.8924	0.3956
26	0.9078	0.4083	69	0.8895	0.3944
27	0.9024	0.4023	70	0.8889	0.3946
28	0.8997	0.4027	71	0.8887	0.3947
29	0.8951	0.3965	72	0.8951	0.3946
30	0.8906	0.3929	73	0.8910	0.3981
31	0.8884	0.3929	74	0.8908	0.3966
32	0.8871	0.3924	75	0.8905	0.3959

33	0.8861	0.3917	76	0.8885	0.3958
34	0.8839	0.3888	77	0.8970	0.3947
35	0.8815	0.3863	78	0.9118	0.4015
36	0.8814	0.3883	79	0.89150	0.4152
37	0.9076	0.3879	80	0.9048	0.3978
38	0.9017	0.4105	81	0.9043	0.4084
39	0.8949	0.4061	82	0.9042	0.4087
40	0.8863	0.3993	83	0.9031	0.4075
41	0.8853	0.3911	84	0.9029	0.4074
42	0.8852	0.3917	85	0.9055	0.4069
43	0.8851	0.3914			



La répartition des tensions aux niveaux des jeux de barres
par la méthode de la chute de tension avec considération des pertes (Réseau radial de 85 JB)



La répartition des indices de stabilité aux niveaux des jeux de barres

(Réseau radial de 85 JB)

Nous remarquons que les valeurs des tensions se diminuent en éloignant du jeu de barres source, ou les jeux de barres de ramifications vers les fins.

Ces résultats obtenus à l'aide du programme informatique que nous avons développé sont très proches (presque identiques) à ceux obtenus par Mr. HAMOUDA (Réf 1) dans son travail de doctorat et par Mr. DAS dans son travail sur un exemple similaire (Réf 2), (prenant en compte les arrondissements des chiffres par le MATLAB).

Le jeu de barres qui a le plus petit indice est le jeu de barres (52) dont la tension risque de s'écrouler.

Conclusion Générale

La technique de l'indice de stabilité étudiée dans ce travail nécessite en premier lieu l'étude de la méthode de la chute de tension qui assure la convergence pour tous les types de réseaux de distribution radiaux contrairement aux méthodes itératives classiques (Gauss-Seidel, Newton-Raphson). Elle est basée sur une expression algébrique simple des amplitudes des tensions (en négligeant les arguments qui ne changent que de quelques degrés de la sous-station jusqu'au dernier jeu de barres) sans avoir à recourir aux fonctions trigonométriques ou de longs calculs matriciels pour l'obtention du Jacobien comme c'est le cas dans d'autres techniques précédentes (Baran et Wu). Donc elle occupe moins d'espace mémoire et converge plus rapidement.

On utilise la méthode de la chute de tension pour déterminer les tensions au niveau de tous les jeux de barres à partir de la sommation des courants de la fin du réseau jusqu'au premier jeu de barres. Ces tensions ainsi calculées vont être utilisées pour calculer l'indice de stabilité de chaque jeu de barres qui nous permet d'identifier à priori les jeux de barres qui présentent le risque d'écroulement de tension. La détermination de ces jeux de barres à risque est très nécessaire dans la procédure de prévention et d'évitement de risques d'écroulement de la tension. Ce modeste travail nous a permis d'avoir une idée sur l'étude des réseaux de distribution de type radial tout en acquérant une certaine maîtrise de l'outil informatique dans la résolution des problèmes rencontrés dans l'exploitation des réseaux électriques.

Le programme informatique que nous avons réalisé nous permet de définir la configuration de n'importe quel réseau radial à partir d'un certain nombre minimal de données ainsi que de calculer la répartition des tensions au différents jeux de barres. Ces dernières sont utilisées pour déterminer l'indice de stabilité au niveau de chaque jeu de barres dans un but de reconnaître à priori les jeux de barres à risque.

Cette étude est indispensable pour un fonctionnement optimal dans des conditions exigées d'un réseau existant ou l'installation d'un nouveau réseau.

BILBIOGRAPHIE :

- [1] A. Hamouda 'contribution à l'étude de l'optimisation de la compensation de l'énergie réactive' Thèse de Doctorat d'état U .F.A.S.2007 .
- [2] S. GHOCH and D. DAS 'Method for load-flow solution of radial distribution networks' IEEE, proc.gener. transm.distrib.vol 146.n°6 November 1999.
- [3] RAKESH RANJAN , D. DAS 'Simple and efficient computer algorithm to solve radial distribution networks'. Science direct (16 Jan 2002).
- [4] D. DAS D P KOTHARI A KALAM ' Simple and efficient method for load-flow solution of radial distribution networks' Science direct (04 Aug 1994).
- [5] M. CHAKRAVORTY and D. DAS. "Voltage stability analysis of radial distribution networks" Electrical Power and Energy Systems, Vol, 2, no.3.pp.31-35, 1989
- [6] H. Nakmouche et W. Tebbani 'les méthodes itératives utilisées pour le calcul des tension au niveau des jeux de barres dans les réseaux de distribution du type radial' P.F.E. U.F.A.S. 2007
- [7] Khaled ZEHAR 'Méthodes itératives pour le calcul de l'écoulement de puissance', Polycopies du cours TEC 430.
- [8] Technique de l'ingénieur (D4210, D4211, D4212).
- [9] SILINI.N 'Elaboration d'un code de calcul des réseaux électriques sous environnement Matlab' U.F.A.S 2004.