الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Dr YAHIA FARES MEDEA



FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique et de l'Informatique

Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de mastère génie électrique / option :

Réseaux Electriques

Thème

Ecoulement de puissance à courant Continue (DC)

Présenté par :
Mr:BOUDOUANI Med Ryadh
Mr: KALACHE Nasr-eddine

Encadreur :
Mr:SEBAA Karim
Mr:TLAMSANI

Année universitaire : 2014 - 2015

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma cher mère, l'être que je l'aime et je l'estime de tous mon cœur, qui est le symbole de sacrifices et de tendresse, cruel et plain de perfides, et qui m'a supporté pendant toute la durée de mes études, que Dieu la garde pour moi.

A mon cher père le symbole de la fidélité et de bonheur, qui a travailler et lutté pour faire de moi un homme de parole et l'homme de responsabilité, que Dieu le garde pour moi.

A mes frères Hamid, Karim, rafik, , qui sont été avec moi jusqu'à la dernière minute de mon travail.

A mes chers amis HAMZA, Yousef, Mehdi, Mahfoud, qui m'ont vraiment aidé et encouragé pour finaliser ce travail

A mon binôme nasro et tous mes chers amis

Finalement je dédie ce travail à tous ceux que je n'ai pas cité, qu'ils soient rassurés que je ne les ai pas oublié et je les aurais toujours dans mon cœur

-BOUDOUANI Ryadh

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma cher mère, l'être que je l'aime et je l'estime de tous mon cœur, qui est le symbole de sacrifices et de tendresse, cruel et plain de perfides, et qui m'a supporté pendant toute la durée de mes études, que Dieu la garde pour moi.

A mon cher père le symbole de la fidélité et de bonheur, qui a travailler et lutté pour faire de moi un homme de parole et l'homme de responsabilité, que Dieu le garde pour moi.

A mes mes sœurs marwa et iman, qui sont été avec moi jusqu'à la dernière minute de mon travail.

A mon cher ami HAMZA qui m'a vraiment aidé et encouragé pour finaliser ce travail

A mon binôme et tous mes chers amis TAREK, LOKMAN, KADER, IHAB, YACINE, YOUCEF, KRIMO,FERIEL,AICHA ,SAIDA,FADIA,SELMA ,AMIRA

Finalement je dédie ce travail à tous ceux que je n'ai pas cité, qu'ils soient rassurés que je ne les ai pas oublié et je les aurais toujours dans mon cœur

k.Nasr-eddine

Remerciements

Nous remercions en premier lieu "ALLAH" grand et puissant de

Nous avoir donné La santé tant physique que morale pour

Mener ce travail à terme.

Tous nos remercîments et reconnaissances les plus

Particulières à notre promoteur Mr. SEBAA Karim et

Pour nous avoir proposé et encadré ce sujet, sans oublier

Leurs orientation et conseils tout le long de ce travail

Ainsi que la confiance qu'ils nous ont accordée

Nous remercions vivement présidente de jury et les membres

Du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de

Juger ce travail.

Nos vifs remerciements à tous nos enseignants du primaire

À l'université, ainsi que mes collègues de la promotion 2015.

Nous tenons à remercier toutes personnes qui nous ont aidés

Dans notre cursus.

. Enfin, nous remercie MR.HOUASSIN et nous tenons à remercie tout ceux

Qui nous aider de prés ou loin pour ce travail.

KALACHE NASR EDDINE

BOUDOUANI MED RYADH

ملخص

في هذا العمل نقدم الأساليب المختلفة المستخدمة لتوزيع الأحمال (تدفق الطاقة)، كما في شبكات الكهرباء الرئيسية، سنمضي إلى مقارنة هذه التقنيات من حيث السرعة والدقة. أيضا اهتماما خاصا لتكريس طريقة تدفق الطاقة المباشرة الحالية التي تستخدم أيضا في دراسة الأسواق الكهربائية وتحليل الشبكات الكبيرة ،(10000عقدة)، أو وسائل أخرى مثل هذه الطرق نيوتن-رافسون، غاوس-زايدل،الانفصال السريع، هي فترة طويلة جدا.

الكلمات المفتاحية:
نيوتن-رافسون، غاوس-زايدل، الانفصال السريع ، السلطة، تدفق، 30 عقدة، السرعة، الدقة، توزيع الأحمال.

Résumé

Dans ce travail nous allons présenter les différentes méthodes utilisées pour la répartition des charges (écoulement de puissance) dans les grands réseaux électriques .aussi, nous procéderons à la comparaison de ces techniques en termes de rapidité et précision.

Aussi une particulière considération sera dédier a la méthode de l'écoulement de puissance a courant continu qui est trop utilisé vu son temps d'excusions surtout dans l'étude des marchés d'électricités qui requirent l'analyse des réseaux de grande dimension (10000 nœuds) ou les autres méthodes tel que (NEWTON-RAPHSON ,GAUSS-SEIDEL,DECOUPLEE RAPIDE) sont trop long.

Mots clés :

DCLF ,NEWTON-RAPHSON,FDLF,GAUSS-SEIDEL ,ECOULEMENT DE PUISSANCE ,IEEE 30 NŒUDS ,RAPIDITE ,PRECISION.

ABSTRACT

In this work we present the different methods used for the distribution of loads (power flow) .Also in major power grids, we will proceed to compare these techniques in terms of speed and accuracy. Also a special consideration will dedicate a method of power flow direct current that is too used saw his time mainly excursions in the study of electrics markets analysis of large networks (10,000 nodes), or other methods such as (Newton-Raphson, Gauss-Seidel, FAST decoupled) are too long.

Keywords:
DCLF, Newton-Raphson, FDLF, Gauss-Seidel, FLOW POWER, IEEE 30 KNOTS, SPEED, PRECISION.

Sommaire

Introduction générale 1,

Chapitre I : Généralités et concepts de base ..... **I**

I.1.Introduction ..... 3.

I.2. La reconfiguration de réseau de transport…….....5

I.2.1. La formation du schéma et son évaluation…….……5

I.2.2. L'évaluation du schéma de formation…….……..6

I.3. Problème d'optimisation de la topologie des réseaux……6

I.4. Comparaison entre les lignes aériennes et les câbles……..6

I.4.1. Ligne aérienne……..7

I.4.1.1. Avantages……..7

I.4.1.2. Inconvénients……...7

I.4.2. Câble…….……8

I.4.2.1. Avantages…….……8

I.4.2.1. Inconvénients……..…….……8

I.5. Structure des réseaux……..……8

I.5.1. Réseau maillé ou connecté ……..…… 8

I.5.2. Réseau en boucle……9

I.5.3. Réseau radial ou en étoile…….……10

I.6. L'effet de réseau de transport sur la qualitédu service……..….10

I.7. Le rôle du réseau de grand transport……...…11

1.7.2. Le transport de compensation……...…..13

I.8. Le rôle des réseaux de répartition……..……14

I.9 Les grands enjeux de la conduite des systèmes électriques …….……15

I.10 Les isolateurs……..……....16

I.11.Conclusion…….17

Chapitre II: Résolution du problème d'écoulement de puissances……. II

II.1.Introduction.....18

II.2. Equations d'écoulement de puissance.....18

II.3. Résolution des équations d'écoulement de puissances.....21

II.3.1 Ecoulement de puissance en AC**…….*21***

II.3.1.1. Méthode de Gauss Seidel.....21

II.3.1.2. Méthode de Newton-Raphson.....22

II.3.1.2.a. Détermination des sous matrices de la Jacobienne J ……..…..23

II.3.1.3. Méthode découplée rapide (fast decoupled loadflow)……..…..…...…..24

II.3.2. Ecoulement de puissance en DC…….……27

II.3.2.1 : Approximations aux équations de flux de puissance ……...…27

II.3.2.2 : Ecoulement de Puissance Réactive (EPR) :……...……..…29

II.3.2.3 : Ecoulement de Puissance active (EPA) :……..……30

II.3.2.4 : Un exemple pour le DC LF :……..……...……31

II.4.Conclusion……..……...……...…….34

Chapitre III: Application et simulation ……. III

III.1.Introduction……..…..35

III.2. Applications et simulation ……35

III.2.1.résultats des tensions ……..37

III.2.2.résultats des angules……..38

III.2.3.résultats des puissances ……39

III.3. Interprétation…….. 41

III.4. Partie comparative …….42

Conclusion général…….……43

Liste des Figures

Figure I.1 : Vue d'ensemble des composantes d'un réseau électrique …… 4

Figure I.2 : Organisation d'un réseau électrique ……..……5

Figure I.3: pylônes supportent 2 ternes ……...7

Figure I.4 : Structure maillée ……..…..9

Figure I.5 : Structure radiale ou bouclé ……...9

Figure I.6 Structure étoile ……..10

Figure I.7: Les réseaux de transport sont basés sur une structure de réseau maillée……..11

Figure I.8 : Etat normal d'une partie de réseau électrique ……..12

Figure I.9: Etat du réseau immédiatement ……..12

Figure I.10 : la mise hors tension de la zone ……..12

Figure I.11 : cas de surcharge ……12

Figure I.12 : réseaux de répartition ……14

Figure II.1 : Cercle unitaire ……27

Figure II.2 : réseau Quatre-bus utilisé dans l'exemple…… ……...31

Figure II.3: les flux calculés pour réseau à quatre bus utilisés dans l'exemple……....33

Figure III.1 : Le réseau IEEE-30 nœuds ……35

Liste des Tableaux

Tableau III.1 *Tension pour les quatre méthodes* ……37

Tableau III.2 *Déphasage pour les quatre méthodes* ……38

Tableau III.3 les transmit dans les line pour les quatre méthodes ……..…….39

Tableau A.1 des données lignes du réseau IEEE-30 nœuds (pu)……45

Tableau A.2. Busdata……..…….47

Tableau A.3. linedata……48

Liste des ACRONYMES



Vi : La tension au nœud ***i*** *;*

θ i : angule de tension.

Si : puissance complexe triphasé au nœud i

Pi Qi : puissance active et réactive triphasé au nœud i

Pgi, Qgi : puissance active et réactive de génération triphasée générée.

Y bus : la matrice admittance du réseau électrique.

Z bus : la matrice impédance du réseau électrique.

I bus : courant de source extérieure.

Y ii : l'élément diagonal de la matrice admittance.

Y ij : L'élément hors diagonal (i, k)

L'indice ***j*** concerne toutes les lignes connectées au nœud ***i***.

G ik, B ik : sont respectivement la conductance et la susceptance de Y ik.

R réel k, I imaginaire k **:** sont respectivement la partie réel et imaginaire de Vk.

θ k *:* La phase de la tension au jeu de barres K ;

θ ik : La phase de l'élément ik ;

J1, J2, J3, J4 Sont les sous matrice de Jacobienne.

F ip(0) et F iq (0) : sont des fonctions de tension et de phase.

NR : NEWTON RAPHSON

GS : GAUSS SEIDEL

DR : DECOUPLEE RAPIDE

AC : courant alternatif

DC : courant continue (direct courant)

EPR : Ecoulement de Puissance Réactive

EPA : Ecoulement de Puissance active

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie de l'électricité est l'industrie de capital la plus importante. Son produit, l'électricité, est essentiel à la société d'aujourd'hui. L'électricité fait partie intégrante de notre vie quotidienne. Elle alimente les appareils ménagers, soutient nos vastes réseaux de communications et d'information, éclaire nos cités et nos villes et elle est considérablement utilisée dans de nombreuses grandes entreprises. Un service d'approvisionnement en électricité fiable et économique est indispensable au bien-être de la population et des entreprises.

La conduite des réseaux d'énergie électrique, a toujours fait appel aux outils de calcul numériques les plus perfectionnés aidant à l'amélioration des contraintes techniques, économiques et de sécurité, auxquelles elle fait face.

L'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée; donc, en permanence, la production doit s'adapter à la consommation. Il faut, donc, ajuster les puissances actives et réactives des générateurs interconnectés dans un réseau électrique dans leurs limites admissibles afin de satisfaire la charge électrique fluctuante avec un coût minimal. Cela est appelé l'écoulement de puissance et parfois connu comme le problème de dispatching économique de l'écoulement de puissance.

Le problème d'écoulement de puissance, est parmi les problèmes les plus classiques dans les réseaux électriques. De nombreuses méthodes d'optimisation ont été appliquées pour leur calcul, dont le but est de fournir une énergie électrique au moindre cout possible tout en assurant la sécurité et la stabilité du réseau électrique.

Dans le premier chapitre, des notions général sur les réseaux électriques sont présenter ,puis nous allons parler sur la reconfiguration de réseaux de transport et leur effet sur la

qualité du service ainsi que leur rôle ,aussi nous allons comparer entre les lignes et les câbles ,a fin de Sitter les différents type du réseaux et leur protection .

Dans Le second chapitre une introduction sur le problème de l'écoulement de puissance connue. Ces études sont nécessaires pour la planification et les développements futurs des réseaux et aussi pour assurer un fonctionnement fiable de ces systèmes, Et aussi a été consacré à l'étude de calcul l'écoulement de puissance, où différentes Méthodes ont été exposées et nous avons opté pour la méthode de (GAUSS-SEIDEL, la méthode de NEWTON-RAPHSON, et méthode DECOUPLEE RAPIDE) pour un courant alternatif , par suite nous allons parler a une d'autre méthode qui calcule les flux d'énergie active en solutionnant en premier lieu les phase de tension est connue comme étant la méthodes d'écoulement de puissance en courant continu .

Le troisième chapitre ,est dédier a l'application des méthodes itératives avec le programme qu'on a élaboré sous l'environnement matlab sur le réseaux IEEE 30 NŒUDS en AC et aussi en DC, de suite pour finir ce travail une partie comparative entre les 2 méthodes (AC et DC) sera effectuer sur les résultats obtenus a partir notre programme réalisé , a fin de voir les avantages et les inconvénients de chaque méthodes .

Enfin, nous clôturerons cette thèse par une conclusion générale concernant l'apport général délivré par nos travaux.

INTRODUCTION

Le développement des réseaux électriques de transport et d'interconnexion a permis, ces dernières décennies, d'améliorer considérablement le coût et la sécurité de la fourniture d'énergie électrique. Ces réseaux procurent en effet des possibilités de secours mutuel qui permettent de pallier l'effacement d'un groupe de production, améliorant ainsi la continuité du service rendu à la clientèle. La prise en considération des possibilités de secours mutuel dans la planification des installations de production permet par ailleurs de réduire la puissance globale à prévoir, et par conséquent les coûts d'investissement. Enfin, une gestion optimale des flux de puissance transmis par les réseaux permet d'utiliser en priorité à chaque instant les installations de production de plus faible coût marginal, et de minimiser ainsi les coûts de fonctionnement du système, en plus de la structure de réseau de transport qui joue un rôle très important pour minimiser le coût globale de la construction du système d'énergie électrique, en parle ici de la structure optimale de réseau de transport qui garantira la liaison entre les centrales de production et les consommateurs.

Ces avantages vitaux n'ont jusqu'à présent pu être acquis qu'au prix d'un fort impact visuel des liaisons constituant les réseaux de transport. En effet, la seule solution techniquement efficace et économiquement acceptable pour les liaisons à grande distance était la ligne aérienne. Seuls des parcours de relativement courte longueur, appartenant aux réseaux dits de répartition ou de distribution, ont permis l'utilisation de liaisons souterraines.

Les populations situées en bordure des couloirs de lignes aériennes en projet acceptent de plus en plus difficilement de se voir imposer une perturbation de leur cadre de vie. Bien évidemment, cette sensibilité accrue est manifeste de façon plus vive dans les pays où les réseaux sont les plus développés. Or, malgré des taux de croissance plus modestes que par le passé et une moindre intensité énergétique de leur développement économique, ces pays présentent encore des besoins significatifs en matière de nouveaux équipements de transport électrique.

Les réseaux de transport de la nature (réseau sanguin, rivières) ou humains (réseau électrique, canalisations...) sont efficaces ou du moins cherchent à l'être d'un point de vue énergétique. Il est donc naturel d'essayer de formuler un problème d'optimisation dont ces structures seraient des optima ou sous-optima. Un point commun à ce type de réseaux est de transporter une *masse* d'une source vers un but que l'on peut voir commendes mesures mu- et mu+. On va donc s'intéresser au problème de transporter mu- vers mu+ à faible coût. Le choix du coût est le cœur du modèle.

Pour les réseaux électriques, on peut parler de réseau de transport et d'interconnexion à très haute tension (THT) qui assure la liaison entre les centres de production et les grandes zones de consommation. Ils permettent d'acheminer, là où elle est consommée, l'énergie la moins chère possible à un instant donné. Par ailleurs, l'émaillage du réseau contribue à la sécurité d'alimentation et permet de faire face, dans des conditions économiques satisfaisantes, aux aléas locaux ou conjoncturels qui peuvent affecter l'exploitation (indisponibilité d'ouvrage, aléas de consommation, incidents...).

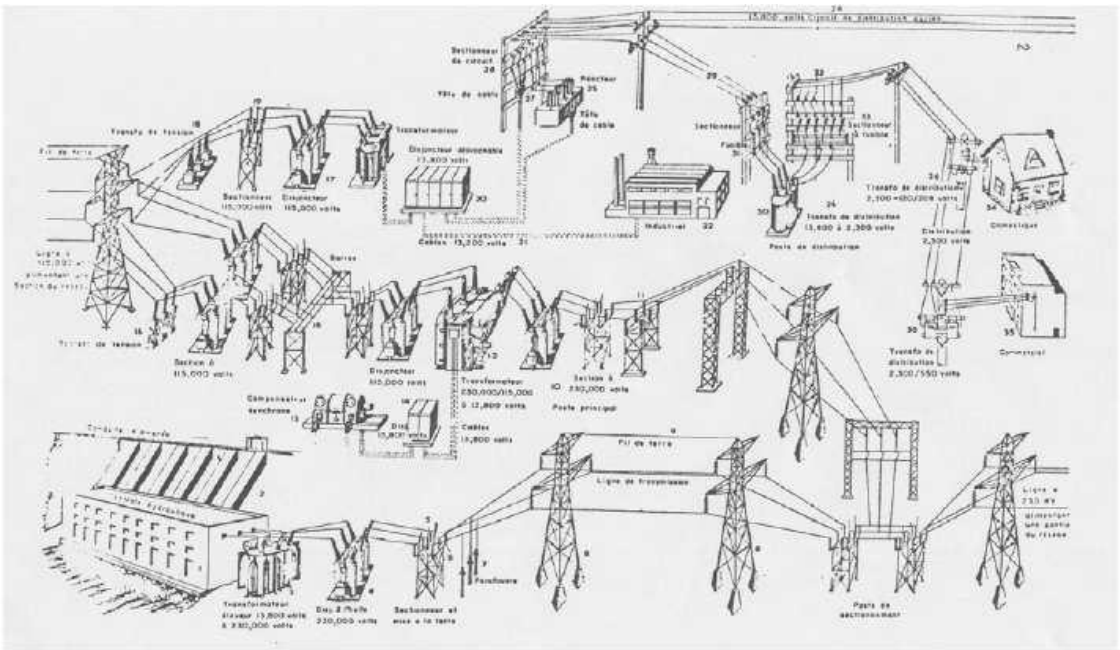


***Figure* I.1 :** *Vue d'ensemble des composantes d'un réseau électrique*

Pour mettre en œuvre le service public de l'électricité et dans le respect de l'environnement, de nouvelles infrastructures de transport seront nécessaires afin de répondre aux impératifs de

l'activité économique et sociale

I.2. La reconfiguration de réseau de transport [30]

La planification des réseaux électriques est une partie importante de la réserve de puissance. La tâche primordiale est la détermination optimale de la reconfiguration d'un réseau électrique avec la considération de l'évolution de la charge électrique. La recherche de la configuration des réseaux électriques est de corriger le schéma de planification de la réserve de puissance. La base principale de la reconfiguration des réseaux est une reconstitution d'un réseau dont le coût conventionnel d'investissement soit minimal. Généralement la reconfiguration des réseaux électriques est étudiée en deux stades :

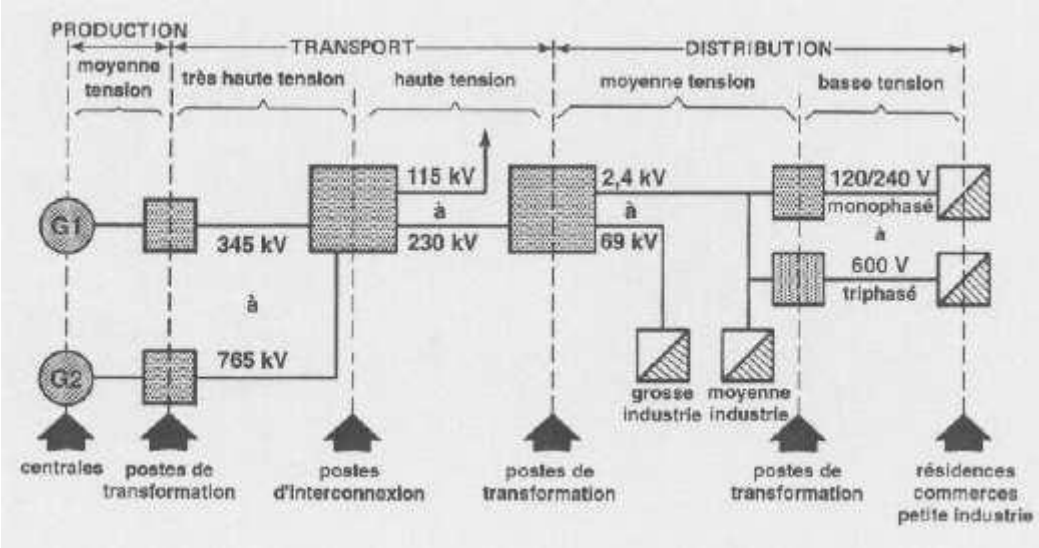


***Figure* I.2 :** *Organisation d'un réseau électrique*

I.2.1. La formation du schéma et son évaluation :

Cela revient à déterminer les différentes alternatives avec des coûts conventionnel minimaux en respectant le transite de puissance et l'aptitude à la capacité d'énergie soumise au transite entre le dépôt et le puits. Jusqu'à présent les planificateurs utilisent leur expérience pour déterminer l'extension des lignes de réserve de la nouvelle configuration.

I.2.2. L'évaluation du schéma de formation :

La tâche revient à trouver une configuration avec u n surcoût, tout en utilisant les contraintes de la fiabilité, l'écoulement de puissance, l'analyse de la stabilité et le calcul des courts-circuits afin de décider sur un schéma final.

I.3. Problème d'optimisation de la topologie des réseaux [1]

L'analyse de la structure des réseaux électriques te les problèmes des configurations optimales est l'un des soucis majeurs de certains chercheurs, la relation qui existe entre les éléments d'un système Serveur - Abonnés ou bien la connexion du système principal, sa Conduite en temps réel et la garantie de la continuité de service repose sur des théories fondamentales. Dans cette étude nous allons affronter les problèmes d'optimisation en utilisant la théorie de recherche opérationnelle. Ours structurer une configuration optimale parmi plusieurs configurations, on doit représentera structure par un graphe, ensuite on la modélise par une matrice

La structure d'un réseau touche profondément le problème de transit de puissance (transport de puissance, la fiabilité du système, al perte d'énergie et de tension, la stabilité du réseau et essentiellement l'investissement de la réalisation du projet). Ces derniers restent des problèmes fondamentaux qu'on doit résoudre. Le compromis entre ces divers indices économiques, d'échange entre la station (Dépôts ou centrales) et la réception (Puits) restent des questions concernant le plan d'exploitation et de la planification à affronter et à résoudre.

Définition :

Une Structure représente l'ensemble de tous les éléments constituant un réseau indépendamment de leur état (en service / hors service).
Une configuration ou topologie représente un état 'un d réseau dans laquelle chaque élément à un état défini : en service ou en hors service.

I.4. Comparaison entre les lignes aériennes et les câbles [2]

Les lignes aériennes reviennent x fois meilleur marché que les câbles. En cas de très haute tension, des problèmes se posent pour les longues étendues de câbles. En revanche, les câbles sont mieux protégés contre les avaries extérieures (foudre, tempête) que les lignes

aériennes. Les défaillances sont plus rapidement décelables sur les lignes aériennes. Les réparations sont simples à mener pour les lignes aériennes; pour les câbles au contraire, elles exigent de gros travaux. Les lignes aériennes peuvent toutefois déranger dans le paysage.

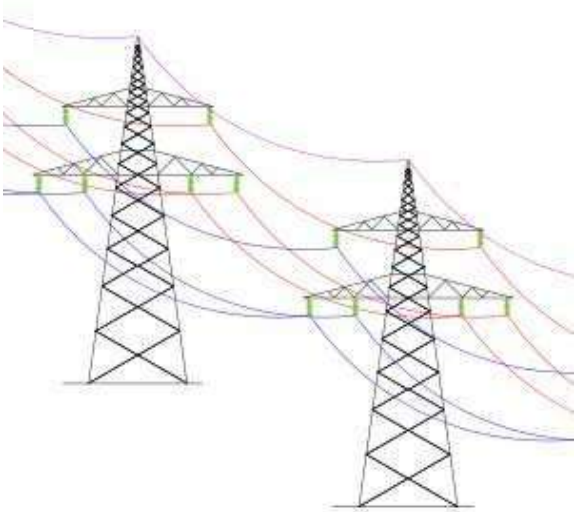


***Figure* I.3 :** *Ces pylônes supportent 2 ternes : le rouge et le bleu. Chaque terne est constitué de 3 phases. Chaque phase est supportée par un isolateur.*
Plus un câble de garde.

I.4.1. Ligne aérienne

I.4.1.1. Avantages :

Défaillances décelables ;
Problème plus rapidement résolu.

I.4.1.2. Inconvénients **:**

Pannes plus fréquentes (dépend du temps)
Répercussion sur le paysage.

I.4.2. Câble

I.4.2.1. Avantages :

Souterrain ;
Espace requis réduit ;
Meilleure acceptation auprès de la population.

I.4.2.1. Inconvénients :

Travaux de réparation coûteux (sous-terre);
Le renouvellement des câbles revient plus cher que pour les lignes aériennes.

I.5. Structure des réseaux [2]

Le concept de réseau englobe la totalité des installations, notamment les lignes aériennes, les câbles, les transformateurs et les appareils av ce leurs moyens de contrôle et de sécurité, les interrupteurs, etc., nécessaires au transport et à la distribution de l'énergie électrique.
Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures exposées ci-dessous :

I.5.1. Réseau maillé ou connecté

Lorsque des lignes en boucle sont regroupées pour élier des points très éloignés les uns des autres, elles forment un réseau maillé. Ce type de réseau offre une très grande fiabilité d'approvisionnement car chaque tronçon de ligne peut être alimenté via différentes voies. Même une défaillance sur plusieurs tronçons ne s'engendre pas une grosse perturbation.

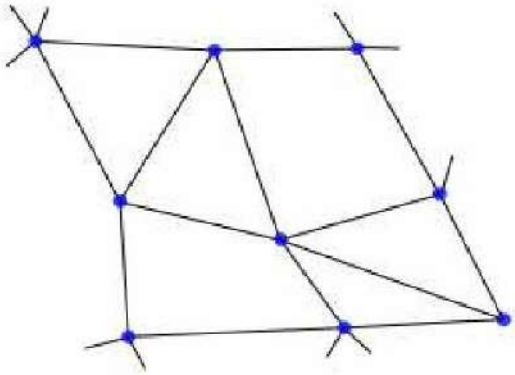


***Figure* I.4:** *Structure maillée: les postes électriques sont reliés entre eux par de nombreuses lignes électriques, apportant une grande sécurité d'alimentation.*

Les réseaux maillés sont surtout construits et exploités là où la sécurité d'approvisionnement d'un grand nombre de clients peut être compromise par une perturbation, comme c'est particulièrement le cas pour les réseaux de transport et de distribution haute tension

I.5.2. Réseau en boucle

L'assemblage en boucle des lignes permet de mettre hors circuit une partie de la ligne défectueuse grâce à ses points de séparation. L'alimentation électrique est interrompue uniquement dans cette partie jusqu'à la réparation de la panne; le reste du réseau peut continuer à fonctionner.

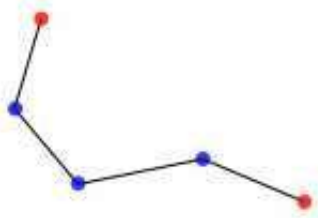


***Figure* I.5:** *Structure radiale ou bouclé **:** (Les postes rouges représentent les apports d'énergie) : la sécurité d'alimentation, bien qu'inférieure à celle de la structure maillée, reste élevé.*

I.5.3. Réseau radial ou en étoile

Il représente le réseau sous sa forme la plus simple. Les lignes partent d'un point central, par exemple une station de transformation locale, et rayonnent depuis celui-ci. Si une perturbation se produit sur ce type de réseau, l'alimentation électrique de tous les clients rattachés à ce rayon défectueux est interrompue, jusqu'à ce que la panne soit réparée. La panne d'une station de transformation peut paralyser tout un quartier.

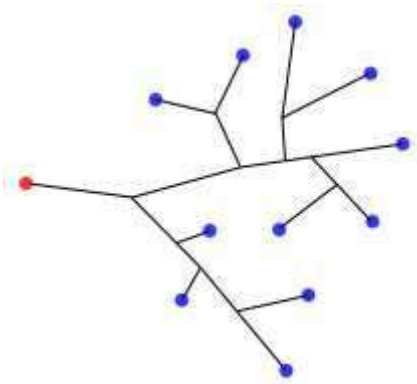


***Figure* I.6 :** *Structure étoile(les postes rouges représentent les apports d'énergie) : la sécurité d'alimentation est faible puisqu'un défaut sur la ligne ou sur le poste rouge coupe l'ensemble des clients en aval.*

I.6. L'effet de réseau de transport sur la qualité du service [3]

Les réseaux THT contribuent donc de façon déterminante au maintien de l'équilibre entre la demande et l'offre, ainsi qu'à la sécurité d'alimentation et à l'économie de l'exploitation.

Par ailleurs, la qualité du service est également nu souci majeur de l'exploitant. Sur le plan pratique, cette qualité nécessite :

De maintenir les caractéristiques du produit (tension, fréquence) dans les limites très précises du cahier des charges ; de limiter, autant que faire se peut, les interruptions de service. Les réseaux THT jouent aussi un rôle très important pour respecter ces contraintes car :

Les références de tension qui vont conditionner l'ensemble du plan de tension dans le réseau sont fixées, pour l'essentiel, par es l groupes de production raccordés aux réseaux THT

La fréquence est, de même, fixée par les groupes de production qui doivent rester

synchrones en régime permanent ;

La sécurité d'alimentation des grands centres de consommation dépend très fortement de la structure des réseaux de transport.

I.7. Le rôle du réseau de grand transport [2]

La fonction de base du réseau de grand transport est d'abord de relier les centrales de production aux centres de consommation d'électricité. Mais, au-delà de cette évidence, pour comprendre la structure et les contraintes d'exploitation de ce réseau, il importe de bien appréhender les principales lignes directrices de son développement et de son organisation, que nous allons rappeler très brièvement

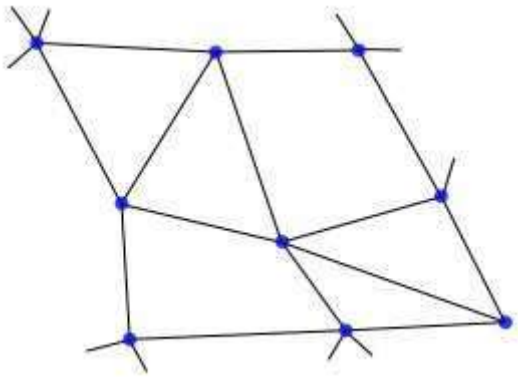


***Figure* I.7 :** *Les réseaux de transport sont basés sur une structure de réseau maillée*

Le réseau de grand transport est né de la localisation de ressources énergétiques (souvent l'hydroélectricité) loin des zones consommatrices. Pour franchir la distance correspondante, la technique du transport par courant alternatif à très haute tension s'est rapidement imposée. En Europe (hormis l'ex-URSS), les réseaux à 400 kV à 50 Hz ont été adoptés après la Seconde Guerre mondiale comme le meilleur compromis entre le coût d'investissement, le coût d'exploitation (notamment la réduction des pertes Joule) et le service rendu. Leur rôle s'est vite accru avec l'effet de taille dans la production, qui a rendu plus économique la construction de centrales de puissance toujours croissante, alors que, bien sûr, la consommation restait diffuse. Mais l'interconnexion s'est surtout développée rapidement pour contrebalancer un inconvénient bien connu de l'électricité.

A chaque instant, l'énergie électrique produite dans un système interconnecté est égale à l'énergie consommée. En effet, malgré les progrès envisageables des technologies de stockage (par exemple dans des matériaux supraconducteurs), les conditions économiques de mise en œuvre d'un stockage massif directement sous forme électromagnétique ne sont pas

satisfaisantes, et ce sans doute encore pour plusieurs décennies.

Le développement du réseau de transport a permis éd contourner la difficulté de produire localement exactement la puissance consommée à chaque instant dans chaque région.

Sous l'angle économique, le réseau de grand transport permet, à niveau identique de sécurité d'alimentation, de diminuer largement les investissements dans des centrales de production.

Illustration du report de charge :

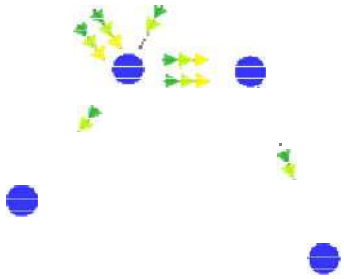


Figure* I.8.*A) *Etat normal d'une partie de réseau électrique*

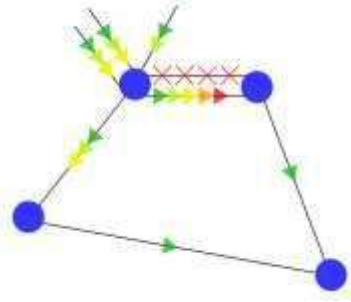


Figure* I.9.*B) *Etat du réseau immédiatement après l'incident : l'énergie s'est réparti Différemment*

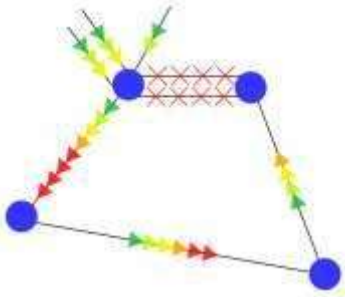


Figure* I.10.*C1) *Si aucune action n'est menée l'incident s'aggrave et va conduire à la mise hors tension de la zone*

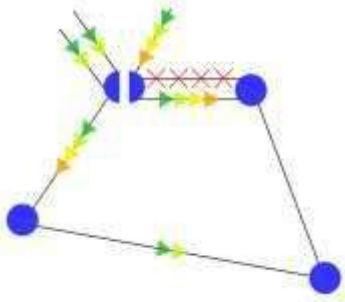


Figure* I.11.*C2) *En cas de surcharge, les exploitants du réseau peuvent modifier la topologie afin d'optimiser la répartition de l'énergie entre les lignes*

Le réseau permet aussi de bénéficier des différences de coûts de production (ou de prix offerts sur un marché ouvert) entre des équipements distants, conduisant à une réduction globale des coûts d'exploitation. Ces différences de prix, selon leur caractère conjoncturel ou structurel, donnent lieu à des transports d'électricité dits respectivement « systématiques » et

« de compensation ».

I.7.l. Le transport systématique

Il est pratiqué lorsque des ressources énergétiques massives et économiques sont situées loin de leur clientèle. Ce peut être par **e**xemple le cas de l'hydroélectricité (Baie James au Canada), du nucléaire (unités de forte puissance dont la localisation est dictée par des contraintes de source froide) ou du gaz (production électrique dans le nord de l'Angleterre, près des gisements, avec une forte consommation au sud du pays).

1.7.2. Le transport de compensation :

Il relève de la compensation statistique des variations tant de la consommation que de la capacité de production. Il peut être prévisible et aisément anticipé : c'est le cas de l'effet des décalages entre heures de pointes entre région sou pays (par exemple le décalage horaire entre grands centres de consommation de l'interconnexion de l'Est des États-Unis). C'est aussi le cas lors de la gestion coordonnée de centrales thermiques et hydrauliques appartenant à un même producteur, tirant parti de la complémentarité de ses moyens de production. Le transport de compensation peut aussi devoir être mis en œuvre, avec un préavis très limité, dans le cas de la panne d'une grosse unité de production.

Ce type d'événement fait toutefois partie des anticipations habituelles, nécessaire à la bonne conduite d'un système électrique.

Les avantages d'un puissant réseau de grand transport et d'interconnexion ont conduit en Europe (comme dans la plupart des régions du monde) à deux tendances majeures, nécessaires à l'expansion des échanges transfrontaliers d'électricité et du commerce international :

L'extension de la zone de synchronisme que constituent aujourd'hui les pays d'Europe de l'Ouest ;

L'interconnexion entre zones synchrones grâce à des liaisons à courant continu.

La transformation actuelle du réseau de grand transport d'outil d'optimisation « national » à moyen terme en un sous ensemble d'un immense réseau de grand transport et d'interconnexion instrument de liquidité d'un marché européen en plein essor conduit à l'exploiter dans des conditions très différentes de celles qui ont présidé à sa conception. Cette évolution marque d'ores et déjà les pratiques de conduite des systèmes électriques.

I.8. Le rôle des réseaux de répartition [3]

Le rôle de plaque tournante du réseau de grand transport doit être complété par d'autres réseaux qui vont acheminer l'énergie à proximité immédiate des zones de consommation diffuse : il s'agit des réseaux de répartition, qui assurent le relais jusqu'aux « capillaires » que sont les réseaux de distribution à 20 kV et à 400 V. En Europe, le grand transport est le domaine du réseau à 400 kV, plus certaines liaisons à 225 kV qui joue un rôle complexe, relevant, selon les ouvrages ou les schémas d'exploitation, du grand transport ou de la répartition.

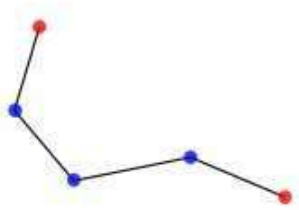


Figure* I.12.Entre les 2 postes rouges, la structure est bouclée. Les réseaux de répartition ont souvent cette structure dans les régions faiblement consommatrice*

En complément du réseau à 225 kV, il existe en général un niveau de tension intermédiaire pour des réseaux de répartition maillés alimentant les « postes sources » où se trouvent les transformateurs vers les réseaux radiaux de distribution. En France, ce niveau est constitué des réseaux à 90 kV et 63 kV (plus quelques ouvrages à 150 kV). En effet, les réseaux de répartition sont en général exploités en« poche », c'est-à-dire que les zones régionales qu'ils desservent ne sont directement reliées que par les niveaux de tension supérieurs. Il n'y a donc pas de raison d'adopter uniformément un même choix technique, et le poids des investissements passés est tel qu'il maintient une diversité parfois fort ancienne.

Outre la desserte régionale, les réseaux de répartition ont un rôle d'évacuation de la puissance produite par de petites centrales (en général 250 MW et moins). Ce rôle est très important dans des régions comme le Massif Central où une production hydroélectrique abondante provient de nombreuses petites usines réparties le long des vallées.

Pour conclure sur les réseaux de répartition, il faut souligner que, s'ils ne conditionnent pas directement la robustesse des systèmes électriques, c'est-à-dire leur sûreté, ils jouent un rôle déterminant quant à la qualité de l'électricité livrée au consommateur final. Leur conception, comme leur exploitation et leur conduite, se traduisent très directement en nombres de coupures longues ou brèves, nombres de creux de tension, etc., subis à la livraison en bout de chaîne.

I.9 Les grands enjeux de la conduite des systèmes électriques [3]

Comme on vient de le voir à travers les grands principes, les systèmes électriques sont des machines « distribuées » d'une très grande complexité. Leur énorme taille a conduit à en décentraliser la conduite à plusieurs « pilotes » simultanés, alors même que toute décision est soumise à tout un jeu d'interdépendances temporelles et spatiales.

I.10 Les isolateurs [6]

Le rôle des isolateurs des lignes aériennes est de retenir mécaniquement les conducteurs aux structures qui les supportent et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux éléments.
Pendant plusieurs dizaines d'années leurs qualités électriques et mécaniques ne devront donc être détruites par aucune des contraintes doute nature qu'ils subiront.
De plus, ils devront faciliter tout travail qui pourrait être effectué sur la ligne, même maintenue sous tension électrique, et ne nuire à la réception des signaux électromagnétiques, radio, télévision et autres, ni, si possible, à l'esthétique.

CONCLUSION



Pour conclure cette présentation, il convient d'abord de souligner que l'avenir de ces technologies sera pour une large part déterminée par l'influence de facteurs externes. Le taux de croissance de la consommation d'énergie électrique et la sensibilité aux facteurs d'environnement exerceront une influence directe à cet égard. D'autres facteurs pourront jouer un rôle indirect, en affectant la structure d es réseaux et le rythme de leur développement. On peut citer à cet égard l'influence de la répartition des centrales de production, de leurs coûts d'investissement et de fonctionnement. La volonté de mise en concurrence par les réseaux de producteurs d'électricités distants, éventuellement tempérée par des préoccupations d'autonomie énergétique locale, conditionnera également l'évolution qualitative et quantitative du transport d'électricité.

INTRODUCTION

II.1 :

Le problème de la réparation des charges est capitale pour celui qui exploite un réseau électrique .Ainsi au point de vue structure des réseaux, afin de renforcer, modifier et adapter le réseau suivant des consommations. L'exploitant doit connaitre parfaitement le comportement de sont réseau afin, au cas d'un in cédant, de prendra la décision optimale. De plus, le problème de la répartition des charges est le problème fondamental de la conduite économique des réseaux d'énergie électrique.

La résolution du problème de la répartition des charges nous permet de déterminer, les valeurs des modules de la phase et de la tension en chaque nœud du réseau pour des conditions de fonctionnement donnée, se qui permettra de calculer les valeurs des puissances actives et réactives qui transité dans chaque ligne, le bilan des puissances injectées en chaque nœud peut donc être établi, ce qui nous fournit la valeur des pertes actives et réactives de réseau [7].

II.2. Equations d'écoulement de puissance :

L'étude de l'écoulement de puissance consiste à calculer les tensions du réseau électrique pour des extrémités spécifiées, et des conditions données aux jeux de barres, telles que les charges capacitives ou inductives qui doivent être alimentées, les puissances générées et les modules de tensions dans tous les jeux de barres, qui à partir desquelles les courant dans les lignes de transport, les puissances et les pertes de puissances peuvent être obtenus .Les équations des tensions nodales d'un réseau électrique de *N* jeux de barres sont écrites sous la forme matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I2 \\ \vdots \\ I_{N1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{1N} \\ \vdots & \square & & \square \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \square \\ V_N \end{bmatrix} \qquad \textbf{(II.1)}$$

Où

$$I_{BUS} = Y_{BUS} \square V_{BUS} \quad \textbf{(II.2)}$$

$\left[V_{BUS} = [V_1, V_2 \dots \dots V_N]\right]^T$: Le vecteur des tensions complexes de chaque jeu de barre Y_{BUS} c'est la matrice admittance nodale du système de taille (N*N).

Y_{II}: L'élément diagonal de la matrice admittance. C'est la somme de tous les composants connectés à ce jeu de barre, traduit par l'équation mathématique suivante:

$$Y_{ii} = - \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^{N} Y_{ik} \quad \textbf{(II.3)}$$

Y_{IJ} : L'élément hors diagonal (i, k). C'est la somme négative de tous les composants connectés entre les jeux de barres *i* et *j*, c'est-à-dire :

$$Y_{ik} = - \sum_{k \neq 1} y_{ik} \quad \textbf{(II.4)}$$

D'après l'équation (II.1), le courant net à injecter à un jeu de barre i est écrit comme suit :

$$I_i = - \sum_{k=1}^{N} Y_{ik} \square V_k \qquad i = 1, 2 \dots \dots, N \quad \textbf{(II.5)}$$

Où :

$$\overline{Y_{ik}} = G_{ik} + j \square B_{ik} = Y_{ik} (\cos \theta_{ik} + j \sin \theta_{ik}) \quad \textbf{(II.6)}$$

$$\overline{V_k} = R_{ek} + j \square I_{mk} = V_k (\cos \theta_k + j \sin \theta_k) \quad \textbf{(II.7)}$$

G_{ik}, B_{ik} : Sont respectivement la conductance et la susceptance de $\overline{Y_{ik}}$

R_{ek}, I_{mk} : Sont respectivement la partie réel et imaginaire de $\overline{V_k}$

θ_k: La phase de la tension au jeu de barres k ;

θ_{ik} : La phase de l'élément ik ;

L'expression de la puissance apparente $\overline{S_i}$ injectée à un jeu de barres peut s'écrire comme suit:

$$\overline{S_i^*} = P_i - Q_i = \overline{V_i^*} \cdot \overline{I_i} = \overline{V_i^*} \cdot \sum_{k=1}^{N} \overline{Y_{ik}} \cdot \overline{V_k} \qquad \textbf{(II.8)}$$

P_i, Q_i: Sont respectivement les puissances active et réactive au jeu de barres i. En remplaçant les équations (II.6) et (II.7) dans l'équation (II.8), on obtient:

$$P_i = \sum_{K=1}^{N} V_i V_k Y_{ik} \cos(\theta_{ik} + \theta_k - \theta) \quad i = 1, 2, \dots, N \qquad \textbf{(II.9)}$$

$$Q_i = \sum_{K=1}^{N} V_i V_k Y_{ik} \sin(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i) \quad i = 1, 2, \dots, N \qquad \textbf{(II.10)}$$

Les équations (II.9), (II.10) représentent les équations de l'écoulement de puissance tels que:

$$P_i = P_{Gi} + P_{Di} \qquad \textbf{(II.11)}$$

$$Q_i = Q_{Gi} + Q_{Di} \qquad \textbf{(II.12)}$$

Où :

Q_{Gi} : sont respectivement les puissances active et réactive générées

Q_{Di} : sont respectivement les puissances active et réactive demandées au jeu de barres i.

Dans le calcule de l'écoulement de puissance, un jeu de barre est défini par quatre paramètres: module de tension V_i, angle de tension θ_i, puissance active P_i et puissance réactive Q_i injectée.

II.3. Résolution des équations d'écoulement de puissances :

La méthode initialement utilisée était la méthode de Gauss Seidel, qui a l'inconvénient de converger en un nombre d'itérations proportionnel à la taille du réseau. Actuellement, la méthode universellement adoptée est la méthode de Newton–Raphson ou la méthode découplée rapide, dont le nombre d'itérations requis pour obtenir une solution est indépendant de la taille du réseau étudié. Ces dernières sont décrites dans les sections suivantes.

II.3.1 Ecoulement de puissance en AC

II.3.1.1. Méthode de Gauss Seidel :

Cette méthode consiste à enlever séquentiellement chaque nœud et actualiser sa tension en fonction des valeurs disponibles de toutes les tensions. Pour le cas concret de l'écoulement de puissance, la résolution de l'équation nodale suivante :

$$I_i = Y_{i1} \square V_1 + Y_{i2} + \ldots\ldots\ldots Y_{in} \square V_n = \sum_{K=1}^{N} Y_{ik} \square V_k \qquad \textbf{(II.13)}$$

En général, on calcule le vecteur V qui satisfait le système non linéaire est :

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left| \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{j=1}^{N} Y_{ik} \square V_j \right| \qquad \textbf{(II.14)}$$

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{\left(V_i^k\right)^*} - \sum_{i=1}^{i=k} Y_{ik} \square V_j^{k+1} \sum_{i=k+1}^{N} Y_{ik} \square V_j^k \right| \qquad \textbf{(II.15)}$$

Le processus itératif est obtenu quand l'expression suivante est satisfaite :

$$\max |V_i^{k+1} - V_i^k| \leq \varepsilon \qquad \textbf{(II.16)}$$

La convergence de la méthode est atteinte lorsque la différance entre la tension calculée et celle qui la procédé pour chaque nœud soit inférieur à une précision (ε) donnée par l'utilisateur [8]:

$$\max|V_i^{k+1} - V_i^k| = \max \Delta V^{(k)} \leq \varepsilon \qquad \textbf{(II.17)}$$

II.3.1.2. Méthode de Newton-Raphson :

Cette méthode implique des résolutions répétées d'un système d'équations linéaires, qui sont une approximation linéaire du système original d'équations non linéaires. Cette approximation linéaire est obtenue par un développement en série de Taylor de ces deux expressions. On est ainsi conduit à formuler le système linéaire :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^{N} |Y_{ij}||V_i||V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) = F_{ip} \\ Q_i = \sum_{j=1}^{N} |Y_{ij}||V_i||V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) = F_{ip} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N \qquad \textbf{(II.18)}$$

Où :

$F_{ip}^{(0)}$ Et $F_{iq}^{(0)}$ sont des fonctions de tension et de phase :

A partir de la relation de $\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$ Avec :

- $\Delta P_i^{(0)} = P_i - F_{ip}^{(0)}$ **(II.19)**
- $\Delta Q_i^{(0)} = Q_i - F_{ip}^{(0)}$ **(II.20)**

Donc on peut écrire le système comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(II.21)}$$

On rappelle que :

$$\Delta\delta_i^{(k)} = \delta_i^{(k+1)} - \delta_i^{(k)} \quad \textbf{(II.22)}$$

$$\Delta|V_i|^{(k)} = |V_i|^{(k+1)} - |V_i|^{(k)} \quad \textbf{(II.23)}$$

L'adaptation de (II.21) avec (II.23) donne :

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V_i|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_i^{(k)} \\ |V_i|^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} \left[+J^{(k)}\right]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.24)}$$

D'une manière générale :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.25)}$$

$$[J] = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.26)}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.27)}$$

J_1, J_2, J_3, J_4 Sont les sous matrice de Jacobienne.

II.3.1.2.a. Détermination des sous matrices de la Jacobienne J :

A partir du système d'équations (II.1) on peut déterminer les éléments de J

- **Sous matrice J_1 :**

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = -|Y_{ij}||V_i||V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) \quad , i \neq j \quad \textbf{(II.28)}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N} |Y_{ij}||V_i||V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) \quad , i = j \quad \textbf{(II.29)}$$

- **Sous matrice J_2 :**

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |Y_{ij}||V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) \quad , i \neq j \tag{II.30}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2\,|Y_{ij}||V_i| \cos(Y_{ij}) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N} |Y_{ij}||V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) \quad , i = j \tag{II.31}$$

- **Sous matrice J_3:**

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = |Y_{ij}||V_i||V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) \quad , i \neq j \tag{II.32}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N} |Y_{ij}||V_i||V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) \quad , i = j \tag{II.33}$$

- **Sous matrice J_4 :**

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -|Y_{ij}||V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) \quad , i \neq j \tag{II.34}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N} |Y_{ij}||V_i||V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + Y_{ij}) - 2\,|Y_{ij}||V_i| \sin(Y_{ij}) \ , i = j \tag{II.35}$$

II.3.1.3.Méthode découplée rapide (fast decoupled load flow) :

La méthode de Newton–Raphson converge localement, c'est-à-dire que le point de départ de l'algorithme $V_i^{(0)}$et $S_i^{(0)}$doit se trouver suffisamment proche de la solution. Son intérêt réside dans sa grande précision et sa vitesse de convergence qui est quadratique. Par contre, le calcul du Jacobien et sa factorisation à chaque itération peuvent demander un temps important sur ordinateur. Diverses techniques ont été mises en œuvre pour réduire cet inconvénient. L'une de ces approches largement utilisées, connue sous le nom de méthode découplée rapide, a été proposée par Stott et Alsac en 1974 [9].

Cette méthode est extrêmement rapide, puisqu'elle réduit considérablement les efforts de calcul, sans pour autant affecter la précision de calcul. Elle est une variante simplifiée de

Newton–Raphson, et elle est basée sur quelques approximations qui sont souvent valides sur le plan pratique. En pratique, les puissances actives dépendent peu des modules des tensions et les puissances réactives dépendent peu des phases des tensions. Ceci est d'autant plus vrai que les phases restent petites (réseau peu chargé), et les rapports $\frac{R}{X}$ faibles (réseaux à haute tension). Ce que réduit les dérivées à :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} = -|V_i||V_k||V_{ik}| \quad \textbf{(II.36)}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\frac{\partial |V_k|}{\partial |V_k|}} = -|V_i||V_k||Y_{ik}| \quad \textbf{(II.37)}$$

Si on exprimé les équations de réajustement de l'écoulement de puissance comme suivant

$$\partial P_i = \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_k}\right) \Delta \delta_k \quad \textbf{(II.38)}$$

$$\partial Q_i = \left| \frac{\partial Q_i}{\frac{\partial |V_k|}{\partial |V_k|}} \right| \frac{\Delta |V_k|}{\partial |V_k|} \quad \textbf{(II.39)}$$

Puis en substituant L'Eq (I.36) dans L'Eq (I. 38), et L'Eq (I. 37) dans L'Eq (I. 39), on aura :

$$\partial P_i = -|V_i||V_k||Y_{ik}|\Delta \delta_k \quad \textbf{(II.40)}$$

$$\partial Q_i = -|V_i||V_k||Y_{ik}| \frac{\Delta |V_k|}{\partial |V_k|} \quad \textbf{(II.41)}$$

Une simplification supplémentaire peut être alors faite comme suivant :

- On divise L'Eq (II. 40) et L'Eq (II. 41) par Vi
- On suppose que V_k □ 1 dans L'Eq (II. 40)

Il en résulte :

$$\partial P_i = -|Y_{ik}|\Delta \delta_k \quad \textbf{(II.42)}$$

$$\partial Q_i = -|Y_{ik}|\Delta |V_k| \quad \textbf{(II.43)}$$

On exprimé L'Eq (II. 42) et L'Eq (II. 43) avec deux équation matricielle :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{|V_1|} \\ \frac{\partial P_2}{|V_2|} \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Y_{11} & -Y_{12} & \cdots \\ -Y_{21} & -Y_{22} & \dots \\ \vdots & \square & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_1 \\ \Delta\delta_2 \\ \square \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.44)}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial Q_1}{|V_1|} \\ \frac{\partial Q_2}{|V_2|} \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Y_{11} & -Y_{12} & \cdots \\ -Y_{21} & -Y_{22} & \dots \\ \vdots & \square & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta|V_1| \\ \Delta|V_2| \\ \square \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.45)}$$

Il faut noter que deux équations (II. 44) et (II. 45) sont en fonction de même matrice. Ces deux matrices seront différentes avec les simplifications suivantes [10] :

1) On simplifié la relation enterΔP et $\Delta\delta$ dans L'Eq (II. 44) comme suivant :
   - Supposer que r_{ik} □ x_{ik} cela va changer $-Y_{ik}$ à $\frac{1}{X_{ik}}$;
   - Négligé tout les réactances shuntées à la terre ;
   - Négligé tout les shunts avec la terre qui résultent des autotransformateurs ;
2) On simplifié la relation enterΔQ et ΔV dans L'Eq (II. 45) comme suivant :
   - Négligé tout effets de transformateurs déphaseurs ;

Les équations simplifiées sont :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{|V_1|} \\ \frac{\partial P_2}{|V_2|} \\ \vdots \end{bmatrix} = [Y'] \begin{bmatrix} \Delta\delta_1 \\ \Delta\delta_2 \\ \square \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.46)}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial Q_1}{|V_1|} \\ \frac{\partial Q_2}{|V_2|} \\ \vdots \end{bmatrix} = [Y''] \begin{bmatrix} \Delta|V_1| \\ \Delta|V_2| \\ \square \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.47)}$$

Les éléments de matrice Y' et Y'' sont :

$$Y'_{ik} = \begin{cases} 1/x_{ik} & \textbf{supposant une branche entre les noeuds } i \textbf{ et } k; \\ 0 & \textbf{pas de branches entre les noeuds } i \textbf{ et } k; \end{cases}$$

$$Y'_{ii} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{x_{ik}} \quad \textbf{(II.48)}$$

$$Y''_{ik} = -Y_{ik} = -\frac{x_{ik}}{r_{ik}^2 + x_{ik}^2} \quad \textbf{(II.49)}$$

$$Y''_{ii} = \sum_{k=1}^{n} -Y_{ik} \quad \textbf{(II.50)}$$

II.3.2.Ecoulement de puissance en DC (EP DC):

Pour un réseau avec 50,000 nœuds, avec peut-être 2000 contingences à évaluées, si chaque exécution d'EP exige 10 secondes, il nous faut 5,5 heures sur un ordinateur séquentiel. Bien sûr, nous pouvons utiliser le parallélisme sur ce problème (par exemple, 10 ordinateurs, avec chaque assigné pour exécuter 200 éventualités, ferons faire le travail dans environ 33 minutes).

Mais si nous pouvons réduire le temps à 0,1 secondes au lieu de 10. Où l'ordinateur séquentiel exige seulement 3,3 minutes et les 10 ordinateurs parallèles exigent seulement 20 secondes !

Cela n'est possible que si nous utilisons une variante d'EP avec des hypothèses approximatives. C'est le cas de l'EP DC que nous présentons ci-dessous :-

II.3.2.1 : Approximations des équations de l'EP:

Reconsidérons les équations de l'EP :

$$\begin{aligned} P_K &= \sum_{j=1}^{N} |V_k||V_J| \left(G_{kj}\cos(\theta_k - \theta_j) + B_{kj}\sin(\theta_k - \theta_j)\right) \\ Q_K &= \sum_{j=1}^{N} |V_k||V_J| \left(G_{kj}\sin(\theta_k - \theta_j) - B_{kj}\cos(\theta_k - \theta_j)\right) \end{aligned} \quad \textbf{(II.51)}$$

Nous allons utiliser 03 propriétés observées sur les Réseaux Electriques (RE) de Transport

Observation 1 : la résistance est nettement petite devant la réactance. Généralement, c'est le cas des RE avec $\frac{X}{R}$ entre 2 et 10. Ainsi n'importe quel ligne d''impédance z = $z = r + jx$ne admittance égale à :

$$y = \frac{1}{z} = \frac{1}{r+jx} = \frac{1}{r+jx} \cdot \frac{r-jx}{r-jx} = \frac{r-jx}{r^2-x^2} = \frac{r}{r^2+x^2} - \frac{jx}{r^2+x^2} = g + jb \quad \textbf{(II.52)}$$

Avec :

$$g = \frac{r}{r^2 + x^2} \quad et\ b = -\frac{x}{r^2 + x^2}$$

Si r est très petit comparé à x, donc nous aurons que g sera très petit comparé à b et il est raisonnable de rapprocher équation **(II.53)** Comme :

$$g = 0 \text{ et } b = \frac{-1}{x} \qquad \textbf{(II.54)}$$

Maintenant, si $g = 0$, donc toute les parties réelles d'éléments de Y_{bus} seront nulles, $g = 0 \rightarrow G = 0$.

Utilisons cette propriété à **(II.50)** :

$$P_K = \sum_{j=1}^{N} |V_k||V_j| \left(B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j)\right)$$

$$Q_K = \sum_{j=1}^{N} |V_k||V_J| \, G_{kj}\left(-B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j)\right) \qquad \textbf{(II.55)}$$

Observation 2: Pour la plupart des conditions de fonctionnement, la différence des angles de tension de deux bus k et j connectés $\theta_k - \theta_i$ est moins de 10 à 15°.

Il est extrêmement rare que cette différence excède 30 degrés.
Considérez-le, dans Eq. **(II.55)** , la séparation

Donc :

$$\sin(\theta_k - \theta_j) = \theta_k - \theta_j$$

$$\cos(\theta_k - \theta_j) = 1$$

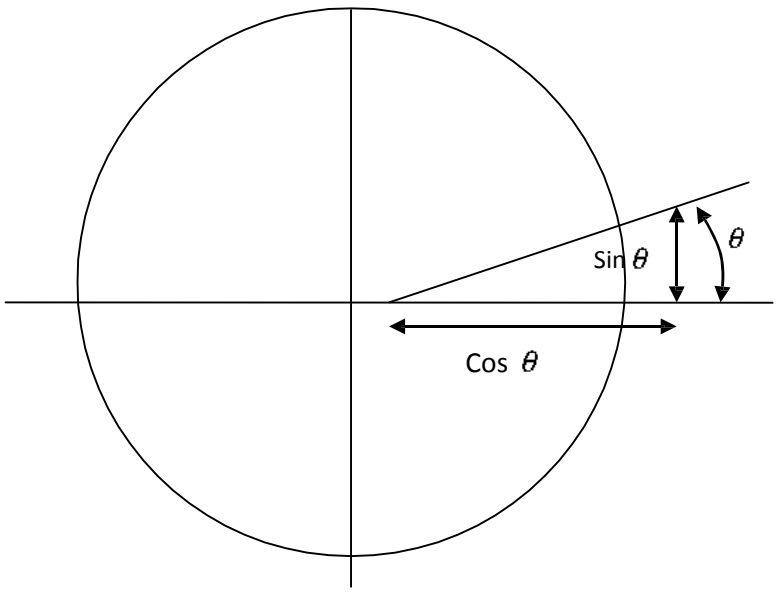


***Figure* II.1**: *Cercle unitaire*

En conséquence :

$$P_k = \sum_{j=1}^{N} |V_k|\,|V_j|(B_{kj}(\theta_k - \theta_j))$$
$$Q_k = \sum_{j=1}^{N} |V_k|\,|V_j|(-B_{kj}) \qquad \textbf{(II.56)}$$

Maintenant, examinant **(II.56)** qui est en relation de termes de B_{kj} .

- Si $k \neq j$, $B_{kj} = -b_{kj}$,
- Si = j , donc $B_{kk} = b_k + \sum_{j=1, j\neq k}^{N} b_{kj}$
-

II.3.2.2 : Ecoulement de Puissance Réactive (EPR) :

L'équation de EPR de **(II.56)** peut être récrit en retirant le terme de $k = j$ de l'addition.

$$Q_k = \sum_{j=1}^{N} |V_k|\,|V_j|(-B_{kj}) = -|V_k|^2 B_{kk} - \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{N} |V_k|\,|V_j|(B_{kj})$$

Et aussi ;

$$Q_k = -|V_k|^2 \left(b_k + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{N} b_{kj} \right) - \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{N} |V_k||V_j|\,(-b_{kj})$$

$$= -|V_k|^2 b_k - |V_k|^2 \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{N} b_{kj} + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{N} |V_k||V_j|\,(b_{kj})$$

Et en fin

$$Q_k = -|V_k|^2 b_k - \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{N} |V_k| b_{kj}\,(|V_k| - |V_j|) \qquad \textbf{(II.57)}$$

Notez parce que nous avons défini l'accès de circuit entre des bus k et j comme $y_{kj} = g_{kj} + jb_{kj}$, et parce que tous les circuits ont les éléments de série qui sont inductifs, la valeur numérique de b_{kj} est négative. Ainsi, nous pouvons récrire Eq. **(II.57)** comme :

$$Q_k = -|V_k|^2 b_k - \sum_{j=\overline{1,j\neq k}}^{N} |V_k| b_{kj} \left(|V_k| - |V_j|\right) \quad \textbf{(II.58)}$$

Ainsi il y a deux termes principaux dans Eq. **(II.58) .**

- Le premier terme correspond à la puissance réactif fournie (si un condensateur) ou consommé (si un inducteur) au nœud k
- Le deuxième terme correspond à la puissance réactive coulant sur les lignes connectées au nœud $\boldsymbol{k}$.

II.3.2.3 : Ecoulement de Puissance Active (EPA) :

Considérez maintenant l'équation d'EP **(II.56)** et faisons de même comme précédemment

$$P_k = \sum_{\overline{j=1}}^{N} |V_k||V_j| \left(B_{kj}(\theta_k - \theta_j)\right) = |V_k|^2 \left(B_{kk}(\theta_k - \theta_k)\right) + \sum_{\substack{\overline{j=1,} \\ j\neq k}}^{N} |V_k| |V_j| \left(B_{kj}(\theta_k - \theta_j)\right)$$

Ici, nous voyons que le premier terme est le zéro, pour que :

$$P_k = \sum_{j=\overline{1,j\neq k}}^{N} |V_k||V_j| B_{kj}(\theta_k - \theta_j) \quad \textbf{(II.59)}$$

Quelques commentaires de cette expression :

- Il n'y a aucun "d'abord le terme" correspondant pour shunter des éléments comme il y avait pour l'équation de puissance réactive. La raison pour cela est Cela, parce que nous avons supposé que R=0 pour le réseau entier, il ne peut pas y avoir shunte l'élément résistif dans notre modèle. Ceci se conforme en réalité à la réalité puisque nous n'unissons (connectons) jamais un résistif shuntent dans le système de transmission (ceci serait équivalent à un appareil de chauffage géant!).
  Le seul endroit(place) où nous voyons vraiment en réalité un effet
  Qui devrait être modelé comme une résistance pour grincer est dans les transformateurs la perte principale sont si modelés. Mais la valeur de cette résistance a tendance à être extrêmement grande, impliquant la conductance correspondante (G) est extrêmement petit et il est très raisonnable de supposer que c'est le zéro.
- Donc le terme que nous voyons dans Eq. **(II.59)** représente le flux de puissance réel sur les circuits connectés pour transporte. On voit, alors, Ce chaque circuit aura le flux de puissance réel par-unité dans la proportion (à a) le bus k et des ampleurs de tension j et (b) la différence angulaire à travers le circuit. En outre, rappelant que $B_{kj=} - b_{kj}$et aussi que tous les circuits de transmission ont la série. Les éléments qui sont inductifs,

la valeur numérique de b sont négatifs, impliquant que la valeur numérique de B est positive. Donc, la direction de flux sera du bus avec le plus grand angle au bus avec l'angle plus petit.

Observation 3 : Dans le système des unités réduire (le per unit), les valeurs numériques d'ampleurs de tension$|V_k|$et$|V_j|$sont très proche à 1.0. La gamme typique sous la plupart des conditions de fonctionnement est 0.95 à 1.05. en conséquence, les équation des EPR et EPA de viendrons :

$$Q_k = -b_k + \sum_{j=1, j\neq k}^{N} |b_{kj|} \left(|V_k| - |V_j|\right)=0 \qquad \textbf{(II.60)}$$

$$P_k = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq k}}^{N} \left(B_{kj}(\theta_k - \theta_j)\right) \qquad \textbf{(II.61)}$$

II.3.2.4 : Un exemple pour le DC LF :

Il est intéressant d'effectuer un exemple simple pour illustrer le LF DC.

Considérons le réseau 4-bus donné dans la figure. 2. Tous les cinq lignes ont le même l'admission, et cette admission n'a pas de partie réelle. Toutes les quantités sont exprimées en pu.

Le problème est de calculer les flux de puissance dans toutes les lignes.

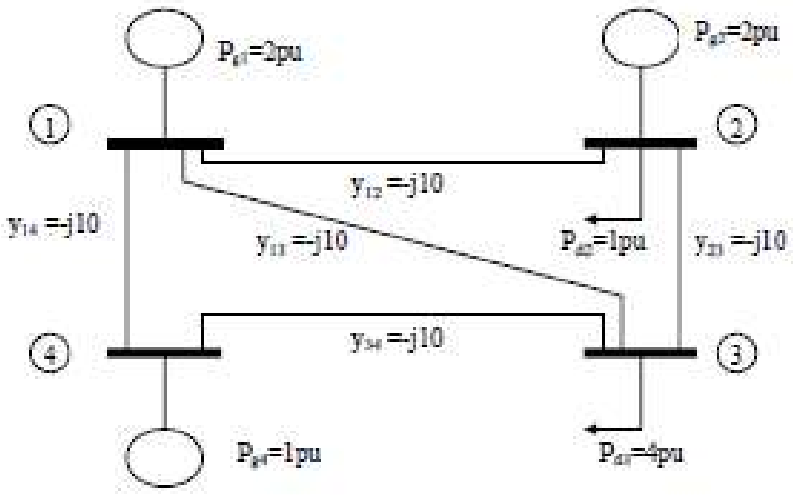


Figure* II.2:** *réseau Quatre-bus utilisé dans l'exemple.**

Ecrivions d'abord**(II.61)** pour chaque bus, en commençant par le 1er nœud.

$$P_1 = B_{12}(\theta_1 - \theta_2) + B_{13}(\theta_1 - \theta_3) + B_{14}(\theta_1 - \theta_4)$$

$$= B_{12}\theta_1 - B_{12}\theta_2 + B_{13}\theta_1 - B_{13}\theta_3 + B_{14}\theta_1 + B_{14}\theta_1 - B_{14}\theta_4$$

Arrangeons cette expression, nous obtiendrons :

$$P_1 = (B_{12} + B_{12} + B_{14})\theta_1 - B_{12}\theta_2 - B_{14}\theta_4 \qquad \textbf{(II.62)}$$

De même pour le second nœud :-

$$P_2 = B_{21}(\theta_2 - \theta_1) + B_{23}(\theta_2 - \theta_3) + B_{14}(\theta_2 - \theta_4)$$

$$= B_{21}\theta_2 - B_{21}\theta_1 + B_{23}\theta_2 - B_{23}\theta_3 + B_{24}\theta_2 + B_{24}\theta_2 - B_{24}\theta_4$$

$$P_2 = -B_{21}\theta_1 + (B_{21} + B_{23} + B_{24})\theta_2 - B_{23}\theta_3 + B_{24}\theta_4 \qquad \textbf{(II.63)}$$

Et en fin ;

$$P_1 = (B_{12} + B_{13} + B_{14})\theta_1 - B_{12}\theta_2 - B_{13}\theta_3 - B_{14}\theta_4$$

$$P_2 = -B_{21}\theta_1 + (B_{21} + B_{23} + B_{24})\theta_2 - B_{23}\theta_3 - B_{24}\theta_4$$

$$P_3 = -B_{31}\theta_1 - B_{32}\theta_2 + (B_{31} + B_{32} + B_{34})\theta_3 - B_{34}\theta_4$$

$$P_4 = -B_{41}\theta_1 - B_{42}\theta_2 - B_{43}\theta_3 + (B_{41} + B_{42} + B_{43})\theta_4$$

On peut écrire ces équations sous forme matricielle, selon:

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{12}+B_{13}+B_{14} & -B_{12} & -B_{13} & -B_{14} \\ -B_{21} & B_{21}+B_{23}+B_{24} & -B_{23} & -B_{24} \\ -B_{31} & -B_{32} & B_{31}+B_{32}+B_{34} & B_{34} \\ -B_{41} & -B_{42} & -B_{12} & B_{41}+B_{42}+B_{43} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.64)}$$

Pour obtenir la matrice, il est utile de commencer par écrire le Y:

$$Y = j\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} \end{bmatrix}$$

$$= j\begin{vmatrix} b_1+b_{12}+b_{13}+b_{14} & -b_{12} & -b_{13} & -b_{14} \\ -b_{21} & b_2+b_{21}+b_{23}+b_{24} & -b_{23} & -b_{24} \\ -b_{31} & -b_{32} & b_3+b_{31}+b_{32}+b_{34} & b_{34} \\ -b_{41} & -b_{42} & -b_{43} & b_4+b_{41}+b_{42}+b_{43} \end{vmatrix}$$

$$Y = j\begin{vmatrix} -30 & 10 & 10 & 10 \\ 10 & -20 & 10 & 0 \\ 10 & 10 & -30 & 10 \\ 10 & 0 & 10 & -20 \end{vmatrix}$$

Donc, nous observons facilement ici que, par exemple, $B11 = -30, B12 = 10, B13 = 10\ et\ B14 = 10$, et est similaire pour les trois autres rangées.

Donc, en utilisant les valeurs Y-bus, nous pouvons exprimer éq. **(II.64)** en tant que:

$$\begin{vmatrix} 2 \\ 1 \\ -4 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 30 & -10 & -10 & -10 \\ -10 & 20 & -10 & 0 \\ -10 & -10 & 30 & -10 \\ -10 & 0 & -10 & -20 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{vmatrix} \quad \textbf{(II.65)}$$

Ensuite, les angles sont donnés par:

$$\begin{vmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 30 & -10 & -10 & -0 \\ -10 & 20 & -10 & 0 \\ -10 & -10 & 30 & -10 \\ -10 & 0 & -10 & 20 \end{vmatrix}^{-1} \begin{vmatrix} 2 \\ 1 \\ -4 \\ 1 \end{vmatrix} \quad \textbf{(II.66)}$$

Prenons le nœud 1 comme référence ($\theta_1 = 0$)

$$\begin{vmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 20 & -10 & 0 \\ -10 & 30 & -10 \\ 0 & -10 & -20 \end{vmatrix}^{-1} \begin{vmatrix} 1 \\ -4 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0.025 \\ -0.15 \\ -0.025 \end{vmatrix} \quad \textbf{(II.67)}$$

Pour les flux de puissance, l'équation suivante est utilisée :

$$P_{kj} = B_{kj}(\theta_k - \theta_j) \qquad \textbf{(II.68)}$$

A.N.

$$P_{12} = B_{12}(\theta_1 - \theta_2) = 10\big(0 - (-0.025)\big) = 0.25$$

$$P_{13} = B_{13}(\theta_1 - \theta_3) = 10\big(0 - (-0.15)\big) = 0.15$$

$$P_{14} = B_{14}(\theta_1 - \theta_4) = 10\big(0 - (-0.025)\big) = 0.25$$

$$P_{23} = B_{23}(\theta_2 - \theta_3) = 10\big(-0.025 - (-0.15)\big) = 1.25$$

$$P_{34} = B_{34}(\theta_3 - \theta_4) = 10\big(-0.15 - (-0.025)\big) = -1.25$$

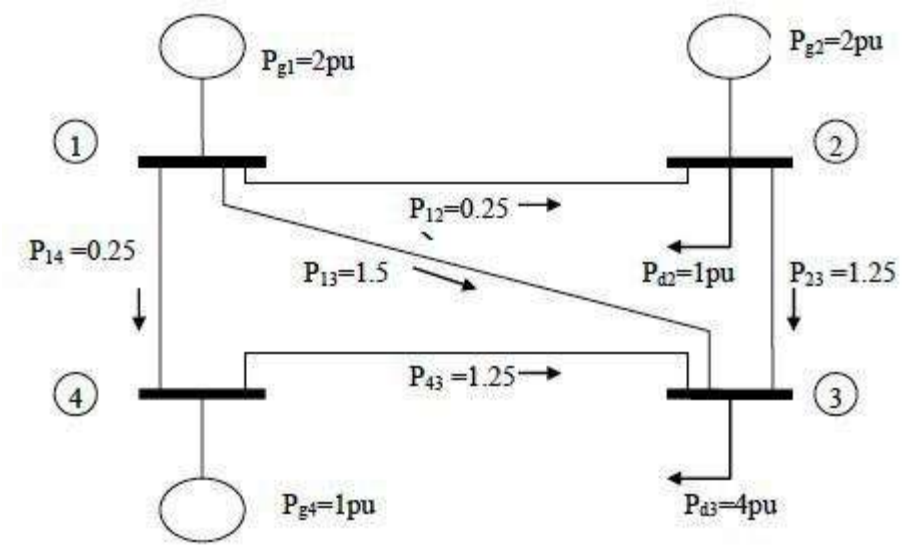


***Figure* II.3**: *les flux calculés pour réseau à quatre bus utilisés dans l'exemple*

II.4.Conclusion :

L'importance de l'étude de l'écoulement de puissance est capitale pour l'obtention de tous les paramètres du réseau électrique pour chaque nœud : Puissance (Active et Réactive) Tension (Module et Angle). Parmi les méthodes de résolution, on a choisi la méthode de GAUSS-SEIDEL, la méthode de NEWTON-RAPHSON et la méthode DECOUPLEE RAPIDE en AC puis on fait le même travail en DC.

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, après la programmation qu'on a élaboré sous l'environnement matlab sur le réseau IEEE 30 nœud a courant continu et aussi a courant alternatif, nous allons présenter les résultats des chaque variables (résultat de tension, d'angle, et des puissances) sous formes des tableaux.

De suite pour finir ce travail une partie comparative entres (LF-DC) et (LF-AC)

Sera effectuer sur les résultats obtenus a partir de notre programme réalisé, a fin de voir les avantages et les inconvénients de l'écoulement de puissance AC et DC.

III.2.Applications et simulation

Dans ce travail, on a appliquer les méthodes itératives (newton raphson ,gauss Seidel , découplée rapide) pour la résolution du problème d'écoulement de puissance à courant alternatif ,et une d'autre méthodes pour un courant continue , ces méthodes été faite sur un réseau IEEE-30 nœuds , à la fin nous avons fait une comparaison entre les 2 méthodes.

- **Le réseau IEEE-30 nœuds [13]**

Le réseau de transport qui va servir de base à notre étude dans un premier test, est issu d'un réseau réel simplifié qui est le réseau IEEE-30 nœuds. Ce réseau électrique est constitué de 30 nœuds et 2 générateurs (aux nœuds n=° 1 et 2) injectant leurs puissances à un système alimentant 24 charges à travers 41 lignes de transport. ce réseau est illustré dans la figure suivante :

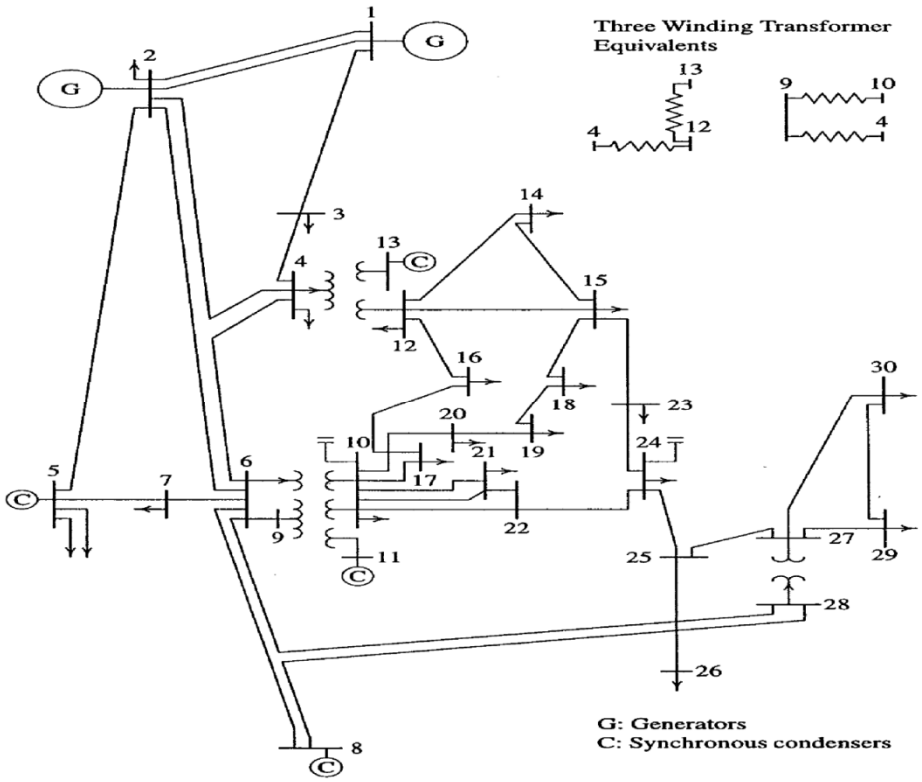


Figure III.1. *Le réseau IEEE-30 nœuds*

La matrice admittance de ce réseau est creuse elle constituer 900 composants.

La puissance de base de ce réseau S_{base} égal à 100 MVA.

Les données des lignes et des jeux de barres de ce réseau sont données dans les tableaux (A-1), (A-2) de l'Annexe.

III.2.1.résultats des tensions :

Tableau 3.1. *Tension pour les quatre méthodes*

	Gauss-Seidel	***Newton - RAPHSON***	***Fast decoupled***	***DC***
Nœuds	***V(pu)***	***V(pu)***	***V(pu)***	***V (pu)***
1	**1.0600**	**1.0600**	**1.0600**	**1**
2	**1.0430**	**1.0430**	**1.0380**	**1**
3	**1.0256**	**1.0215**	**1.0182**	**1**
4	**1.0182**	**1.0129**	**1.0088**	**1**
5	**1.0100**	**1.0100**	**1.0050**	**1**
6	**1.0154**	**1.0121**	**1.0075**	**1**
7	**1.0054**	**1.0034**	**0.9985**	**1**
8	**1.0100**	**1.0100**	**1.0050**	**1**
9	**1.0386**	**1.0510**	**1.0481**	**1**
10	**1.0166**	**1.0444**	**1.0407**	**1**
11	**1.0820**	**1.0820**	**1.0820**	**1**
12	**1.0407**	**1.0574**	**1.0529**	**1**
13	**1.0710**	**1.0710**	**1.0660**	**1**
14	**1.0207**	**1.0424**	**1.0380**	**1**
15	**1.0171**	**1.0378**	**1.0339**	**1**
16	**1.0231**	**1.0447**	**1.0406**	**1**
17	**1.0132**	**1.0391**	**1.0354**	**1**
18	**1.0026**	**1.0279**	**1.0243**	**1**
19	**0.9979**	**1.0253**	**1.0217**	**1**
20	**1.0017**	**1.0293**	**1.0257**	**1**
21	**1.0027**	**1.0321**	**1.0285**	**1**
22	**1.0037**	**1.0327**	**1.0290**	**1**
23	**1.0041**	**1.0272**	**1.0236**	**1**
24	**0.9957**	**1.0216**	**1.0182**	**1**
25	**0.9958**	**1.0189**	**1.0150**	**1**
26	**0.9778**	**1.0012**	**0.9981**	**1**
27	**1.0043**	**1.0257**	**1.0214**	**1**
28	**1.0127**	**1.0107**	**1.0061**	**1**
29	**0.9851**	**1.0059**	**1.0024**	**1**
30	**0.9733**	**0.9945**	**0.9913**	**1**

III.2.2.résultats des angles :

Tableau 3.2. *Déphasage pour les quatre méthodes*

	Courant alternatif (AC)			
	Gauss-Seidel	***Newton-raphson***	***Fast decoupled***	***DC***
nœuds	***Delta (degré)***	***Delta (degré)***	***Delta (degré)***	***Delta (degré)***
1	**0**	**0**	**0**	**0**
2	**-1.0902**	**-5.4969**	**-5.4316**	**-6.3290**
3	**-0.6788**	**-8.0040**	**-7.9889**	**-9.4085**
4	**-1.0841**	**-9.6615**	**-9.6609**	**-11.3778**
5	**-7.0419**	**-14.3813**	**-14.4035**	**-16.1869**
6	**-1.7678**	**-11.3980**	**-11.3980**	**-13.3051**
7	**-4.4547**	**-13.1495**	**-13.1657**	**-15.1895**
8	**-2.2422**	**-12.1153**	**-12.1133**	**-14.1038**
9	**-1.3123**	**-14.4339**	**-14.4602**	**-17.0580**
10	**-1.6097**	**-16.0242**	**-16.0636**	**-18.8844**
11	**-1.2973**	**-14.4339**	**-14.4602**	**-17.0580**
12	**-2.3587**	**-15.3025**	**-15.3276**	**-18.1529**
13	**-2.3478**	**-15.3025**	**-15.3276**	**-18.1529**
14	**-2.5814**	**-16.1913**	**-16.2163**	**-19.4466**
15	**-2.2357**	**-16.2782**	**-16.3676**	**-19.6924**
16	**-2.1260**	**-15.8805**	**-15.9218**	**-18.9599**
17	**-1.9837**	**-16.1883**	**-16.2325**	**-19.2575**
18	**-1.8682**	**-16.8835**	**-16.9773**	**-20.4861**
19	**-1.8031**	**-17.0519**	**-17.1418**	**-20.6619**
20	**-1.8176**	**-16.8523**	**-16.9285**	**-20.2921**
21	**-1.3336**	**-16.4685**	**-16.5275**	**-19.6944**
22	**-1.4010**	**-16.4546**	**-16.5120**	**-19.6612**
23	**-2.1325**	**-16.6624**	**-16.7701**	**-20.2747**
24	**-2.0136**	**-16.8302**	**-16.9459**	**-20.4358**
25	**-2.1008**	**-16.4239**	**-16.4985**	**-19.8065**
26	**-2.5486**	**-16.8422**	**-17.0478**	**-20.9100**
27	**-2.7201**	**-15.9125**	**-15.9435**	**-18.8902**
28	**-1.9524**	**-12.0574**	**-12.0624**	**-14.1099**
29	**-3.6218**	**-17.1363**	**-17.2263**	**-20.7390**
30	**-4.7118**	**-18.0147**	**-18.1309**	**-21.9590**
Nombre d'itération	**5**	**5**	**5**	**1**
mis match	**0.597981**	**7.54898e-007**	**0.0369728**	**0.002658**
temps	**7.935975 seconds.**	**1.029758 seconds**	**5.992253 seconds**	**0.028850 seconds**

III.2.3.résultats des puissances :

Tableau 3.3.les transmit dans les line pour les quatre méthodes

GAUSS				*FDLF*		*NR*		*DCLF*	
i	j	P_{ij}	Q_{ij}	P_{ij}	Q_{ij}	P_{ij}	Q_{ij}	P_{ij}	Q_{ij}
1	**2**	**42,4337**	**14,5517**	**177,7246**	**-13,1624**	**177,7779**	**-22,1476**	**192,1087**	**0**
1	**3**	**11,1135**	**14,7530**	**83,2559**	**6,9831**	**83,2206**	**5,1268**	**88,666**	**0**
2	**1**	**-42,0736**	**-19,3114**	**-172,3094**	**23,5690**	**-172,3144**	**32,6714**	**-192,1087**	**0**
2	**4**	**4,3596**	**11,4840**	**45,7973**	**2,1014**	**45,7118**	**2,7049**	**50,7298**	**0**
2	**5**	**56,6843**	**4,4547**	**82,9823**	**1,7067**	**82,9904**	**1,7035**	**86,7632**	**0**
2	**6**	**11,2818**	**10,6435**	**61,9095**	**-1,2560**	**61,9121**	**-0,9577**	**69,0615**	**0**
3	**1**	**-10,9470**	**-18,5083**	**-80,4329**	**0,1767**	**-80,4124**	**1,9585**	**-88,666**	**0**
3	**4**	**23,6170**	**11,4082**	**78,7295**	**-1,4217**	**78,0124**	**-3,1585**	**90,6882**	**0**
4	**2**	**-4,2544**	**-15,0724**	**-44,6789**	**-2,5481**	**-44,6053**	**-3,2223**	**-50,7298**	**0**
4	**3**	**-23,5294**	**-12,0338**	**-77,9402**	**2,8253**	**-77,2416**	**4,5025**	**-90,6882**	**0**
4	**6**	**29,4014**	**-1,8499**	**69,8430**	**-16,3647**	**70,1255**	**-17,5259**	**81,2506**	**0**
4	**12**	**9,8789**	**22,1848**	**43,9538**	**14,6519**	**44,1214**	**14,6457**	**46,1901**	**0**
5	**2**	**-55,2705**	**-2,9207**	**-79,9589**	**6,6329**	**-79,9952**	**6,4745**	**-86,7632**	**0**
5	**7**	**-32,4641**	**16,7396**	**-14,1350**	**10,4472**	**-14,2047**	**10,5000**	**-15,0065**	**0**
6	**2**	**-11,1280**	**-14,1389**	**-59,8424**	**3,6154**	**-59,8643**	**3,2220**	**-69,0615**	**0**
6	**4**	**-29,3019**	**1,2655**	**-69,243**	**17,5375**	**-69,5213**	**18,7054**	**-81,2506**	**0**
6	**7**	**56,7998**	**-5,6605**	**37,6654**	**-1,4101**	**37,5231**	**-1,8851**	**40,1077**	**0**
6	**8**	**22,1335**	**6,2464**	**29,4702**	**-2,6530**	**29,5283**	**-3,7540**	**33,1908**	**0**
6	**9**	**-4,1217**	**-0,1746**	**27,7298**	**-8,1114**	**27,6927**	**-7,3222**	**31,4903**	**0**
6	**10**	**-0,5288**	**5,8834**	**15,8308**	**0,4584**	**15,8227**	**0,6525**	**17,5138**	**0**
6	**28**	**6,3067**	**-3,9501**	**18,8106**	**-9,4861**	**18,8187**	**-9,6184**	**23,4499**	**0**
7	**5**	**33,0819**	**-17,2532**	**14,286**	**-12,1135**	**14,3558**	**-12,1867**	**15,0065**	**0**
7	**6**	**-55,9583**	**6,5092**	**-37,2922**	**0,8462**	**-37,1558**	**1,2867**	**-40,1077**	**0**
8	**6**	**-22,0712**	**-6,9514**	**-29,367**	**2,1030**	**-29,4248**	**3,1961**	**-33,1908**	**0**
8	**28**	**-2,7394**	**-2,6635**	**-0,5738**	**-2,5544**	**-0,5751**	**-2,3696**	**0,05317**	**0**
9	**6**	**4,1217**	**0,2075**	**-27,7298**	**9,7474**	**-27,6927**	**8,916**	**-31,4903**	**0**
9	**11**	**-0,1409**	**-21,6802**	**3,68E-14**	**-17,1043**	**5,90E-14**	**-15,6569**	**-2,6688**	**0**
9	**10**	**4,9827**	**20,7415**	**27,7447**	**7,3519**	**27,6927**	**6,7409**	**28,9789**	**0**
10	**6**	**0,5288**	**-5,7067**	**-15,8307**	**0,8315**	**-15,8227**	**0,6257**	**-17,5138**	**0**
10	**9**	**-4,9827**	**-20,2775**	**-27,7447**	**-6,5269**	**-27,6927**	**-5,9320**	**-28,9789**	**0**
10	**20**	**4,1810**	**5,3891**	**9,2456**	**3,4291**	**9,0274**	**3,5597**	**11,7558**	**0**
10	**17**	**8,3185**	**0,9448**	**5,4994**	**4,5367**	**5,3717**	**4,4139**	**7,70616**	**0**
10	**21**	**1,8470**	**18,0903**	**16,0551**	**9,6484**	**15,7331**	**9,8423**	**18,8748**	**0**

10	**22**	**1,4288**	**8,0589**	**7,7303**	**4,4083**	**7,5831**	**4,4903**	**9,04483**	**0**
11	**9**	**0,1409**	**22,5867**	**-3,68E-14**	**17,6583**	**-5,90E-14**	**16,1185**	**2,6688**	**0**
12	**4**	**-9,879**	**-20,9197**	**-43,9534**	**-9,9611**	**-44,1214**	**-9,9611**	**-46,1901**	**0**
12	**13**	**-0,152**	**-22,5129**	**1,34E-13**	**-9,8853**	**3,47E-14**	**-10,2909**	**0**	**0**
12	**14**	**4,4929**	**5,9857**	**7,7823**	**2,4071**	**7,8563**	**2,4415**	**8,8237**	**0**
12	**15**	**6,2320**	**15,7087**	**18,2820**	**6,1664**	**17,8573**	**6,9472**	**20,6057**	**0**
12	**16**	**1,8149**	**8,3927**	**7,2015**	**3,1195**	**7,2077**	**3,3632**	**7,0893**	**0**
13	**12**	**0,1520**	**23,1680**	**-1,34E-13**	**10,0088**	**-3,47E-14**	**10,4235**	**0**	**0**
14	**12**	**-4,4292**	**-5,8534**	**-7,7086**	**-2,2539**	**-7,7817**	**-2,2866**	**-8,8237**	**0**
14	**15**	**-0,4849**	**2,3961**	**1,7084**	**0,2617**	**1,5817**	**0,6866**	**2,1481**	**0**
15	**12**	**-6,0574**	**-15,3649**	**-18,0597**	**-5,7284**	**-17,6399**	**-6,5190**	**-20,6057**	**0**
15	**14**	**0,4976**	**-2,3847**	**-1,7022**	**-0,2561**	**-1,5757**	**-0,6811**	**-2,1481**	**0**
15	**18**	**0,2590**	**6,6226**	**5,9652**	**1,6437**	**6,0143**	**1,7442**	**6,3398**	**0**
15	**23**	**1,8648**	**5,6059**	**5,0554**	**2,7760**	**5,0014**	**2,9559**	**5,0311**	**0**
16	**12**	**-1,7505**	**-8,2574**	**-7,149**	**-3,0091**	**-7,1542**	**-3,2507**	**-7,0893**	**0**
16	**17**	**0,7650**	**4,9092**	**3,5899**	**1,2868**	**3,6542**	**1,4507**	**2,7005**	**0**
17	**16**	**-0,7455**	**-4,8638**	**-3,5788**	**-1,2610**	**-3,6426**	**-1,4235**	**-2,7005**	**0**
17	**10**	**-8,2965**	**-0,8874**	**-5,4842**	**-4,4970**	**-5,3574**	**-4,3764**	**-7,70616**	**0**
18	**15**	**-0,2134**	**-6,5298**	**-5,9268**	**-1,5654**	**-5,9752**	**-1,6646**	**-6,3398**	**0**
18	**19**	**0,7335**	**3,2621**	**2,6875**	**0,7324**	**2,7752**	**0,7647**	**2,3747**	**0**
19	**18**	**-0,7264**	**-3,2478**	**-2,6828**	**-0,7228**	**-2,7702**	**-0,7545**	**-2,3747**	**0**
19	**20**	**-1,9246**	**-4,5913**	**-6,9721**	**-2,4689**	**-6,7297**	**-2,6454**	**-9,4899**	**0**
20	**19**	**1,9330**	**4,6082**	**6,9899**	**2,5045**	**6,7466**	**2,6792**	**9,4899**	**0**
20	**10**	**-4,1389**	**-5,2950**	**-9,1616**	**-3,2415**	**-8,9466**	**-3,3792**	**-11,7558**	**0**
21	**10**	**-1,7356**	**-17,8507**	**-15,9423**	**-9,4058**	**-15,6232**	**-9,6058**	**-18,8748**	**0**
21	**22**	**2,2731**	**-5,5791**	**-1,9436**	**-1,4881**	**-1,8767**	**-1,5942**	**-2,4537**	**0**
22	**10**	**-1,3816**	**-7,9617**	**-7,6771**	**-4,2987**	**-7,5313**	**-4,3836**	**-9,04483**	**0**
22	**21**	**-2,2689**	**5,5877**	**1,9442**	**1,4894**	**1,8774**	**1,5955**	**2,4537**	**0**
22	**24**	**6,2854**	**0,4918**	**5,9743**	**2,3995**	**5,6539**	**2,7880**	**7,5528**	**0**
23	**15**	**-1,8311**	**-5,5378**	**-5,0242**	**-2,7131**	**-4,9700**	**-2,8926**	**-5,0311**	**0**
23	**24**	**0,6123**	**2,8246**	**1,7642**	**1,1860**	**1,7700**	**1,2926**	**1,0418**	**0**
24	**22**	**-6,2401**	**-0,4212**	**-5,9293**	**-2,3294**	**-5,6110**	**-2,7213**	**-7,5528**	**0**
24	**23**	**-0,6015**	**-2,8022**	**-1,7585**	**-1,1744**	**-1,7640**	**-1,2803**	**-1,0418**	**0**
24	**25**	**0,3316**	**-0,2215**	**-1,4157**	**1,8094**	**-1,3248**	**1,6017**	**-3,3368**	**0**
25	**24**	**-0,3313**	**0,2221**	**1,4253**	**-1,7926**	**1,3326**	**-1,5881**	**3,3368**	**0**
25	**26**	**3,5660**	**2,3351**	**3,8626**	**1,9515**	**3,5445**	**2,3664**	**5,0686**	**0**
25	**27**	**2,4147**	**-5,2791**	**-5,0512**	**-0,4581**	**-4,8771**	**-0,7783**	**-7,6621**	**0**
26	**25**	**-3,5194**	**-2,2655**	**-3,8164**	**-1,8825**	**-3,5**	**-2,3**	**-5,0686**	**0**
27	**25**	**-2,3776**	**5,3500**	**5,0785**	**0,5102**	**4,9028**	**0,8274**	**7,6621**	**0**
27	**28**	**-3,5547**	**-10,5979**	**-18,1470**	**-4,0201**	**-18,1835**	**-4,1565**	**-21,0687**	**0**
27	**29**	**4,8562**	**2,0920**	**6,2738**	**1,4257**	**6,1894**	**1,6677**	**7,7696**	**0**
27	**30**	**6,5768**	**1,7702**	**7,1690**	**1,4249**	**7,0913**	**1,6614**	**8,8866**	**0**
28	**27**	**3,5547**	**11,0885**	**18,1470**	**5,3314**	**18,1835**	**5,4660**	**21,0687**	**0**
28	**8**	**2,7442**	**-1,6989**	**0,5741**	**-1,7724**	**0,5753**	**-1,9988**	**-0,05317**	**0**

28	**6**	**-6,2989**	**-9,3895**	**-18,7502**	**-3,4783**	**-18,7588**	**-3,4672**	**-23,4499**	**0**
29	**27**	**-4,7953**	**-1,9769**	**-6,1866**	**-1,2609**	**-6,1035**	**-1,5055**	**-7,7696**	**0**
29	**30**	**4,2234**	**0,3777**	**3,7306**	**0,5104**	**3,7035**	**0,6055**	**4,6972**	**0**
30	**27**	**-6,4296**	**-1,4930**	**-7,0050**	**-1,1163**	**-6,9298**	**-1,3575**	**-8,8866**	**0**
30	**29**	**-4,1789**	**-0,2937**	**-3,6967**	**-0,4464**	**-3,6701**	**-0,5424**	**-4,6972**	**0**

III.3. Interprétation :

- Le 1er tableau représenté les tensions pour les quatre méthodes avec les tensions en DC sont **1pu** (comme référence).

- Le 2eme tableau est le déphasage pour les quatre méthodes avec le nombre d'itération de chaque méthode et le temps d'exécution.

- Le 3eme tableau represent les transmit dans les lignes pour les quatre méthodes, on regard que en DC on juste la puissance active par contre en AC on a les deux puissance (active ET reactive).

  - Les tensions **Vi** de chaque nœud **I** de chaque ces méthodes (NR, GS, DR) en courant alternatif sont voisin de **1pu**.

  - les tensions **V**i de l'écoulement de puissance a courant continu égal a **1 pu**, car :
    1. il n'ya pas de déphasage entre le courant **Ii** et la tension **Vi.**
    2. Transmit de puissance active.
    3. Pas de puissance réactive.
    4. Chute de tension faible.
    5. La résistance est tré petit.

  - pour les angules α sont les mêmes pour l'écoulement de puissance a courant alternatif par contre sont un peu supérieures a courant continue car il n'ya pas de précision de calcul en LF DC.

  - La méthode de NR et très rapide que les autre méthodes en courant continue car :
    1. elle est très fiable
    2. extrêmement rapide pour la convergence
    3. le taux de convergence est relativement indépendant de la dimension du système étudié.
    4. Elle se faire selon les coordonnés rectangulaires ou polaires.

III.4. Partie comparative :

L'écoulement de puissance a courant continu est une simplification complète d'écoulement de puissance a courant alternatif , et en ne regarde que les flux des puissance active , et en négligeant les flux des puissances réactives et les pertes de transmission , cette méthode extrêmement rapide , mais pas nécessairement précise (a cause des approximations linéaires produites) , a l'inverse de la solution exact et non linéaire connue comme étant la méthode en courant alternatif (NR,GS,DR) encore plus ,sur le fait que le problème d'écoulement de puissance a DC est linéaire ,il est très souvent utilisé pour des études techno-économique des système d'alimentation pour évaluer l'influence des charges d'énergies commercial sur les flux d'énergie active dans le réseau de transport.

Conclusion général

Dans ce travail, nous avons traité le problème d'écoulement de puissance a courant alternatif et aussi a courant continu dans un réseau électrique, nous allons basé sur (LF-DC) qui est un problème non linéaire, puis ce travail a été consacré à l'étude des méthodes utilisées pour la résolution de ce problème.

Une des particularités importantes d'écoulement de puissance a courant continu, réside dans l'absence des pertes actives et les résistances des lignes et des transformateurs, ainsi que la considération des deux variables de contrôle: les puissances actives générées P_{g_i}et les angles de tensionθ_i, contrairement à l'écoulement de puissance à courant alternatif (AC LF), qui prend en considération toutes les paramètres précédents en agissant sur les variables de contrôle.

Pour les études requérants une précession de calcul, les méthodes (NEWTON-RAPHSON, GAUSS-SEIDEL) sont les meilleurs

Pour les études ou le temps de calcul est précisai la méthode DECOUPLEE RAPIDE et la méthode d'écoulement de puissance a courant continu sont les mieux adaptées.

Généralement, la méthode d'écoulement de puissance a courant continu est utilisé pour les problèmes de marché d'électricité ou la taille des réseaux est très importante, de ce fait les planificateurs optent pour cette dernière méthode.

Nous comptons prochainement entamner les études de gestion du marché d'électricité dans l'environnement dérégulé, ou l'écoulement de puissance a courant continu sera utilisé comme outil de base.

Comme perspective nous comptons appliquer le LF DC pour les études de marché d'électricité où les réseaux sont de taille largement importante.

BIBLIOGRAPHIE

[1]-Roger BALLAY, Jacques JOUAIRE, pierre MANUEL et Christian AUCOURT : (développement du réseau de transport et environnement) électricité de France _ direction des Etudes et Recherches, CLAMART, France.

[2]-Pierre BORNARD : (conduite d'un système de production –transport), EDF

[3]- Pierre BORNARD et Michel PAVARD : (réseaux d'interconnexion et de transport réglage et fonctionnement) , EDF

[4]-PERSOZ H.et ADJEMIAN R. (interconnexions et échanges d'énergie électrique en Europe), EDF

[5]-CHARLES AVRIL : (construction des lignes aériennes a haute tension). Editions Eyrolles, Paris V 1974.

[6]-GHODBANE FATHI , (**cours protection des réseaux électriques**)

[7]-Mr : SEDDIKI ZAHIRA : „„optimisation de l'écoulement de puissances dans un système d'énergie électrique par la méthode du point intérieur‟‟ ‟Magister en : Electrotechnique, Université H.B.Chlef, 2009.

[8]-M. RAHLI.„Contribution a l'étude de la répartition optimale des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique‟‟‟‟.Thèse de Doctorat, 06 Janvier 1996, Université des sciences technologiques UST Oran Algérie- Département d'Electrotechnique.

[9]-Mr : SEDDIKI ZAHIRA : „„optimisation de l'écoulement de puissances dans un système d'énergie électrique par la méthode du point intérieur‟‟‟‟, Magister en : Electrotechnique, Université H.B.Chlef,2009.

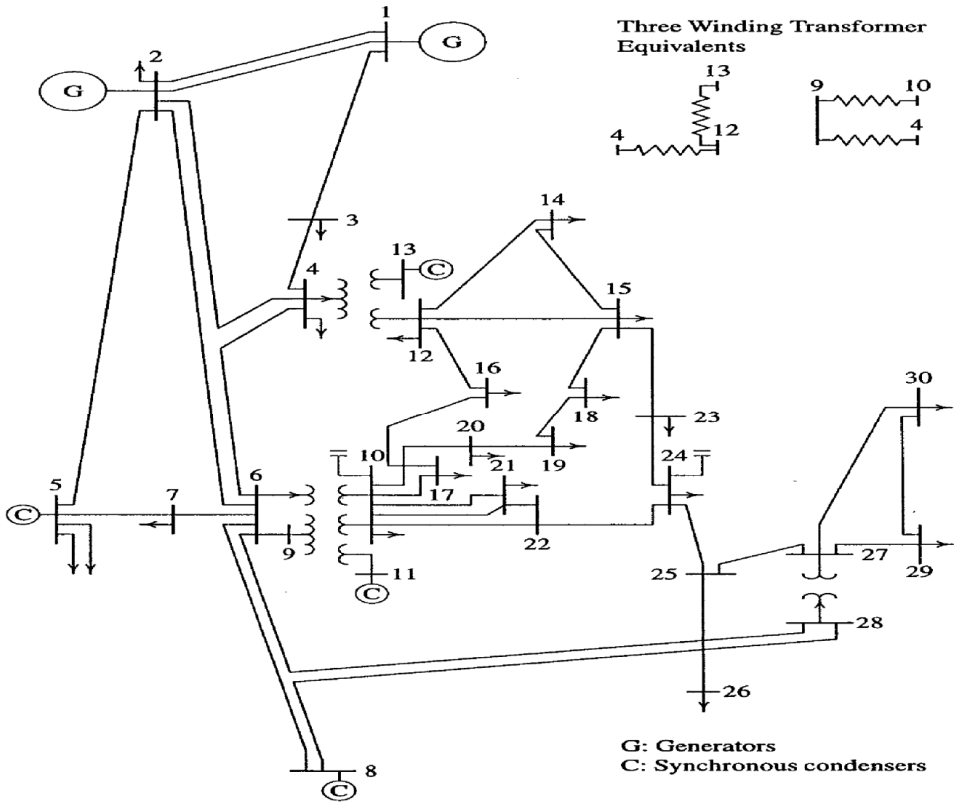
[10]-Mr : Mostefa HAMED "Dispatching Economique Dynamique par Utilisation de Méthodes d‟‟Optimisation globales‟‟‟‟Magisteren:Electrotechnique, Université Mohamed Khider – Biskra 2013.

[11]-Mr : Oussama MAMMERI, «Différentes méthodes de calcul de la puissance réactive dans une nœud a charge non linéaire en présence d'un système de compensation de l'énergie Magister en : Electrotechnique, Université de Batna, 2012.

[12] « Power Flow Equations », (class.ece.iastate.edu/ee458/PowerFlowEquations.doc).

[13]-Power System Analysis - Hadi Saadat

A-1 Réseau IEEE-30 nœuds 2 générateurs : [13]



A-2 Données des lignes de réseau IEEE-30 nœuds [13]

Tableau A.1 *des données lignes du réseau IEEE-30 nœuds (pu)*

Branche	*Nœud de départ*	*Nœud d'arrivée*	R_{ser}*[pu]*	X_{ser} *[pu]*	B_{shu} *[pu]*	S_{ij} *[pu]*
1	1	2	0.02	0.06	0.03	1.35
2	1	3	0.05	0.19	0.02	1.35
3	2	4	0.06	0.17	0.02	1.35
4	3	4	0.01	0.04	0	1.35
5	2	5	0.05	0.2	0.02	1.35
6	2	6	0.06	0.18	0.02	1.35
7	4	6	0.01	0.04	0	1.35
8	5	7	0.05	0.12	0.01	1.35

9	6	7	0.03	0.08	0.01	1.35
10	6	8	0.01	0.04	0	1.35
11	6	9	0	0.21	0	1.35
12	6	10	0	0.56	0	1.35
13	9	11	0	0.21	0	1.35
14	9	10	0	0.11	0	1.35
15	4	12	0	0.26	0	1.35
16	12	13	0	0.14	0	1.35
17	12	14	0.12	0.26	0	1.35
18	12	15	0.07	0.13	0	1.35
19	12	16	0.09	0.2	0	1.35
20	14	15	0.22	0.2	0	1.35
21	16	17	0.08	0.19	0	1.35
22	15	18	0.11	0.22	0	1.35
23	18	19	0.06	0.13	0	1.35
24	19	20	0.03	0.07	0	1.35
25	10	20	0.09	0.21	0	1.35
26	10	17	0.03	0.08	0	1.35
27	10	21	0.03	0.07	0	1.35
28	10	22	0.07	0.15	0	1.35
29	21	22	0.01	0.02	0	1.35
30	15	23	0.1	0.2	0	1.35
31	22	24	0.12	0.18	0	1.35
32	23	24	0.13	0.27	0	1.35
33	24	25	0.19	0.33	0	1.35
34	25	26	0.25	0.38	0	1.35
35	25	27	0.11	0.21	0	1.35
36	28	27	0	0.4	0	1.35
37	27	29	0.22	0.42	0	1.35
38	27	30	0.32	0.6	0	1.35
39	29	30	0.24	0.45	0	1.35
40	8	28	0.06	0.2	0.02	1.35
41	6	28	0.02	0.06	0.01	1.35

A-3 Données du réseau IEEE-30 nœuds [13]

A_3.1 .Busdata :

Tableau A.2. *Busdata*

Busdata										
Bus		***Voltage***	***angle***	***Load***		***generator***		***injected***		
No	***code***	***Mag***	***Degré***	***Mw***	***mvar***	***mw***	***mvar***	***qmin***	***Qmax***	***mvar***
1	**1**	**1,06**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
2	**2**	**1,043**	**0**	**21,7**	**12,7**	**40**	**0**	**-40**	**50**	**0**
3	**0**	**1**	**0**	**2,4**	**1,2**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
4	**0**	**1,06**	**0**	**7,6**	**1,6**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
5	**2**	**1,01**	**0**	**94,2**	**19**	**0**	**0**	**-40**	**40**	**0**
6	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
7	**0**	**1**	**0**	**22,8**	**10,9**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
8	**2**	**1,01**	**0**	**30**	**30**	**0**	**0**	**-30**	**40**	**0**
9	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
10	**0**	**1**	**0**	**5,8**	**2**	**0**	**0**	**-6**	**24**	**19**
11	**2**	**1,082**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
12	**0**	**1**	**0**	**11,2**	**7,5**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
13	**2**	**1,071**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**-6**	**24**	**0**
14	**0**	**1**	**0**	**6,2**	**1,6**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
15	**0**	**1**	**0**	**8,2**	**2,5**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
16	**0**	**1**	**0**	**3,5**	**1,8**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
17	**0**	**1**	**0**	**9**	**5,8**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
18	**0**	**1**	**0**	**3,2**	**0,9**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
19	**0**	**1**	**0**	**9,5**	**3,4**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
20	**0**	**1**	**0**	**2,2**	**0,7**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
21	**0**	**1**	**0**	**17,5**	**11,2**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
22	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
23	**0**	**1**	**0**	**3,2**	**1,6**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
24	**0**	**1**	**0**	**8,7**	**6,7**	**0**	**0**	**0**	**0**	**4,3**
25	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
26	**0**	**1**	**0**	**3,5**	**2,3**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
27	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
28	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
29	**0**	**1**	**0**	**2,4**	**0,9**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
30	**0**	**1**	**0**	**10,6**	**1,9**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**

A.3.2.linedata :

Tableau A.3. *linedata*

Linedata					
bus	***bus***	***R***	***X***	***1/2B***	***1 for line code Or***
N1	***Nr***	***Pu***	***Pu***	***Pu***	***Tap setting value***
1	**2**	**0,0192**	**0,0575**	**0,0264**	**1**
1	**3**	**0,0452**	**0,1852**	**0,0204**	**1**
2	**4**	**0,057**	**0,1737**	**0,0184**	**1**
3	**4**	**0,0132**	**0,0379**	**0,0042**	**1**
2	**5**	**0,0472**	**0,1983**	**0,0209**	**1**
2	**6**	**0,0581**	**0,1763**	**0,0187**	**1**
4	**6**	**0,0119**	**0,0414**	**0,0045**	**1**
5	**7**	**0,046**	**0,116**	**0,0102**	**1**
6	**7**	**0,0267**	**0,082**	**0,0085**	**1**
6	**8**	**0,012**	**0,042**	**0,0045**	**1**
6	**9**	**0**	**0,208**	**0**	**0,978**
6	**10**	**0**	**0,556**	**0**	**0,969**
9	**11**	**0**	**0,208**	**0**	**1**
9	**10**	**0**	**0,11**	**0**	**1**
4	**12**	**0**	**0,256**	**0**	**0,932**
12	**13**	**0**	**0,140**	**0**	**1**
12	**14**	**0,1231**	**0,2559**	**0**	**1**
12	**15**	**0,0662**	**0,1304**	**0**	**1**
12	**16**	**0,0945**	**0,1987**	**0**	**1**
14	**15**	**0,221**	**0,1997**	**0**	**1**
16	**17**	**0,0824**	**0,1923**	**0**	**1**
15	**18**	**0,1073**	**0,2185**	**0**	**1**
18	**19**	**0,0639**	**0,1292**	**0**	**1**
19	**20**	**0,034**	**0,068**	**0**	**1**
10	**20**	**0,0936**	**0,209**	**0**	**1**
10	**17**	**0,0324**	**0,0845**	**0**	**1**
10	**21**	**0,0348**	**0,0749**	**0**	**1**
10	**22**	**0,0727**	**0,1499**	**0**	**1**
21	**22**	**0,0116**	**0,0236**	**0**	**1**
15	**23**	**0,10**	**0,202**	**0**	**1**
22	**24**	**0,115**	**0,179**	**0**	**1**
23	**24**	**0,132**	**0,27**	**0**	**1**
24	**25**	**0,1885**	**0,3292**	**0**	**1**
25	**26**	**0,2544**	**0,38**	**0**	**1**
25	**27**	**0,1093**	**0,2087**	**0**	**1**
28	**27**	**0**	**0,396**	**0**	**0,968**
27	**29**	**0,2198**	**0,4153**	**0**	**1**
27	**30**	**0,3202**	**0,6027**	**0**	**1**
29	**30**	**0,2399**	**0,4533**	**0**	**1**
8	**28**	**0,0636**	**0,20**	**0,0214**	**1**
6	**28**	**0,0169**	**0,0599**	**0,065**	**1**