République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE d'ADRAR

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Physique Énergétique

Thème

SOUTENU LE : JUIN 2021

L'impact de la productivité d' énergie renouvelable sur les charges électriques

Présenté par :

- ✓ **Bouregbaoui wahiba**
- ✓ **Adel warda**
- ✓

Membres de jury :

Président : **Dr. Smili Bilel**

Promoteur : **Dr. Arbaoui Iliace**

Examinateur : **Dr . Fahem Sakher**

Année universitaire :2020-2021

République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA ADRAR

BIBLIOTHEQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021

جامعة أحمد دراية أدرار

مكتبة المركزية

مصلحة البحث البيبليوغرافي

الرقم: م.ا.ب.ب/ج.أ/2021

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): حرباوي إلياس

المشرف مذكرة الماستر:

الموسومة بـ: l'impact de la productivité de l'energie renouvelable sur la charge électrique

من إنجاز الطالب(ة): عادل وردة

و الطالب(ة): بورقبا وي وحيبة

كلية: العلوم والتكنولوجيا

القسم: علوم المادة

التخصص: الفيزياء الطاقوية والطاقات المتجددة

تاريخ تقييم / مناقشة:

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.

وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والاليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

أدرار في: 2021-07-06

مساعد رئيس القسم:

قسم علوم المادة

د. سميلي بلقاسم

رئيس قسم علوم المادة

ملاحظة: لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

Résume

La modélisation erronée des puissances de distribution sur l'ensemble du réseau électrique peut conduire vers l'instabilité partielle ou globale, ce qui provoque des pertes d'énergie plus élevées et une mauvaise régulation de tension et de fréquence. Dans ce travail, nous avons analysé, modélisé et étudié le réseau IEEE de distribution électrique à 30 bus connectés en 6 générateurs dont deux présente un système de production photovoltaïque et l'autre une éolienne. On a s'intéressé au régime permanent pour l'ensemble du système électrique. Les résultats obtenus montrent que le contrôle des tensions (AVR) et des puissances réactives de chaque nœud garde le système dans les intervalles de fonctionnement admissible, à travers le contrôle initial des prises des autotransformateurs (LTC), et la compensation de réactive partielle et globale pour les nœuds qui ont des violations de tension critique au niveau des sous-postes de distribution. Les solutions proposées réduiront les pertes actives totales du réseau à 39%. L'étude et la modélisation du réseau ont été effectuées en utilisant un programme d'algorithmes développé visant à simuler les réseaux électriques.

Mots clés: l'énergie, les énergie renouvelable, le soleil, un éolienne, un réseau électrique, le system.

Abstract

Wrong modeling of distribution powers over the entire electrical network can lead to partial or global instability, which causes higher energy losses and poor voltage and frequency regulation. In this work, we have analyzed, modeled and studied the IEEE electrical distribution network with 30 buses connected in 6 generators, two of which have a photovoltaic production system and the other a wind turbine. We looked at the steady state for the entire electrical system. The results obtained show that the control of the voltages (AVR) and the reactive powers of each node keeps the system within the permissible operating intervals, through the initial control of the taps of the autotransformers (LTC), and the partial and global reactive compensation. for nodes that have critical voltage violations at distribution substations. The proposed solutions will reduce the total active losses of the network to 39%. The study and the modeling of the network were carried out using a program of algorithms developed to simulate the electrical networks.

Keywords: energy, renewable energy, the sun, a wind turbine, an electricity grid, the system.

ملخص

يمكن أن تؤدي النمذجة الخاطئة لقوى التوزيع على الشبكة الكهربائية بأكملها إلى عدم استقرار جزئي أو عالمي مما يؤدي إلى خسائر أعلى في الطاقة وضعف تنظيم الجهد والتردد. في هذا العمل ، قمنا بتحليل و نمذجة ودراسة شبكة التوزيع الكهربائي IEEE مع 30 حافلة متصلة في 6 مولدات ، اثنان منها بهما نظام إنتاج ضوئي والآخر تور بينات رياح. نظرنا إلى الحالة المستقرة للنظام الكهربائي بأكمله. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن التحكم في الفولتية (AVR) والقوى التفاعلية لكل عقدة تبقي النظام ضمن فترات التشغيل المسموح بها ، من خلال التحكم الأولي في صنابير المحولات الآلية (LTC) ، والتعويض التفاعلي الجزئي والعالمي. للعقد التي لديها انتهاكات حرجة للجهد في محطات التوزيع الفرعية. ستعمل الحلول المقترحة على تقليل إجمالي الخسائر النشطة للشبكة إلى 39٪. تمت دراسة و نمذجة الشبكة باستخدام برنامج خوارزميات تم تطويره لمحاكاة الشبكات الكهربائية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة ، الطاقة المتجددة ، الشمس ، توربينات الرياح ، شبكة الكهرباء ، النظام

Remerciements

بسم الله الرحمن الرحيم و الحمد لله رب العلمين و الصلاة و السلام على نبينا محمد صلى الله عليه و سلم
سبحان الله الذي وهبنا نعمة العقل سبحان الذي يستحق الشكر على نعمته وحده لا
شريك له سبحان الذي جعل لنا العلم نورا و هدانا سبيل الرشاد

Nous remercions dieu qui nous à donné la force et la volontés d'accomplir ce modeste travail

On remercie notre encadreur Dr.Arbaoui Illiace pour avoir dirige ces travaux pour ces précieux conseils qui n'a pas hésiter a nous fournir et sur tout ses remarques et son aide précieuse

En fin nous remercions vivement tous ceux qui de prés ou de loin ont contribue d'une manier ou d'une autre à la réalisation de ce mémoire

WAHIBA /WARDA

DÉDICACE

Je m'incline devant dieu tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir .

Je dédie ce Modeste travail :

A ma chère et tendre: **ma mère**, **ma mère**, **ma mère**, source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour .

A **mon père Abd Elkader** source de respect, en témoignage de ma profonde reconnaissance pour tout l'effort et le soutien incessant qui m'a toujours apporté

A Mon lien dans la vie **Khaled** .

A mon fils .

A tous ceux que je porte dans mon cœur.

« A tout ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité »

WAHIBA

DÉDICACE

Je dédie ce modestes travail à:

A qui n'a jamais cessé de m'encourager et qui s'est Toujours

Sacrifier pour mon bien être et ma réussite

Maman **ABDELYOUSSEF ZOHRA**

à celui qui m'a appris a toujours gardé la tète haute et a ne jamais renoncer a

mes rêve : Mon père ,que dieu ait pitié de lui, à ceux que j'aime et qui m'ont

soutenue tout au long de ce projet

Mes frères et ma sœur

A toute ma famille, **ADEL**

A tous mes amis du Faculté de sciences et technologie, département sciences de

matière, spécialité physique énergétique et énergies Renouvelables de

L'université d Adrar

Surtout mes camarades de 2eme master promotion 2021

Enfin Je dédie très Chaleureusement mon travail à mes amis qui ont toujours été

à mes Côtés, qui n'ont jamais douté de moi et à qui je suis fort reconnaissant et

tous ceux que j'ai Pa pu citer

Je vous remercie tous

WARDA

Liste de figure

Chapitre I

Figure I.1.2 la longueur d'onde de rayonnement solaire .

Figure I .1.3 Principe de l'énergie solaire photovoltaïque.

Figure I.1.5 Caractéristique des trois types des cellules de silicium .

- Cellule photovoltaïque organique .

Figure I.1.6 .a Panneaux photovoltaïque .

Figure I.1.6 .b Diffèrent processus appliquer sur le silicium .

Figure I.1.6 .c Effet photovoltaïque .

Figure I.2.2 Principaux composants d'un éolienne .

Figure I.2.2.a Rotor d'une turbine .

Figure I.2.2.b Constitution d'une nacelle .

Figure I.2.4.2.a Type d'éoliennes à axe horizontal .

Figure I.2.4.2.b Différente types d'éoliennes .

Chapitre II

Figure II.2.1 Schéma global de réseau électrique .

Figure II.2.1.1.a Le réseau électrique .

Figure II.2.1.1.b Constitution de réseau électrique .

Figure II.3.3 Différentes topologies des réseaux électrique .

Figure II.4.1 Interconnexions international existantes avec d'Algérie .

Figure II.5.1.a Courbe de charge de l'Algérie fluctuations journalières .

Figure II.5.1.b Courbe de charge de l'Algérie fluctuations saisonnières .

Figure II.6.3 Les différents éléments dans un poste .

Figure II.7.1 Architecture traditionnelle du système électrique .

CHAPITRE III

Figure III.3 Disposition véctorielle des champs rotorique et statique

Figure III.5.1 Machine synchrone triphasé assimilée à deux enroulements en cc en quadrature

Figure III.5.3 Modèle simplifié des lignes de transmission électriques

Figure III.5.4 Répresentation d'un transformateur

Figure III.5.5 Modéles des élement shunt

Figure III.6.1 Caractéristique entrée sortie d'une unite de production

Figure III.7.a Chut de tension dans une ligne

Figure III.7.b Chute de tension dans une ligne de réactance X

Figure III.7.c Surface pqv

Figure III.7.d COURBES PVP differentsfacteurs de puissance

Figure III.10 Schéma équivalent en π d'une ligne de transmission

Figure III.11.1 Schéma équivalent d'un systéme de jeux de barres .

CHAPITRE IV

Figure IV.1 Schéma original sur une seule ligne

Figure IV.2 Courbe de charge statique IEEE 30 bus

Figure IV.3 Schéma unifilaire du réseau IEEE 30 bus.

Figure IV.4 Profil de tension du système à 12 bus (cas 1)

Figure IV.5 pertes partielles/totales par branche (cas 1)

Figure IV.6 Profil de tension du système (cas 2)

Figure IV.7 pertes partielles/totales par branche (cas 2)

Figure IV.8 comparaison ente le taux des pertes dans cas 1&2

Liste de tableaux

Tableau I-1-5-Caractéristique des trois types des cellules de silicium

Tableau IV.1 Description du système d'étude

Tableau IV.2 ID et code des bus du réseau IEEE bus.

Tableau n° IV.3 Lignes et câbles de transmission utilisées pour chaque niveau de tension

Tableau IV.4 Charges statiques du réseau IEEE 30 bus.

Tableau IV.5 Intervalle des tensions des bus

Tableau IV.6. Les limites de transit des lignes et des transformateurs en situation N

Tableau IV.8 Comparaison de l'évolution des pertes actives totales pour les deux cas.

Liste des abréviations

E :énergie

E_o : la constant solaire

PV: photovoltaïque

SE: Système d'énergie

SEE: système d'énergie domestique

ED: Economique dispatch

J : numéro du jour

OD: optimal dispatch

FACTS: Flexible Alternative Cuivent Transmission System

TCSC : Thyristor-Controlled Series Capacitor

SVC: Static Var Compensator

P.U : Per unit

HT : haute tension

BT: basse tension

THT : très hout tension

V: Tension aux bornes de la charge

P,Q: puissances active et réactive consommées par la charge

impédance de la charge**Z:**

ZTik : L'impédance du transformateur

YTik : L'admittance du transformateur

PGi: puissance active générée par unité de génération (i)

: la fonction de cout de la centrale (i)**Fi(PGi)**

(N g) : Le nombre des générateurs

F: La fonction de cout total de la production

PD: la puissance active totale absorbée par toute la charge

PDi: la puissance active absorbée par la charge (i)

PL: les pertes actives dans les linges de transmission

ND: le nombre de nœuds consommateurs

PGiM: la puissance active maximale que génère le générateur (i)

PGim: la puissance active minimale que génère le générateur (i)

PiGM: la puissance réactive maximale que génère le générateur (i)

PiGm: la puissance réactive minimale que génère le générateur (i)

: Vecteur de courants des jeux de barres**Ibus**

: Vecteur de tensions des jeux de barres**Vbus**

Ybus: La matrice admittance

Yik:l'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et k

Yb:l' admittance shunt au jeu de barres i

ViYb: la contribution shunt du courant au jeu de barres i

Wr,wsm : désigne la vitesse de rotation des champs rotoriques et statorique respectivem

Table des matières

Résumé

Abstract

Remerciements

Dédicace

Liste des figurés

Liste des tableaux

Liste de abréviations

Table des matières

Introduction générale

Chapitre I Sources d'énergie renouvelable

I -1) Introduction :…… 2

I-1-Energie solaire photovoltaïque:…….... 5

I -1-1- Aperçu sur la ressource de l'énergie solaire…….... 5

I-1-2- Généralités sur le soleil …….. 5

I -1-2-1- Présentation …… 5

I -1-2-2- carte d'identité du soleil ……... 5

I -1-2-3- Constitution du soleil…… 6

I -1-2-4- Rayonnement solaire …… 6

I-1-3- Principe de l'énergie solaire photovoltaïque ……... 7

I-1-4-Composition d'une cellule PV ……... 7

I-1-5- Types de cellules photovoltaïques …….. 8

I-1-6-Panneaux solaire photovoltaïque……... 10

I-1-7-Avantages et inconvénients des modules photovoltaïques ……... 12

I-2- Energie Eolienne …….. 12

I-2-1- Définition de L'énergie Eolienne…… 12

I.2.2 Principaux composants d'une éolienne ……... 13

I-2-3- Le principe de fonctionnement d'une éolienne ……15

I-2-4 –Les différents types d'éoliennes …… 15

I-2-4-1- Eoliennes a aux vertical …….. 15

I-2-4-2 Eoliennes a axe horizontal …… 16

I-2-5 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne ……... 17

I-2-5-1 Les avantages …… 17

I-2-5-2 Les inconvénients…….. 18

I-3 Conclusion …… 19

Chapitre II Systèmes d'énergie électrique

II-1- Introduction :…….. 21

II-2 le réseau électrique :…… 22

II-2-1 Organisation du réseau…….. 22

II-2-1-1 La constitution du réseau électrique …… 22

II-3- Structure et role du réseau électrique :…… 24

II-3-1 Caractéristiques fondamentale:…….. 24

II-3-1-1 Quelques problèmes survenant sur le réseau électriqu……... 24

II-3-1-2 Mise en équation du réseau :…… 25

II-3-2 la Production d'électricité…….. 25

II-3-3 Topologie des réseau…….. 25

II-4 La transmission d'électricité …….. 26

II-4-1 Le grand réseau de transport et d'interconnexion220/400 Kv…… 26

II-4-2 Le réseau de répartition local 63kv…….. 28

II-4-3 Le réseau de distribution 30/10kv et 400/230 v…… 28

II-5 Consommation (charge) électrice …….. 28

II-5-1. Fluctuations de la consommation…….. 29

II-5-2 Les prévision de la consommation…….. 30

II-6 Les poste électrique …… 30

II.6.1.Défférent types de poste…… 31

II.6.1.1 Types de postes selon les fonctions …… 31

II. 6. 2 Composants principaux d'un poste électrique…… 31

II-7 Contrôle du système électrique: …… 32

II-7-1 Fonctionnement …… 32

II-7-2 Réserves de contrôle d'une réseau électrique …… 33

II-8 Operateur du système (dispatching…… 34

II-9- Stabilité des réseaux électriques …… 35

II-9-1-Types de stabilité …… 35

II-9-1-1-Stabilité statique …… 35

II-9-1-2 Stabilité dynamique …… 35

II-9-1-3 Stabilité transitoire …… 36

II -10- Conclusion …… 36

Chapitre III Répartition des puissances électriques

III.1.Introduction …… 38

III.2.Systéme d'unités p.u (per unit) :…… 38

III.2.1.Le changement de base dans le systéme p.u. …… 38

III.3. Hypothèses de simplificatrices …… 38

III.4. L'objectif d'écoulement des puissances*:…… 39*

III.4.1.Definition de l'état du réseau …… 39

III.4.2.Calculer L'amplitude des courants de transit…… 39

III.4.3.Evaluer les pertes …… 40

III.4.4.Definir une strategie de reglage et de conduite …… 40

III.5. Modélisation des composants du réseau …… 40

III.5.1 Modélisation de la machine synchrone …… 40

III.5.2. Modélisation de la charge électrique (electrical l.. …… 41

III.5.3. Modélistion d'une ligne de transmission …… 41

III.5.4. Modélisation du transformateur…… 42

III.5.5. Modélisation d'une compensation Série/Shunt …… 42

III.6. Formulation mathématique du problème:…… 43

III.6.1. la fonction cout …… 43

III.6.2. Minimisation des coûts de génération…… 44

III.6.3. Contraintes d'égalités…… 44

III.6.4. Contraintes d'inégalités…… 45

III.7. Puissances active, réactive et angle de charge:…… *45*

III.8. Caractéristique des nœuds (bus)…… 50

III.8.1. Slack bus…… 50

III.8.2. PV bus…… 50

III.8.3. PQ bus…… 50

III.9.Classification des variables d'équations d'écoulement de puissance...51

III.9.1. Les variables incontrôlables…… 51

III.9.2. Les variables indépendantes ou de contrôle …… 51

III.9.3.Les variables d'état …… 51

III.10. Matrice d'admittance…… 51

III.11. Équations d'écoulement des puissances…… 53

III.11.1. Écoulement au niveau de jeu de barres…… 53

III.11.2. Écoulement dans les lignes …… 55

III.11.3. Équation des Pertes …… 55

III.12. Méthodes numériques de résolution…… 56

III.12.1 . Méthode de Gauss -Seidel …… *56*

III.12.2.La méthode de Newton- Raphson :…… 57

III.12.2.1. Détermination des sous-matrices de Jacobienne Ji:…… 59

III.13. Conclusion …… 60

Chapitre IV Modélisation et calcule

IV.1. Introduction…… 62

IV.2. Présentation du réseau IEEE 30 bus…… 63

IV.3. Hypothèses et données pour le calcul…… 65

VI.3.1. Caractéristique globale du réseau de distribution…… 66

VI.3.2.1. Courbe de charge statique globale…… 66

IV.3.3. Méthodologie de calcul…… 67

IV.4. Limitation du système…… 68

IV.5. Schéma unifilaire du système…… 69

IV.6. Calculs et interprétation des résultats…… 70

IV.6.1. Réglage des autotransformateurs……70

IV.6.1.1. Répartition des puissances et pertes actives…… 71

IV.6.2. Résultat du Cas 2…… 71

IV.6.2.1. Répartition des puissances et pertes actives…… 72

IV.7. Pertes Actives Totales…… 72

IV.8. Discussions des résultats…… 73

IV.9. Conclusion …… 74

CONCLUSION GENERALE …… 76

Référence …… 77

Introduction générale

Introduction générale

La demande croissante en énergie et le développement des systèmes de production décentralisée ont conduit à de grands progrès dans le domaine de la qualité de contrôle de la tension et des puissances active et réactive. Néanmoins, les réglementations de la qualité de l'énergie et l'apparition de nouveaux dispositifs de compensation ont permis un contrôle meilleur de l'énergie électrique. Plus le réseau se développe, plus il devient complexe, difficile à contrôler et sa marge de stabilité diminue. Pour cela, la structure du réseau oblige l'exploitant à trouver la solution optimale aux problèmes relatifs à la compensation afin de maintenir la stabilité du système électrique.

L'accroissement de la population et de l'activité économique nécessitent alors la construction à grande échelle d'infrastructures de production, de transport et de distribution de l'électricité avec un système de contrôle assez fiable que possible De plus, pour favoriser le développement de l'économie, des obligations sur le marché d'électricité ont été défini afin d'assurer une certaine qualité d'alimentation aux différents consommateurs du service public, on peut citer notamment: l'égalité de traitement des consommateurs, la continuité de service, l'obligation de fourniture .

L'électricité est produite en continue dans les centrales de production de forte puissance, transportée entre les régions par des réseaux à très haute tension 400kV et 220kV, puis elle est distribuée aux consommateurs via des réseaux de répartition 60kV et de distribution30kV.

Néanmoins, le menace qui provoque l'instabilité imminente de la tension constitue un problème sérieux pour la sécurité et la fiabilité des systèmes électriques. La stabilité de la tension est définie comme la capacité du système électrique à maintenir un état de fonctionnement en équilibre après avoir été soumis à de graves contingences à partir d'une condition de fonctionnement initiale. Pratiquement, Il existe principalement deux types d'approches pour l'analyse de la stabilité de la tension, la stabilité statique et dynamique.

Dans ce contexte, les ingénieurs et les scientifiques ont besoin des méthodes et des algorithmes applicables et renouvelables pour analyser et contrôler chaque partie des systèmes d'alimentation électrique. Pour notre étude, les aspects de contrôle de la puissance réactive et de stabilité de la tension sont primordiales pour la fiabilité de notre réseau d'étude. L'instabilité de la tension survient généralement à la suite d'un déficit de puissance réactive

Par conséquent, le contrôle de la puissance réactive et de la tension est l'un des défis majeurs pour le dispatcher des réseaux électriques. L'analyse et la planification de fonctionnement des réseaux électriques ont non seulement contribué à contrôler les systèmes d'alimentation mais aussi à développer ces systèmes, y compris les lignes, les autotransformateurs, les moyens de compensation de réactive, les moyens de protection, les systèmes de suivi et de contrôle et dernièrement les plans de production et de synchronisation des systèmes de production des puissances électriques.

L'objective de cette contribution, est de s'intéresser à l'analyse et la planification des puissances réactives sur le réseau IEEE 30 bus réel afin de contrôler les tensions, les puissances renouvelables, de minimiser les pertes actives et d'accroître l'efficacité globale du system.

Afin d'atteindre notre objectif, une étude a été mise en œuvre consistant à contrôler et à maintenir les tensions dans les différents nœuds dans les limites admissibles en situation normale pour assurer la stabilité permanente du système.

La méthodologie suivie dans ce mémoire est de repartie le travail en quatre chapitres :

- Le premier chapitre intitulé « ***Sources d'énergie renouvelable »*** présente une introduction aux sources électrique renouvelable, énergie solaire photovoltaïque et énergie éolienne. Ce chapitre présente les principes de fonctionnement, et l'utilité des système d'énergies renouvelables.
- Le deuxième chapitre intitulé « ***système d'énergie électrique*** » présente une introduction au réseau électrique et une initiation des phénomènes relatifs à la stabilité et l''écroulement de la tension. Ce chapitre couvre la classification, le système de contrôle, et des notions sut la stabilité des réseaux électriques.
- Le troisième chapitre intitulé « ***répartition des puissances électriques*** » est consacré à la modélisation des éléments et des composants constituant le réseau électrique, les hypothèses de simplification des paramètres, les caractéristiques des nœuds, les caractéristiques des charges, l'écoulement des puissances, et les méthodes numériques de résolution
- Le quatrième chapitre intitulé « ***modélisation et calcule*** » est consacré aux calculs des paramètres de contrôle du réseau réel de distribution, les résultats de répartition de puissance, la simulation de la stabilité permanente et la détermination des composants les plus influents pour la stabilité de tension ainsi les solutions proposées afin de réaliser le contrôle de tension dans le réseau.

Enfin, une conclusion générale et des perspectives concluront cette contribution.

Chapitre I

SOURCES D'ENERGIE RENOUVELABLE

I -1) Introduction :

L'énergie a toujours constitué un enjeu vital pour l'homme et les sociétés humaines. Les comportements humains sont fortement induits par sa disponibilité ou sa non- disponibilité, son abondance ou sa pénurie. De ces comportements vont découler de nouveaux enjeux, en particulier pour l'environnement et les équilibres socio- économiques. La prise de conscience de l'importance de ces enjeux (réchauffement climatique, épuisement des ressources, augmentation des coûts de la santé, …) devrait, nous l'espérons, permettre de tendre vers une utilisation plus rationnelle de l'énergie, une optimisation des processus énergétiques que nous mettons en œuvre tous les jours**.**

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contre-choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 à la suite de la signature du protocole de Kyoto, protocole qui prévoit notamment une baisse de 5.2% des émissions de gaz à effet de serre des pays riche sur la période 2002-2012 par rapport à 1990. [1]

I-1-Energie solaire photovoltaïque:

I -1-1- Aperçu sur la ressource de l'énergie solaire :

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1 391 000 km (100 fois celui de la Terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes.

Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.106 tonnes d'hydrogène en 560.106 tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie (E = mc2), ce qui représente une énergie totale de 36.1022 kW. La Terre étant à une distance de 150.106 km du Soleil, elle reçoit une énergie de 1,8.1017 W.

La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne E0 est appelée la constante solaire, elle vaut E0 = 1353 W.m-2 [1

I-1-2- Généralités sur le soleil :

I -1-2-1- Présentation :

Le soleil est situé au centre d'un système dit « système solaire »dont la terre faite partie avec d'autres planètes.

Le Soleil a une forme sphérique qui est constitué d'hydrogène (71%),d'hélium(27%) et d'autres éléments, plus lourds (2%). Au centre du Soleil, la température atteint environ 16 millions de degrés Celsius, en surface la température du soleil est d'environ 5900 K. [1]

I -1-2-2- carte d'identité du soleil :

L'étude astrophysique du soleil conduit aux valeurs suivantes :

- Masse : 2.103 kg, soit333432 fois celle de la terre.
- Rayon : 7. 108 m, soit 109 fois celui de la terre.
- Densité du soleil: 1400 kg/m3
- Age de soleil: 4,7. 109 années.
- Puissance rayonnée par le soleil : 4.1023kw.

● Distance moyenne (d) à la terre : 149,6. 109 m, il faut de plus de 8mn pour que la lumière solaire nous parvienne. [1]

I -1-2-3- Constitution du soleil :

C'est une sphère non homogène dans laquelle on peut distinguer 3 zones principales : l'intérieur, la photosphère, la chromosphère et couronne solaire .

A-l 'intérieur :

C'est la source d'énergie du soleil, il est composé de 2/3 d'hydrogène et 1/3 d'hélium. La température atteint de l'astre 15.106°K. [1]

B- la photosphère :

C'est la couche gazeuse qui enveloppe le soleil .elle est responsable de presque la totalité du rayonnement que la terre reçoit.

Elle est mince d'environ 300km, et de pression de 10-2 atmosphère et une densité de 10-8g/cm3. [1]

C-Chromosphère :

Elle surmonte la photosphère .c'est une couche gazeuse qu'on assimile à l'atmosphère solaire sont épaisseur ne dépasse pas 800km et sa température est de 10°k. [1]

D- La couronne :

C'est une auréole blanche irrégulière sans limite définies, son épaisseur est de l'ordre de 3.106 km. **[1]**

I -1-2-4- Rayonnement solaire :

Le rayonnement Solaire est une énergie produite par le Soleil à la suite de réactions de fusion thermonucléaire qui dégage une très grande quantité d'énergie, source de la plupart des énergies disponibles sur Terre et exploitable pour la production d'électricité .

L'énergie solaire se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, les photons ; elle est sans cesse renouvelée. [1]

*Composante du rayonnement solaire :

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface extérieure dont la température est d'environ 6000 °K. A une telle température, 40% de l'énergie est émise dans le domaine visible (gamme de longueur d'onde allant de 0,3 µm (violet - bleu) à 0,7µm (rouge). La décomposition du rayonnement solaire peut être réalisée en projetant un faisceau lumineux sur un prisme de verre ou sur un réseau de diffraction. Tout un éventail de couleurs apparaît, du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune . [1]

Chacune de ces couleurs est associée à un rayonnement d'une certaine longueur d'onde. William Herschell (Vers 1800) qui étudiait le rayonnement solaire, avait placé un thermomètre derrière un tel prisme. Il s'aperçut qu'il indiquait une élévation de température (et donc qu'il recevait de l'énergie) non seulement dans le domaine visible mais également dans la région au- delà du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui représente 50% du rayonnement émis par le soleil. Les 10% restant du rayonnement solaire total sont émis à l'opposé du domaine visible, à des longueurs d'onde plus petites que celles du violet (l'ultra violet).

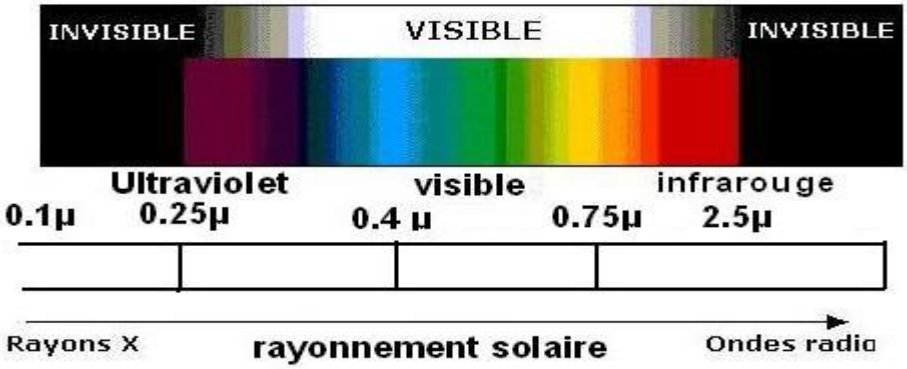


Figure. I-1-2 la longueur d'onde de rayonnement solaire

I-1-3- Principe de l'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire. Elle fait partie des énergies renouvelables. Pour exploiter cette énergie, on doit concevoir des cellules photovoltaïques qui convertissent l'énergie lumineuse en électricité. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire. [2]

- Transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photo-voltaïque.

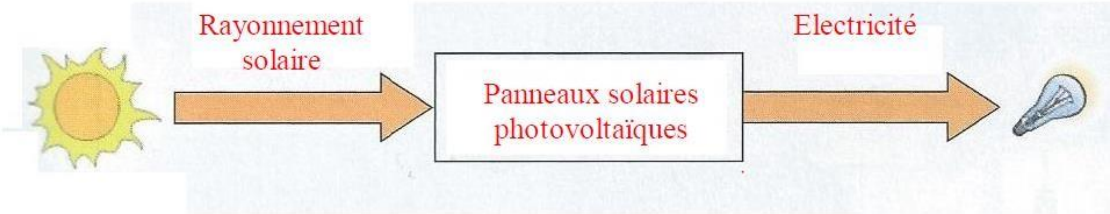


Fig.I-1-3- Principe de l'énergie solaire photovoltaïque.

I-1-4-Composition d'une cellule PV :

1. Couche semi-conductrice de type p :

Le matériau semi-conducteur contient des atomes externes qui possèdent une quantité inférieure d'électrons libres. On obtient ainsi un excédent positif de porteurs de charge (trous d'électrons) dans le matériau semi-conducteur. Ces couches sont ap- pelées des couches semi-conductrices à conduction de type p. [2]

2.Couche semi-conductrice de type n :

Le matériau semi-conducteur contient des atomes externes qui possèdent une quantité supérieure d'électrons libres. On obtient ainsi un excédent négatif de porteurs de charge (électrons) dans le matériau semi-conducteur. Ces couches sont appelées des couches semi-conductrices à conduction de type n. [2]

3.Doigts de contact et contact métallique de la face arrière :

Avec le contact métallique arrière, les doigts de contact constituent les con- nexions permettant de brancher par exemple un consommateur. [2]

4.Couche anti réflexion :

La couche anti réflexion a pour but de protéger la cellule PV et de réduire les pertes de réflexion à la surface de la cellule. [2]

I-1-5- Types de cellules photovoltaïques :

Selon la nature des matériaux utilisés on distingue deux grandes classes : les cellules photovoltaïques inorganiques et les cellules photovoltaïques organiques :

A.Cellules photovoltaïques inorganiques :

Les cellules photovoltaïques inorganiques qui dites aussi au silicium, représentent 99% des ventes mondiales de panneaux solaires, on peut citer :

a) Cellules au silicium monocristallin **:**
Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12- 16%), mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée**. [23]**

b) Cellules au silicium polycristallin :

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. [2]

c) Silicium en ruban autosupporté :

Les techniques de production de silicium cristallin en rubans autosupportés ont été très séduisantes sur le plan technologique. La plus connue est basée sur l'effet de capillarité entre deux lèvres de carbone. Ces rubans ont connu de nombreux développements au niveau de la recherche et pour certains d'entre eux, jusqu'à la conception de chaînes de production préindustrielles.

d)Silicium amorphe :

Silicium non cristallisé, c'est-à-dire à l'état amorphe. Ce sont les cellules des calculatrices ou des montres dites « solaires » .Le silicium amorphe présente plusieurs avantages, en particulier son fonctionnement possible en intérieur sous faible éclairement contrairement Au silicium cristallin. [2]

Technologie	Monocristallin	Polychristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	• Très bon rendement : 14 à 20 %. • Durée de vie : importante (30 ans) • Coût de fabrication : élevé. • Puissance : 100 à 150 Wc/m², 7 m²/kWc. • Rendement faible sous un faible éclairement. • perte de rendement avec l'élévation de la température. • Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal • Couleur bleue uniforme.	• Bon rendement : 11 à 15 %. • Durée de vie : importante (30 ans) • Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins • Puissance : 100 Wc/m², 8 m²/kWc. • Rendement faible sous un faible éclairement. • perte de rendement avec l'élévation de la température. • Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. • Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.	• Rendement faible : 5 à 9 %. • Durée de vie : assez importante (20 ans) • Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies • Puissance : 50 Wc/m², 16 m²/kWc. • Fonctionnement correct avec un éclairement faible. • Peu sensible aux températures élevées. • Utilisables en panneaux souples. • Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium. • Rendement faible en plein soleil. • Performances diminuant avec le temps. • Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.
Part de marché	43 %	47 %	10 %

Tableau I-1-5-: Caractéristique des trois types des cellules de silicium [1]

B. Cellule photovoltaïque organique :

Si l'effet photovoltaïque a été observé dans les matériaux organiques depuis plus de 30 ans, les premières cellules présentaient des rendements de conversion en énergie. [2]

Cependant, plusieurs raisons justifient les efforts consentis pour développer la fi- lière organique, et qui résident dans les avantages que

présentent ces matériaux. En effet, ils peuvent être mis en forme facilement, par voie sèche ou voie humide (tournette, jet d'encre,…) avec des techniques issues de l'industrie de la microélectronique. De plus, les quantités de matériaux utilisées sont relativement faibles, les films ayant des épaisseurs de 100 nm. L'ingénierie moléculaire permet en outre d'adapter les valeurs de la bande interdite et des niveaux d'énergie.

Figure.I-1-5: Cellule photovol- taïque organique[1]

I-1-6-Panneaux solaire photovoltaïque:

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photo voltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante dans le domaine spatial. Les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photo-voltaïque et ses applications terrestres.

Le terme « photovoltaïque » est composé du mot grec ancien ≪ photos ≫ (lumière) et du nom de famille du physicien italien (Allessandro Volta). [1]

A. Panneau solaire :

Le panneau solaire est constitué de cellules photovoltaïques qui convertissent l'éclairement énergétique du soleil en courant continu. L'assemblage des cellules en série permet d'obtenir une tension compatible avec la charge de la batterie. Le courant produit par le panneau est directement proportionnel à l'ensoleillement

reçu : le panneau solaire fonctionne comme un générateur de courant. Les conditions d'installation du panneau solaire permettent la meilleure exposition au soleil tout au long de l'année: orientation sud, inclinaison égale à la latitude. [2]

Figure I-1-6: Panneaux photovoltaïque.

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

B. Technologie des capteurs :

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Il doit être purifié afin d'obtenir un silicium de qualité photovoltaïque. Il se présente alors sous la forme de barres de section ronde ou carrée appelée lingots. Les lingots sont ensuite découpés en wafers : fines plaques de quelques centaines de microns d'épaisseur.

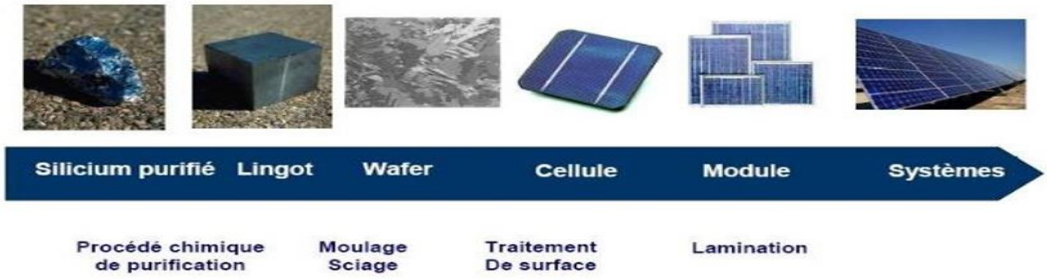


Figure I-1-6-B: Différent processus appliquer sur le sillicium

Ils sont ensuite enrichis en éléments dopants pour obtenir du silicium semi- conducteur de type P ou N. Des rubans de métal sont alors incrustés en surface et rac- cordés à des contacts pour constituer des cellules photovoltaïques

Les cellules les plus utilisées pour la production d'électricité sont les cellules silicium polycristallin grâce à leur bon rapport qualité-prix. [2]

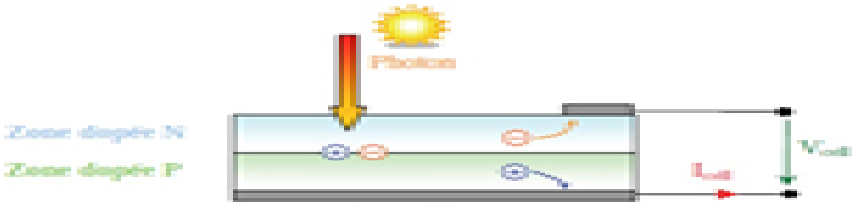


Fig.:I-1-6-C Effet photovoltaïque

I-1-7-Avantages et inconvénients des modules photovoltaïques :

a)Avantage:

La production d'électricité à partir de l'énergie radiative du soleil par l'intermédiaire de modules photovoltaïques présente des avantages importants :

- La ressource d'énergie utilisée est renouvelable et gratuite, aucune pénurie ou fluctuation des prix n'est à craindre.
- Le processus de production d'électricité n'a aucun impact sur l'environnement (ni rejet polluant, ni déchet, ni bruit, etc.).
- Ce qui est produit est généralement consommé sur place ce qui présente un intérêt du point de vue électrique puisque les pertes dans les câbles sont très faibles (contrairemuent au mode de production décentralisé, ex : centrale nucléaire).
-Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût. [2]

b) Inconvénients :

-Bien que le photovoltaïque produit de l'électricité d'une manière renouvelable et écologique, il ne faut pas oublier que dans le procès de fabrication on utilise des produits polluants et on consomme beaucoup d'énergie, spécialement pour le mono cristallin. L'énergie consommée pour la fabrication peut surpasser celle que les modules vont produire pendant leur vie utile.
-Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé .
-Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
-Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente.
-l'augmentation de la température de cellule photovoltaïque réduit sensiblement les performances électriques du module. [2]

I-2- Energie Eolienne:

I-2-1- Définition de L'énergie Eolienne:

Une éolienne est une machine qui transforme l'énergie cinétique du vent (déplacement d'une masse d'air) en énergie mécanique ou électrique .

Les éoliennes sont conçues de manière à produire un maximum de puissance pour des vents de force moyennes fréquemment rencontrées. Elles atteignent leur puissance nominale pour une vitesse de vent de 50 km/h (14 m/s). Si le vent devient plus violent, la machine subit des contraintes plus importantes. Elle est alors freinée grâce à un système de régulation électronique qui lui permet de rester à la puissance maximale (atteinte dès 50 km/h) tout en limitant les efforts sur la structure. Au delà d'un certain seuil (90 km/h, soit 25 m/s), la régulation ne suffit plus. La machine est alors stoppée afin de lui éviter de subir des charges trop importantes . [3]

I.2.2 PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UNE EOLIENNE:

Il existe plusieurs configurations possibles d'aérogénérateurs qui peuvent avoir des différences importantes. Néanmoins, une éolienne "classique" est généralement constituée de :

- le mât, généralement en métal, supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle + rotor). Il est fixé sur une fondation implantée dans le sol, une lourde semelle en béton qui assure l'ancrage et la stabilité de l'éolienne. Le mât des éoliennes atteint aujourd'hui 80 m de haut pour les plus puissantes (exceptionnellement jusqu'à 100 m). les éoliennes sont-elles si haut perchées C'est parce que le vent souffle plus fort à quelques dizaines de mètres de hauteur, où il n'est pas perturbé par l'effet des obstacles : relief, arbres, maisons…Et la puissance fournie par une éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent . [3]

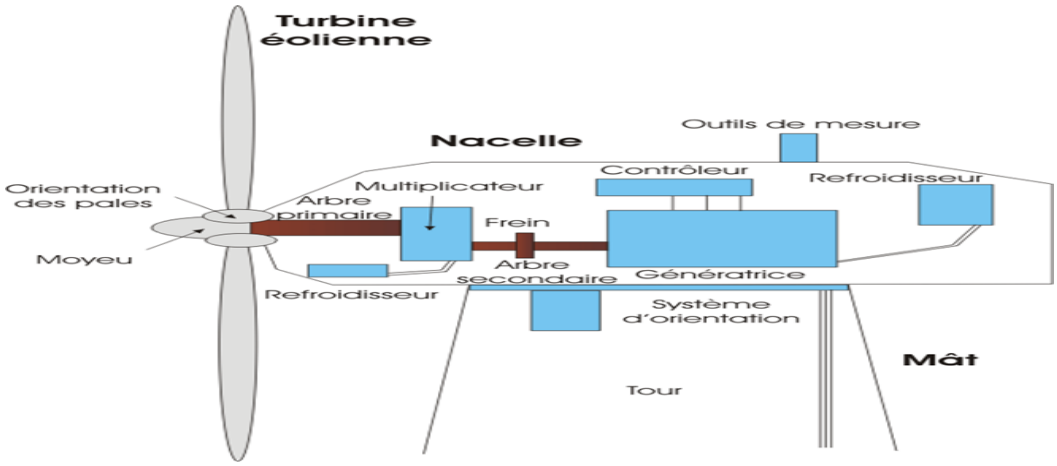


Figure I-2-2 : Principaux composants d'une éolienne. [3]

La tour doit être suffisamment solide pour supporter non seulement la nacelle et le rotor, mais aussi les charges puissantes provoquées par le vent : d'une part la puissance exercée par le vent directement sur la tour, 6+d'autre part la puissance transmise par le rotor .

- un rotor, composé de plusieurs pales (en général 3) et du nez de l'éolienne. Les pales sont aujourd'hui faites de matériaux composites à la fois légers et assurant une rigidité et une résistance suffisantes : polyester renforcé de fibre de verre et/ou fibre de carbone. Leur longueur atteinte actuellement entre 30 et 55 mètres, soit un diamètre du rotor compris entre 60 et 110 mètres. La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales (un cercle), donc au carré de son diamètre rotor.

Figure:I-2-2-a Rotor d 'une turbine

Un rotor balaye un disque circulaire au cours d'une rotation et peut donc récolter l'énergie des mo-----lécules d'air traversant ce disque. La surface -A d'un disque circulaire est égale à:-

$$A = \pi . r^2 = \pi . (\tfrac{1}{2}\, d)^2$$

Où r est le rayon du disque circulaire, d est le diamètre et est (pi = 3,1415...).

Le rotor est relié à la nacelle par le moyeu, Elle transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique .

• une nacelle montée au sommet du mât et abritant les composants mécaniques et pneumatiques et certains composants électriques et électroniques nécessaires au fonctionnement de la machine. Le transport de l'électricité produite dans la nacelle jusqu'au sol est assuré par des câbles électriques descendant à l'intérieur du mât de l'éolienne. [3]

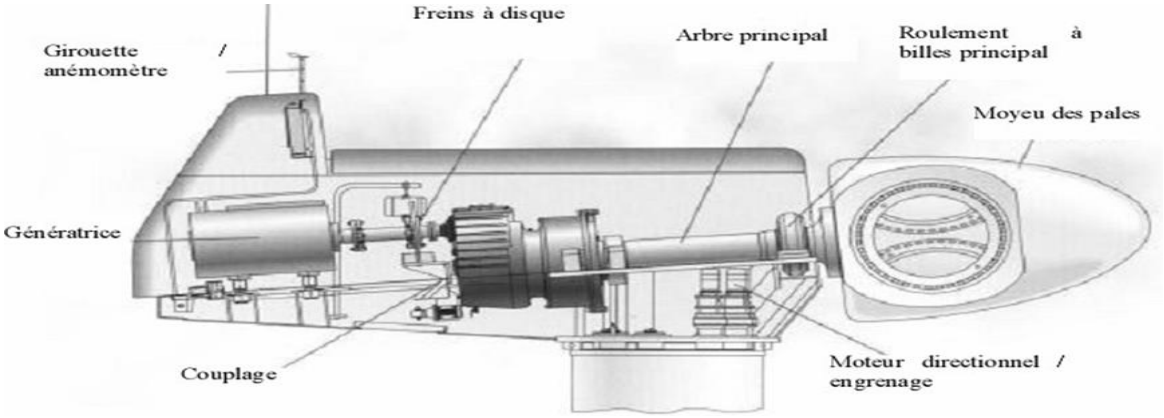


Figure I-2-2-b: Constitution d'une nacelle[4]

Les différents composants d'une nacelle :

*Le multiplicateur de vitesse : il sert à élever la vitesse de rotation entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qui entraîne la génératrice électrique.

*L'arbre secondaire comporte généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter l'emballement de la machine.

*La génératrice : c'est elle qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

*Un contrôleur électronique chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne. Il s'agit en fait d'un ordinateur qui peut gérer le démarrage de la machine lorsque la vitesse du vent est suffisante (de l'ordre de 5 m/s), gérer le pas des pales, le freinage de la machine, l'orientation de l'ensemble « rotor plus nacelle » face au vent de manière à maximiser la récupération d'énergie. Pour mener à bien ces différentes tâches, le contrôleur utilise les données fournies par un anémomètre (vitesse du vent) et une girouette (direction du vent), habituellement situés à l'arrière de la nacelle.

Enfin, le contrôleur assure également la gestion des différentes pannes éventuelles pouvant survenir. [3]

*Divers dispositifs de refroidissement (génératrice, multiplicateur) par ventilateurs, radiateurs d'eau ou d'huile.

Grâce à un système de supervision et contrôle d'une éolienne peut être arrêtée automatiquement et très rapidement en cas de nécessité. La sécurité du fonctionnement des éoliennes est ainsi assurée en continu.

dans le cas des éoliennes produisant de l'électricité, un poste de livraison situé à proximité du parc éolien permet de relier ce parc au réseau électrique pour y injecter l'intégralité de l'énergie produite . [3]

I-2-3- **LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE EOLIENNE:**

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un alternateur qui produit l'électricité. La vitesse de rotation du rotor (de 12 à 15 tours/minute) doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse jusqu'à environ 1500 tours/minute, vitesse nécessaire au bon fonctionnement de l'alternateur. Des convertisseurs électroniques de puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée (50 Hz en Europe), tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent. La tension de l'électricité produite par l'alternateur, de l'ordre de 600 à 1000 volts, est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé dans la nacelle ou à l'intérieur du mât, jusqu'à un niveau de 20 ou 30 KV. Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'au point de raccordement au réseau électrique public (en France, le réseau EDF). La tension de l'électricité produite par la centrale peut alors être de nouveau transformée, en fonction du niveau de tension de raccordement de la centrale au réseau public. Pour les centrales éoliennes de 10 à 15 MW de capacité, le niveau de tension de raccordement est, en France, généralement de 20 KV. Pour les centrales de capacité plus importante, le niveau de tension de raccordement peut aller de 60 à 90 KV, voire même 225 KV.

Pour pouvoir démarrer, une éolienne a besoin d'une vitesse de vent minimale, de l'ordre de 10 à 15 km/h. Et au-delà de 90 km/h, les turbines s'arrêtent de tourner. Tout d'abord, la fréquence d'occurrence des vents d'une vitesse supérieure à 90 km/h est généralement faible (inférieure à 1 %), et si les éoliennes fonctionnaient dans ces conditions, elles subiraient des efforts importants qui entraîneraient une usure prématurée de leurs équipements. Compte tenu du faible gain relatif sur la production que représente un fonctionnement par vent fort, les ingénieurs préfèrent, dans ces conditions, stopper les machines et attendre le retour de vents plus modérés et plus réguliers. Si les éoliennes ne fonctionnent pas au-delà d'une vitesse de vent de 90 km/h, leurs fondations n'en sont pas moins conçues pour résister à des vents beaucoup plus importants… La puissance d'une éolienne classique est de 1 à 1,5 MW, mais les éoliennes de la nouvelle génération atteignent 2 à 3 MW et des modèles de 5 MW sont d'ores et déjà testés par les constructeurs . [4]

I-2-4 -LES DIFFERENTS TYPES D'EOLIENNES:

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal **:**

I-2-4-1- EOLIENNES A AXE VERTICAL

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles et il s'agit d'une turbine à axe vertical de forme cylindrique qui peut facilement être installée sur le toit d'une

maison moderne et dont les avantages sont : faible impact visuel, pratiquement pas de bruit et très grande tolérance aux vents forts.

Il existe des systèmes grâce auxquels les ailes se décalent plus ou moins pour augmenter l'étendue des vitesses d'action. Si la vitesse du vent est basse, les ailes sont complètement déployées, si la vitesse est trop forte, les ailes sont complètement fermées et l'éolienne forme un cylindre.

Même si quelques grands projets industriels ont été réalisés, les éoliennes à axe vertical restent toutefois marginales et peu utilisées voire actuellement abandonnées. Selon Les avantages théoriques d'une machine à axe vertical sont les suivantes :

*Elle vous permet de placer la génératrice, le multiplicateur, etc. à terre, et vous n'avez pas besoin de munir la machine d'une tour.

*Un mécanisme d'orientation n'est pas nécessaire pour orienter le rotor dans la direction du vent.

Les inconvénients principaux sont les suivants :

*L'efficacité globale des éoliennes à axe vertical n'est pas impressionnante.

*L'éolienne ne démarre pas automatiquement. Cependant, ceci ne constitue qu'un inconvénient mineur dans le cas d'une éolienne raccordée au réseau, étant donné qu'il est alors possible d'utiliser la génératrice comme un moteur absorbant du courant du réseau pour démarrer l'éolienne). [4]

I-2-4-2 EOLIENNES A AXE HORIZONTAL:

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamique ment à la manière des ailes d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avion en vol mais pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien.

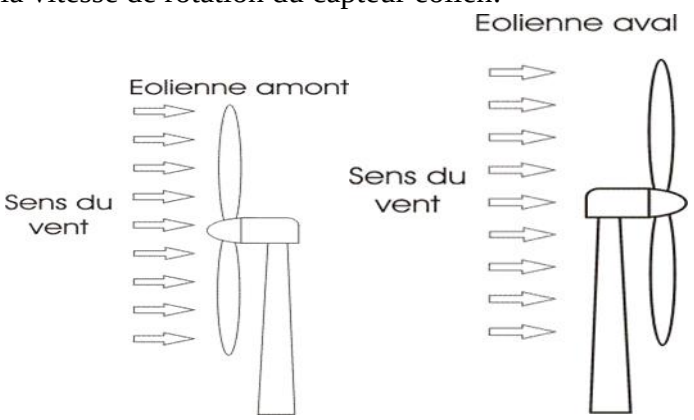


Figure I-2-4-2-a: Types d'éoliennes à axe horizontal . [3]

Ce type d'éolienne a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité. Notons cependant que certains travaux défendent la viabilité du rotor vertical en

réalisant des études multicritères. Les concepts abordés dans la suite de cette étude se limiteront uniquement au cas des éoliennes à axe horizontal.
Aujourd'hui, pratiquement les seules éoliennes commerciales sont à axe horizontales. Les plus grandes éoliennes mesurent jusqu'à 180m en bout de pale avec un moyeu à 120m pour une puissance de 6 MW. [4]

Figure I-2-4-2-b: Différents types d'éoliennes. [3]

I-2-5 AVANTAGES ET INCONVENIETS DE L'ENERGIE EOLIENNE:

La croissance de l'énergie éolienne est évidemment liée aux avantages de l'utilisation de ce type d'énergie. Cette source d'énergie a également des désavantages qu'il faut étudier, afin que ceux-ci ne deviennent pas un frein à son développement. [4]

I-2-5-1 LES AVANTAGES

* L'énergie éolienne, propre, fiable, économique, et écologique, c'est une énergie qui respecte l'environnement .
* Bien que ne pouvoir envisager de remplacer totalement les sources traditionnelles d'énergie, l'énergie éolienne peut toutefois proposer une alternative intéressante et renouvelable. Elle s'inscrit parfaitement dans l'effort global de réductions des émissions de CO2, etc. …
* L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable.
* Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO2 rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique
* Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de très loin le plus fort taux de croissance.
* L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie à risque comme l'énergie nucléaire et ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs.
* L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées, contrairement aux procédés continus de la plupart des centrales thermiques et des centrales nucléaires.

Ceux-ci fournissent de l'énergie même lorsque que l'on n'en a pas besoin, entraînant ainsi d'importantes pertes et par conséquent un mauvais rendement énergétique .
* Les parcs éoliens se démontent très facilement et ne laissent pas de trace.
*C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie. Ainsi les pertes en lignes dues aux longs transports d'énergie sont moindres. Cette source d'énergie peut de plus stimuler l'économie locale, notamment dans les zones rurales.
*La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelles.
*C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables, selon l'article le coût de l'éolienne à diminuer presque 90% depuis le début des années 80. Le coût de l'énergie éolienne continue de diminuer grâce aux percées technologiques, à l'accroissement du niveau de production et à l'utilisation de grandes turbines .
* Cette source d'énergie est également très intéressante pour les pays en voie de développement. Elle répond au besoin urgent d'énergie qu'ont ces pays pour se développer. L'installation d'un parc ou d'une turbine éolienne est relativement simple. Le coût d'investissement nécessaire est faible par rapport à des énergies plus traditionnelles, ce type d'énergie est facilement intégré dans un système électrique existant déjà .
* L'énergie éolienne se révèle une excellente ressource d'appoint d'autres énergies, notamment durant les pics de consommation, en hiver par exemple. [4]

I-2-5-2 LES INCONVENIENTS:

Mêmes s'ils ne sont pas nombreux, l'éolien a quelques désavantages :
* L'impact visuel : Ca reste néanmoins un thème subjectif .Des images de synthèse sont élaborées pour montrer l'impact visuel. Dans la plus grande majorité des cas, les enquêtes réalisées montrent une réelle acceptation des populations voisines ou visitant un site éolien.
* Les bruits mécaniques ou aérodynamiques ont été réduits par l'utilisation de nouveaux profils, extrémités de pale, mécanismes de transmission etc. et ne sont plus une gêne, même proche des machines (50-60 dB équivalent à une conversation). Une distance d'environ huit fois le diamètre permet de ne plus distinguer aucun bruit lié à cette activité (< 40 dB). De plus, il faut souligner que le bruit naturel du vent, pour des vitesses supérieures à 8 m/s, a tendance à masquer le bruit rayonné par l'éolienne.
* Les éoliennes peuvent nuire à la migration des oiseaux en étant un obstacle mortel. En effet, les pales en rotation sont difficilement visibles par mauvais temps ou la nuit. Les oiseaux peuvent alors entrer en collision avec celles-ci. Plus le parc éolien est dense plus ce risque est grand. Des lumières sur les pales peuvent réduire ce danger. Cependant, aucune étude sérieuse ne semble actuellement avoir démontré la réalité du danger pour les oiseaux .
* La source d'énergie éolienne étant stochastique, la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. La qualité de la puissance produite n'est donc pas toujours très bonne. Jusqu'à présent, le pourcentage de ce type d'énergie dans le réseau était faible, mais avec le développement de l'éolien, notamment dans les régions à fort potentiel de vent, ce pourcentage n'est plus négligeable. Ainsi,

l'influence de la qualité de la puissance produite par les aérogénérateurs augmente et par suit, les contraintes des gérants du réseau électrique sont de plus en plus strictes.

* Les systèmes éoliens coûtent généralement plus cher à l'achat que les systèmes utilisant des sources d'énergie classiques, comme les groupes électrogènes à essence, mais à long terme, ils constituent une source d'énergie économique et ils demandent peu d'entretien . [4]

I-3 Conclusion :

Ce chapitre expose un vision sur l'énergie solaire photovoltaïque et l' énergie éolien . Comme beaucoup d'énergies renouvelables, le gisement solaire et éolien mondial est considérable puisqu'il est très supérieur à la consommation énergétique actuelle de l'humanité.

Et on peut dire aussi que l'éolienne et le solaire sont des source de production d'énergie qui représente dans certains cas l'une des meilleurs solutions adaptée. Et ne consomme aucun combustible et ne participe pas à l'effet de serre.

Chapitre II
Systèmes d'énergie Electrique

II-1- Introduction :

La notion d'énergie , dans un sens général , et les concepts qui lui sont associés développés dans les sphères scientifiques habilitées , ont mis à la disposition de la réflexion humaine diverses représentation des processus physiques qui nous entourent .Cet processus , qui se manifestent , en effet , dans l'environnement sous des formes complexes et multiples , ne sont jamais totalement cernés et identifiés . Mais on peut dire que l'énergie ,racine commune à toutes ses formes matérialisées , s'exprime ,en fait, dans la dynamique des processus perpétuels des changements d'états, relatifs et cycliques, de tout notre environnement .Cette dynamique rend , ainsi , l'énergie potentiellement disponible et utilisable , pourvu que les connaissances scientifiques et techniques puissent être à même de le permettre .

L'interaction de l'homme avec son environnement et la pratique de la science le long de l'histoire humaine ont permis de saisir l'importance de l'impact, sur les besoin vitaux de la vie ,des lois qui régissent cette dynamique et ont donné lieu, par voie de conséquence, à différentes orientation pour la détermination de leurs propriétés caractéristiques et l'ouverture de nouvelles possibilités d'atteindre leurs diverses utilités. l'énergie s'est trouvée, ainsi ,progressivement domestiquée par un processus continu de découvertes et de systématisations; lequel a donné lieu à la reproduction et à l'utilisation systématique de plusieurs forme d'énérgie . cette reproduction ne consiste, en fait, qu’en la transformation de l'énergie de son état potentiel épars dans l 'environnement , non immédiatement utilisable, à un autre état potentiel ou cinétique, mais systématisé et rendu, accessible à l'utilisation immédiate.

Toutes ces transformations reproductives, connectées à l' environnement ,constituent avec ce dernier , dans un enchainement complexe , un cycle fermé dans lequel l' énergie passe d' une forme à une autre. Cet enchainement fermé de transformation est défini comme un systéme d'énergie d' ensemble (SE) et peut être subdivisé en sous ensembles de nature et de caractéristiques différentes.

Ainsi, peut-on soutirer de cet ensemble et définir le systéme d' énergie électrique (SEE) qui met en évidence une des formes d' énergie domestiquée très largement utilisée. Le SEE rentre lui-même dans la composition d’un systéme élargie domestiquée (SED) .

Pour les SEE, les consommateur ou les récepteurs de l' énergie électrique peuvent avoir différentes définitions. Mais , d'une façon générale et pour des objectifs de commodité de modélisation et de simulation ,on introduit pendant les différentes analyses le concept de charge équivalente complexe. Cette charge peut être représentée , de manière équivalente , par une impédance , un courant, une puissance ou par des caractéristiques statiques ou les puissances active et réactive sont variables en fonction de la tension appliquée.

II-2 le réseau électrique :

II-2-1 Organisation du réseau:

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Il doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble . [6]

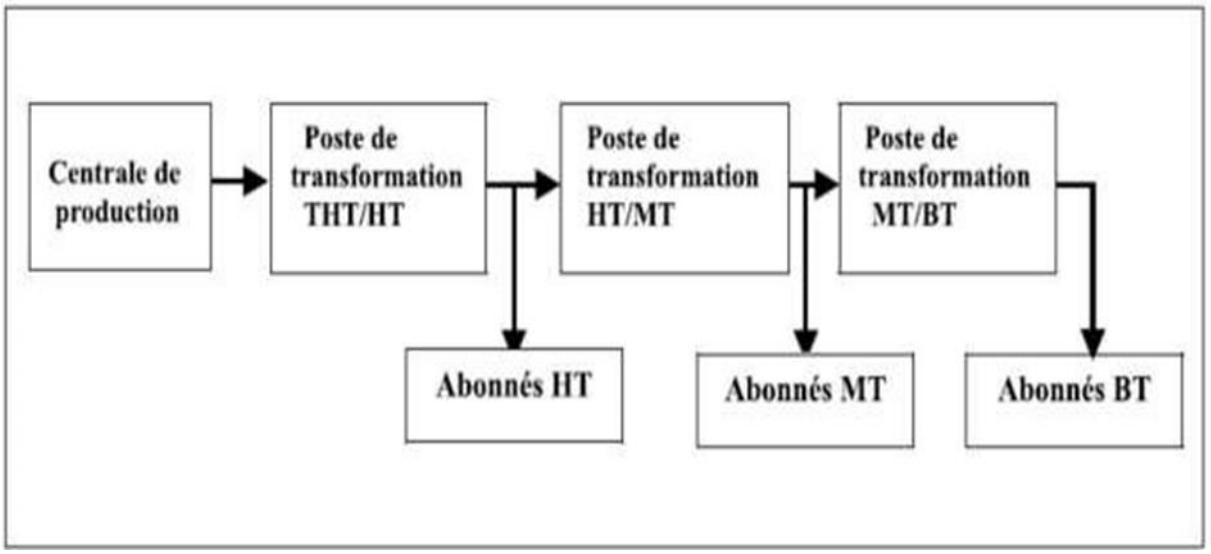


Figure II-2-1 : schéma global de réseau électrique[6]

II-2-1-1 La constitution du réseau électrique :

Production

La production sert à produire l'énergie électrique grâce à des turbo-alternateurs qui transforme l'énergie mécanique des turbines en énergie électrique à partir d'une source primaire (gaz, pétrole, hydraulique). Les sources primaires varient d'un pays à l'autre.

Il existe cinq principaux types de centrales pour produire de l'énergie électrique :

- Les centrales hydrauliques ;
- Les centrales thermiques ;
- Les centrales solaires ou photovoltaïques ;
- Les centrales nucléaires ;
- Les centrales éoliennes.

❖ Transport

Le transport de l'énergie de son lieu de production vers les postes d'interconnexion s'effectue par le réseau d'énergie électrique en très haute tension HTB (225 ou 400 kV) quelques fois 800 kV, avec des lignes en triphasé de type aérien. Ce réseau est maillé afin de permettre l'interconnexion entre les centrales débitant simultanément pour couvrir la consommation. [6]

❖ Répartition

Le réseau de répartition prend sa source dans le réseau de transport à partir des poste d'interconnexion THT/HT(MT) et sert à fournir les gros consommateurs industriels sous haute ou moyenne tension, et à répartir les puissances dans différentes régions rurales ou urbaines. [6]

❖ Distribution

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution HT aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique. Ce réseau permet d'alimenter un nombre très élevé de consommateurs correspondant au domaine domestique. Sa structure, de type aérien ou souterrain.

Les tensions sur ces réseaux sont comprises entre 100 et 440 V.

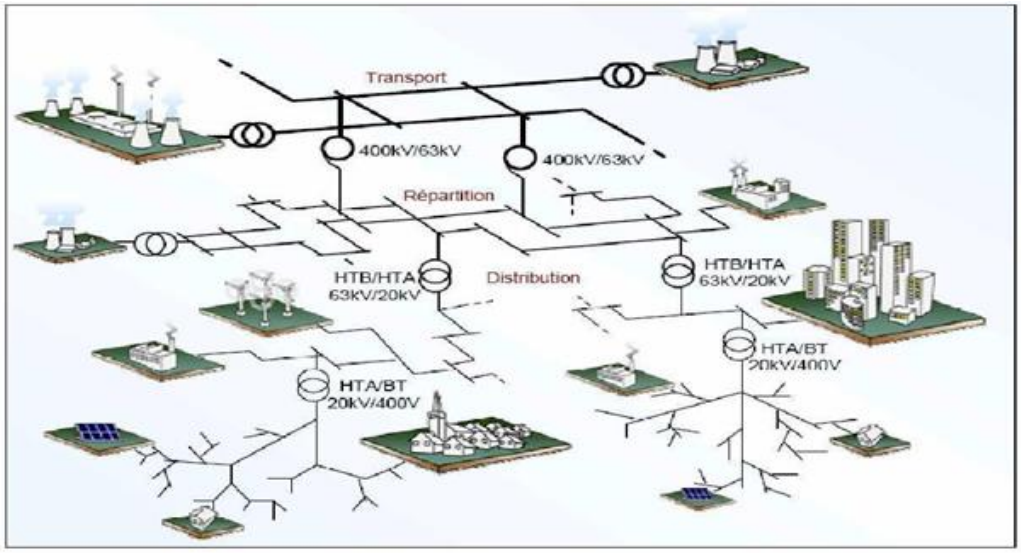


Figure II-2-1-1-a:Le réseau électrique[6]

Dans la plupart des pays, les installations électriques doivent répondre à un ensemble de réglementations nationales ou établies par des organismes privés agréés. L'architecture d'un réseau de distribution électrique industriel est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise. [6]

HTB3 : pour une tension composée comprise entre 350 kV et 500 kV
HTB2 : pour une tension composée comprise entre 130 kV et 350 kV
HTB1 : pour une tension composée comprise entre 50 kV et 130 kV
HTA 2 : pour une tension composée comprise entre 40 kV et 50 kV

HTA 1 : pour une tension composée comprise entre 1 kV et 40 kV
BTB : pour une tension composée comprise entre 500 V et 1000V
BTA : pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V
TBT : pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V

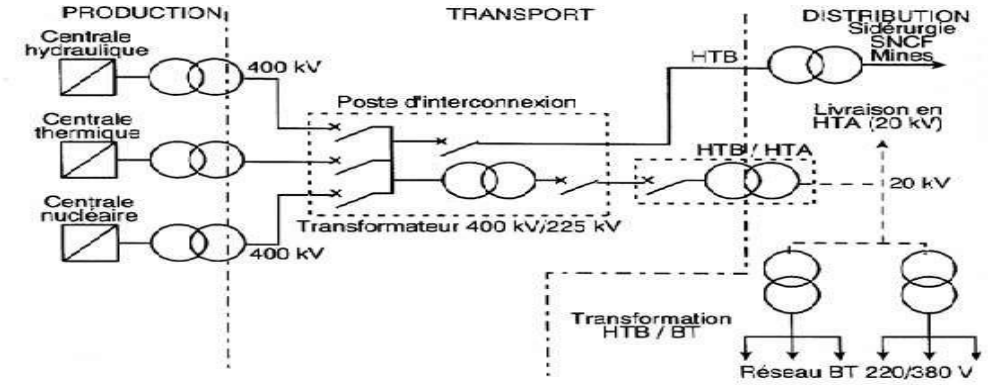


Figure II-2-1-1-b: Constitution de réseau électrique

II-3- Structure et role du réseau électrique :

II-3-1 Caractéristiques fondamontale:

II-3-1-1 Quelques problémes survenant sur le réseau électrique:

*** Tensions harmoniques :**

Description : les harmoniques sont des tensions ou des courant sinusoidaux dont les fréqurnces correspondent à des multiples entiers de la fréquence fondamentale (50ou60Hz) . on considére dans la présente définition les harmoniques de longue durée , exxluant les phénoménes transition isolés .

Causes: les harmoniques sont créés par des appareils dont la caractéristique tension / courant n'est pas linéaire,comme c'est le cas avec les convertisseurs électroniques de puissance des entrainements de moteurs,les redresseurs utilisés pour l'électrolyse ,les fours à arc, etc . [7]

*** Déséquilibre de tension:**

Description **:** **cet** indice sert à caractériser les asymétries d'amplitude et de déphasage des tension triphas en régime permanent . le taux de déséquilibre de tension est défini, suivant la méthode des composantes symétriqes, comme le rapport existant entre le module de composante inverse de la tension et celui de la composante directe .

Causes: les déséquilibres de tension qui s'appliquent aux tension triphasées ont deux causes principales ,soient les asymétries d'impédance des lignes du réseau et les déséquilibres de charge . [7]

*** Papillotement:**

Description **:**le papillotement traduit l'inconfort physiologique éprouvé au niveau de la vision à la suit de changements répéctitifs de luminosité de l'éclairage de très faibles variations de tension .la plupart des appareils ne sont toutefois pas perturbés par ce phénoméne.

Causes : le papillotement est du aux variations répétitives de tension causées par certaines charge industrielles comme les machine à souder, les laminoirs, les gros moteurs à charge variable, les fours à arc,etc. [7]

*** Variation de fréquence**:

Description :la fréquence nominale de la tension alternative fournie par le réseau est de 50ou 60Hz . cette valeur est déterminée par la vitesse des alternateurs des centrales .

Causes de variations: le maintien de la fréquence d'un réseau dépend de l'équilibre établi entre la charge et la puissance des centrales. Comme cet équilibre évolue dans le temps ,il en réseau de petites variation de fréquence dont la valeur et la durée dépendent des caractéristiques de la charge et de la réponse de la production .par ailleurs,le réseau peut etre soumis à des variation plus importantes dues à des défauts ou des variations de vharge ou de production qui causent des variation de fréquence temporaires dont l'amplitude et la durée dépendent de la sévérité de la perturbation . [7]

- **La compensation locale d'énergie réactive:**

il existe sur le réseau électrique des organes de réglage de la tension répartis depuis les groupes de productions jusqu'aux consomation . en effet, les spécifications et les régimes de fonctionnement en tension ne sont pas les meme pour le réseau de transport et le réseau de distribution . cette différence justifie la mise en place de moyen de réglage entre ces réseaux . [7]

II-3-1-2 Mise en équation du réseau :

L'établissement du modèle a pour but de déterminer les équations algébriques représentant les interconnexions entre les lignes, les générateurs les transformateurs et les charges. [11]

- Le réseau électrique peut être décrit sous la forme matricielle suivante :

$[I]= [Y]\times [V]$

Où :

[I] : le vecteur des courants injectés aux nœuds du réseau.

[V] : le vecteur des tensions aux nœuds du réseau.

[Y] : la matrice d'admittance du réseau.

II-3-2 la Production d'électricité:

La production sert à produire l' énergie électrique soit à travers la transformation de l'énergie mécanique des turbines pour tourne les alternateure à partir des sources primaire (comme le gaz,le pétrol,le carbone et le nucléaire),soit en utilisant les sources renouvelable qui sont l'énergie solaire ,éolienne ,hydralique ,géothermique,marin et la biomasse . [7]

II-3-3 Topologie des réseau:

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau fiabilité recherché, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont illustrés sur la Figure suivante:

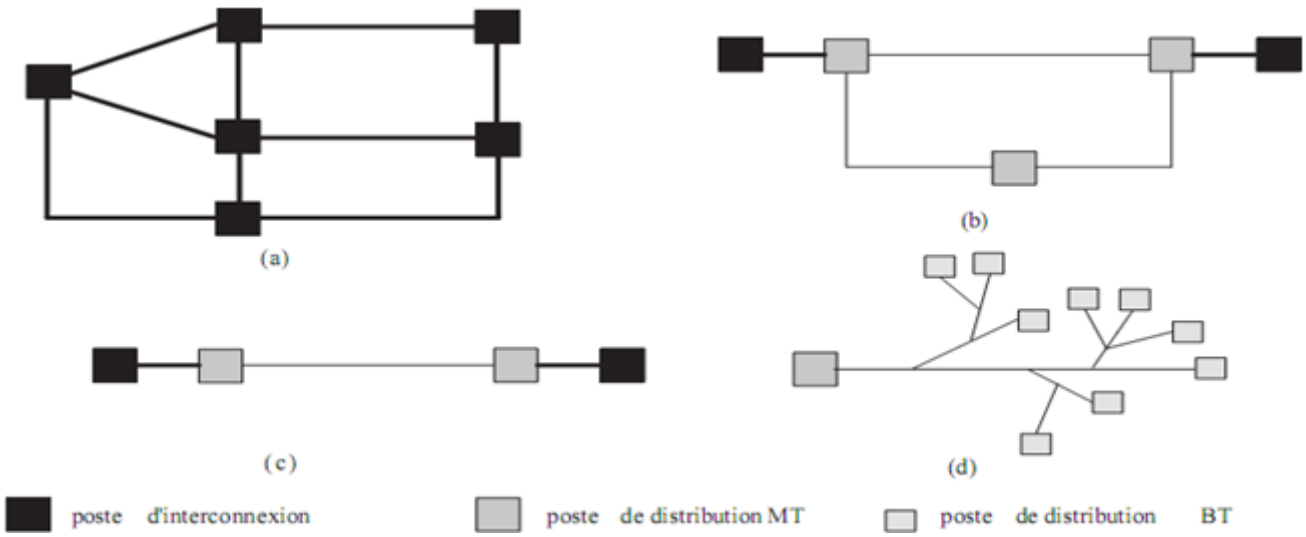


Figure II-3-3 : Différentes topologies des réseaux électriques : (a) Réseau maillé, (b). Réseau bouclé, (c). Réseau radial, (d). Réseau arborescent[6]

- **Réseau maillé**

Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport. Tous les centres de production sont liés entre eux par des lignes THT au niveau des postes d'interconnexion, ce qui forme un maillage. [6]

- **Réseau bouclé**

Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT. Les postes de répartition HT ou MT alimentés à partir du réseau THT sont reliés entre eux pour former des boucles[6]

- **Réseau radial**

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au départ par un poste source HT ou MT.[6]

- **Réseau arborescent**

Cette structure est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain où la charge n'est pas très sensible aux interruptions. Elle est constituée d'un poste de répartition qui alimente plusieurs postes de distribution (BT). [6]

II-4 La transmission d'électricité :

II-4-1 Le grand réseau de transport et d'interconnexion220/400 kV

Le besoin croissant de nouvelles capacités d'interconnexions L'interconnexion des réseaux de transport d'électricité permet aux systèmes électriques d'échanger de l'énergie entre eux. Ces échanges sont bénéfiques à triple titre. [8]

Les interconnexions permettent une assistance mutuelle entre systèmes électriques. Lorsqu'un système doit faire face à l'indisponibilité fortuite d'un groupe de production ou à un appel de demande extrême, les interconnexions permettent une réponse collective. En mutualisant les ressources et les réserves,

les interconnexions permettent d'assurer la sûreté des systèmes à moindre coût. [8]

Les interconnexions permettent de minimiser le coût de production du système interconnecté. Les arbitrages économiques réalisés via les marchés de gros, et notamment par les couplages de marché, permettent d'optimiser les échanges transfrontaliers car ils permettent de mobiliser la ressource disponible la plus compétitive.

En permettant d'optimiser l'utilisation des moyens de production de manière transfrontalière, les interconnexions entraînent une diminution des besoins de capacité installée nécessaire à sécuriser l'alimentation en électricité. Les interconnexions contribuent ainsi à améliorer l'efficacité économique du système électrique tant que leurs coûts de construction ne sont pas plus importants que les bénéfices engendrés. [8]

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

— De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport),

— De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion),

— La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV,

— Neutre directement mis à la terre,

— Réseau maillé.

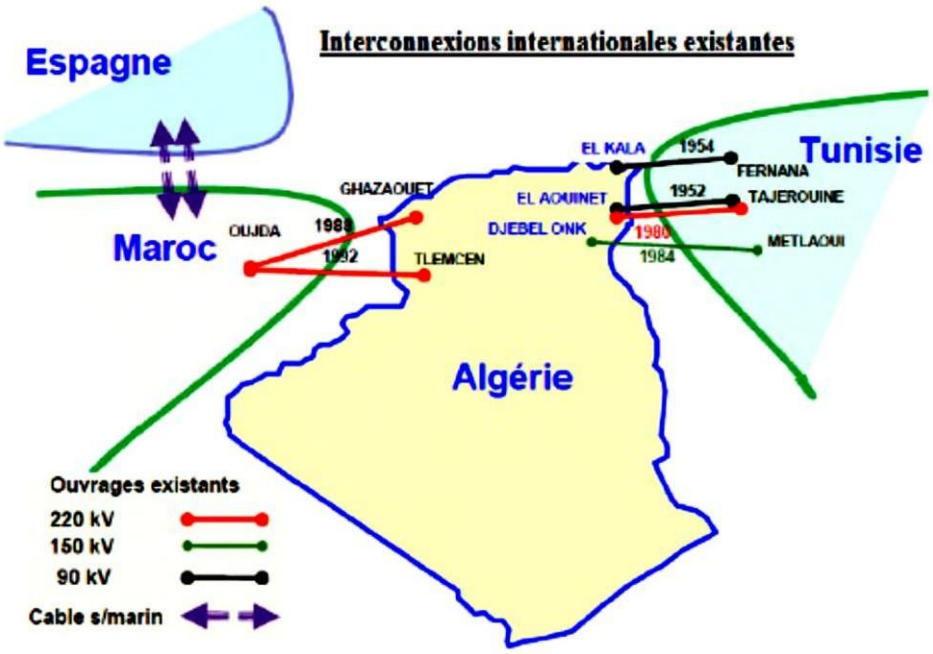


Figure II-4-1: interconnexions internationales existantes avec l'Algérie[8]

II-4-2 Le réseau de répartition local 63kv :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation.

En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres. Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension. [9]

— La tension est 90 kV ou 63 kV,
— Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre,
— Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
— Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV,
— Réseaux en boucle ouverte ou fermée.

II-4-3 Le réseau de distribution 30/10kv et 400/230 v

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique. [9]

a) Réseaux de distribution à moyenne tension :

— HTA (30 et 10 kV le plus répandu),
— Neutre à la terre par une résistance,
— Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
— Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
— Réseaux souterrains en boucle ouverte.

b) Réseaux de distribution à basse tension :

— BTA (230 / 400 V),
— Neutre directement à la terre,
— Réseaux de type radial, maillés et bouclés. [9]

II-5 Consomation (charge) électrice :

C'est le point d'arrivée dans un réseau électrique, La consommation d'électricité correspond à un appel de puissance active sur le réseau pour une période de temps bien déterminée ; cela correspond à une consommation d'énergie. L'électricité est consommée par des différents types de consommateurs (résidentiels, commerciaux et industriels). [10] La consommation d'électricité se caractérise par :

• ses fortes fluctuations.
• la difficulté de la prévoir de manière exacte.

II-5-1. Fluctuations de la consommation

La consommation d'électricité varie d'une façon permanente en fonction des multiples variables (la température, l'heure de la journée, le jour de la semaine, les conditions météorologiques), ces fluctuations peuvent être :

* Fluctuations infra journalières : durant une journée la consommation d'électricité peut fluctuer d'une façon importante. [10]

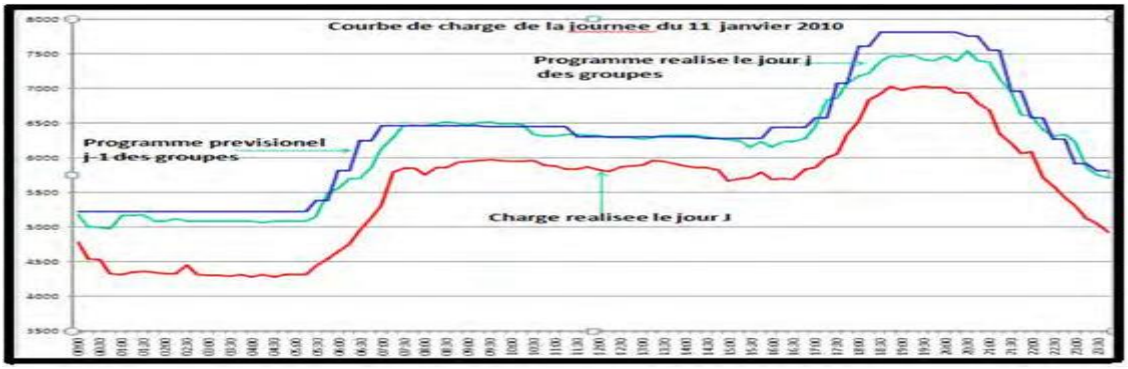


Figure (II-5-1-a) Courbe de charge de l'Algérie ; fluctuations journalières[10]

***Fluctuations hebdomadaires** : Jour ouvrable / week-end

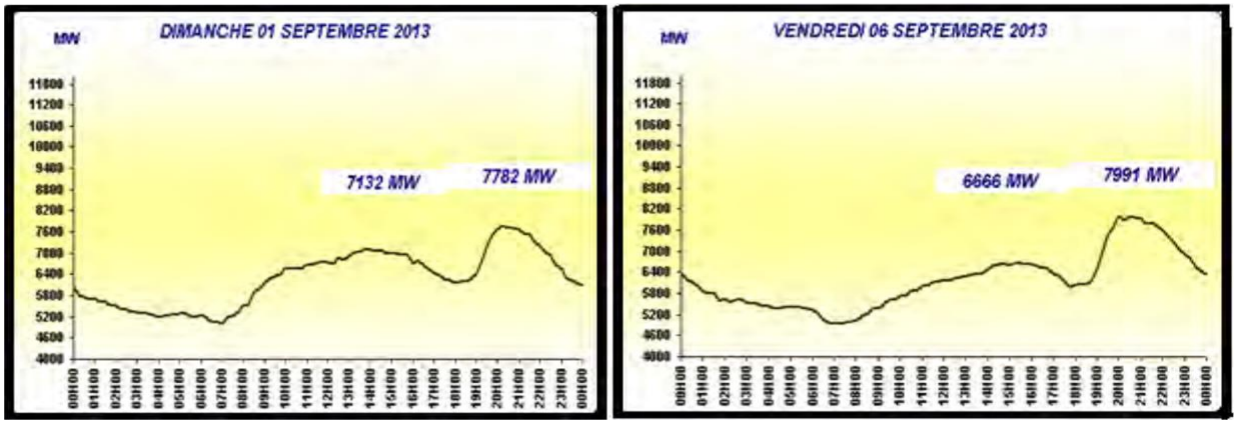


Figure (II-5-1-b) Courbe de charge de l'Algérie fluctuations saisonnières***[10]***

****Fluctuations saisonnières : jour été / jour hiver***

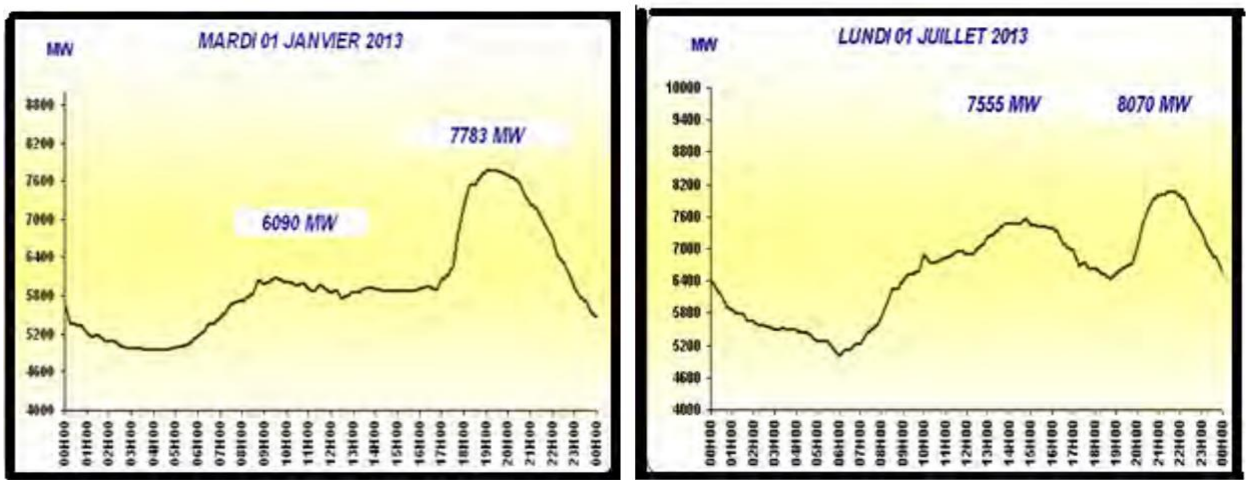


Figure (II-5-1-c) Courbe de charge de l'Algérie fluctuations saisonnières[10

II-5-2 Les prévision de la consommation

Une multitude de variables sont utilisées pour expliquer et prédire le niveau de consommation d'électricité : la température, l'heure de la journée, le jour de la semaine (jour ouvrable, weeK end), la plupart de ces variables ont une relation directe avec : les conditions climatiques, habi-tudes de consommation, rythmes de vie et pays considéré.
En fait, plus les prévisions sont réalisées en avance par rapport au moment de la consommation, moins elles sont précises. En particulier celles liées aux conditions météorologiques, peuvent se modifier dans ce laps de temps. [10]

Des prévisions éloignées du temps réel génèrent des erreurs, elles sont effectuées plusieurs fois par jour se basant principalement sur la combinaison des consommations réelles des jours précé-dents et la prévision des conditions climatiques, etc. Donc une actualisation en permanence à fin que les erreurs soient le plus minimum possible, pour ce faire les prévisions sont divisées en trois parties:

a) **Journalières :** pendant toute la semaine (Le jour : j+1 jusqu'à J+7) en s'appuyant sur les statistiques faites, les conditions météorologiques, les jours féries, les weekends, les va-cances, les événements qui peuvent y avoir (grèves, événements sportifs, etc).
b) **hebdomadaires** : autrement dit la semaine s+1, en tenant compte des programmes de démarrage et marche des centrales, la réserve, l'interconnexion internationale.
c) **annuelles** : pour l'année n+1, détermination du calendrier de production et des besoins en combustibles, maintenance et entretien des moyens de production et des ouvrages de transport.

Bien que la prévision de la consommation s'affine lorsqu'on s'approche de la période prévue. Mais il y'aura toujours des écarts entre les prévisions faites et la consommation réelle. Ces écarts, peuvent conduire à des erreurs de prévision.

À titre d'exemple, une baisse de la température moyenne de 1° C sur l'ensemble de la France peut entrainer, en hiver, une augmentation de la consommation de plus de 1000 MW (approxi-mativement la taille d'une tranche nucléaire). [10]

II-6 Les poste électrique:

Un poste électrique est la " partie d'un réseau électrique , comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution , de l'appareillage électrique , des bâtiments , et éventuellement , des transformateurs "

Un poste électrique est donne un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité .Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission , puis de la redescendre en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriels). Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution . [12]

II.6.1.Défférent types de poste

II.6.1.1 Types de postes selon les fonctions

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, trois grandes catégories de postes électrique:

a).Les postes à fonction d'intercnnexion:

Qui comprennent à cet effet un ou plusieurs point communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés.

b). Les postes transformation:

Dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tension différentes liés par un ou plusieurs transformateurs.

c). Les postes mixtes: Les plus fréquents, qui assurent une fonction dans les réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation. [12]

II.6.2 Composants principaux d'un poste électrique:

On distingue parfois les éléments d'un poste en "éléments primaires"(les équipements haute tension) et "éléments secondaires" (équipements basse tension). Parmi les équipements primaires, on peut citer:

* Transformateur électrique,
* Autotransformateur électrique,
* Disjoncteur à haute tension,
* Sectionneur,
* Sectionneur de mise à la terre
* Parafoudre,
* Transformateur de courant,
* Transformateur de tension,
* Combiné de mesure (courant+tension),
* Jeux de barres.

Parmi les éléments secondaires on peut citer:

* Relais de protection
* Équipements de surveillance
* Systéme de télé conduite
* Équipements de télécommunication
* Comptage d'énergie.

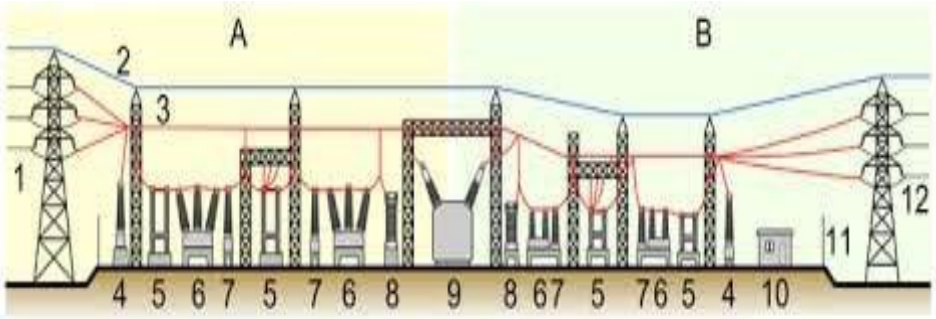


Figure II-6-3 Les différents éléments dans un poste: [12]

A: Côté primaire, B: Côté secondaire.

1.Ligne électrique primaire; 2. Câble de garde; 3. Ligne électrique; 4.Transformateur de tension; 5. Sectionneur; 6. Disjoncteur; 7. Transformateur de courant; 8. Parafoudre; 9. Transformateur(de puissance); 10. Bâtiment secondaire; 11. Clôture; 12. Ligne électrique secondaire

II-7 **Contrôle du systéme électrique:**

II-7-1 Fonctionnement

Avant la première moitié du XXème siècle, le développement des réseaux électriques a été plutôt chaotique: chaque gestionnaire du réseau développait ses propres moyens de distribution. A cette époque, les réseaux de distribution ont été en courant continu, alternatif monophasé, biphasé et triphasé sous de multiples niveaux de tension [Ber 10]. Au cours de la deuxième moitié du XXème siècle, les états se sont mis à imposer des réglementations sur la production, transport et distribution de l'énergie électrique afin d'unifier les différents réseaux électriques dans des systèmes électriques nationaux. Actuellement les réseaux électriques sont organisés en deux niveaux différents: les réseaux de transport (transmission grid), auxquels sont connectés les grandes centrales électriques, et les réseaux de distribution alimentant la plupart des consommateurs (fig II.7.1). [13]

Les grandes centrales de production d'énergie électrique sont en général basées sur des alternateurs synchrones de grandes tailles entrainés par des turbines à vapeur, à gaz ou hydrauliques. [13]

Elles sont connectées sur le réseau de transmission à haute tension. Leur puissance nominale est de l'ordre de quelques dizaines de MW jusqu'à quelques GW

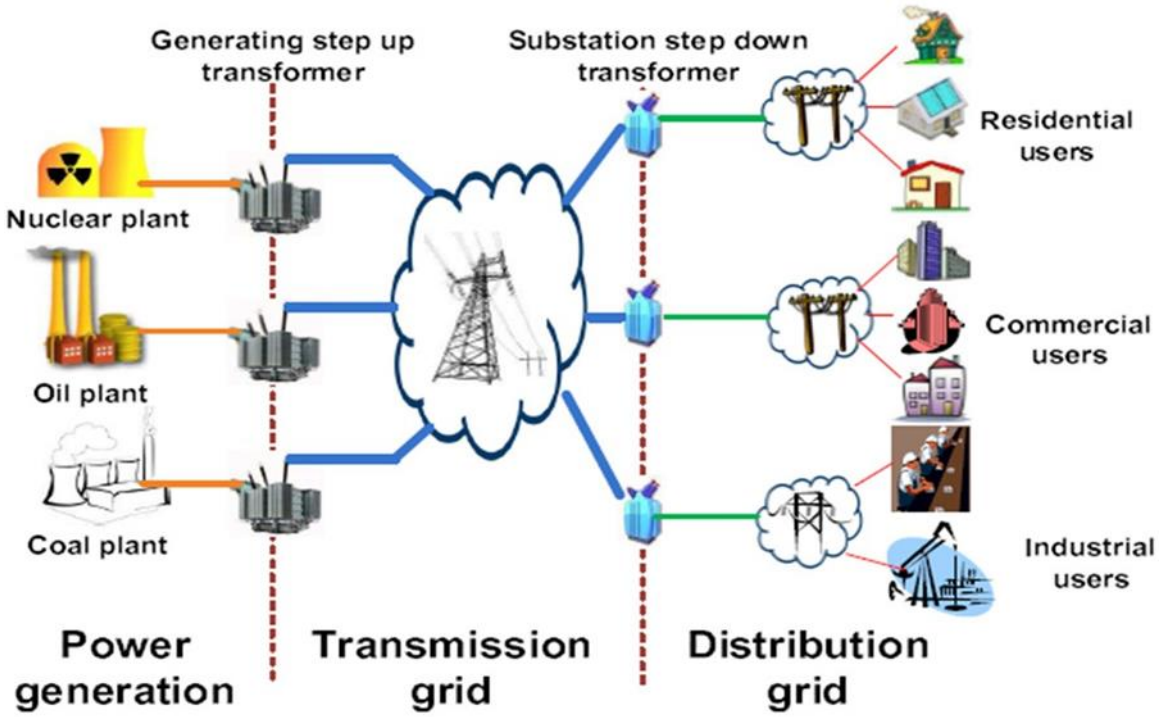


Fig II.7.1. Architecture traditionnelle du système électrique[13]

II-7-2 Résérves de contrôle d'une réseau électrique :

Les deux cadres d'intervention

La sécurité électrique s'exerce dans deux cadres :

le premier concerne les utilisations courantes, les risques concernant alors tout utilisateur,

le deuxième cadre concerne l'examen des installations ou les interventions et les travaux plus ou moins
lourds, interventions alors exécutées (normalement) par des professionnels. [14]

La sécurité d'emploi : **les indices de protection**

Les dispositions à adopter pour les installations varient avec les conditions générales d'emploi, et en particulier avec la présence ou non d'influences externes telles que les eaux. Le classement des situations aboutit à la définition des indices de protection

La sécurité d'emploi : les mises à la terre

L'une des précautions essentielles s'appuie sur une mise à la terre correcte des installations, une technique dont les principes seront présentés par la suite.

Les interventions sur installation

La précaution essentielle consiste à éviter les effets des contacts avec les circuits actifs, et surtout à éviter la formation d'un courant de défaut. La situation peut être présentée de la manière suivante,
l'opérateur étant normalement considéré comme au potentiel de la terre, il faut éviter une trop forte approche de la pièce conductrice dangereuse (conducteur actif ou pièce conductrice quelconque), sinon un contact. On caractérise la

situation en utilisant le terme de distance minimale d'approche, à dépasser pour éviter le risque d'électrocution. Cette distance minimale d'approche est la somme des deux suivantes :
la «distance de tension», qui caractérise le risque de la partie active incriminée,
la «distance de garde», surtout destinée à fixer les éloignements tranquilles pour l'opérateur. [14]

La distance de tension

Cette distance permet, en l'absence de dispositif particulier de protection, de caractériser le risque en
fonction de la tension (nominale) de l'objet du risque. Elle est donnée par une formule théorique, mais
peut être simplement estimée au moyen du tableau suivant fonction des tensions nominales courantes
(attention : tensions nominales en kilovolts), ce tableau ne valant que pour le courant alternatif. [14]

domaine de tension :	**BT**		**HT**							
tension nominale [kV] :	0,4	1	15	20	30	63	90	150	225	400
distance de tension [m] :	0	0	0,10	0,10	0,20	0,30	0,50	0,80	1,10	2

Il s'agit d'une notion de principe, à modifier si l'opérateur est à un potentiel différent de celui de la terre.

La distance de garde

Cette distance, assez conventionnelle et de simple sécurité, est fixée aux valeurs suivantes :
pour le domaine BT : 0,30 [m],
pour le domaine HT : 0,50 [m].
Elle doit être ajoutée à la distance de tension (voir plus haut).

Les «distances de voisinage» en cas de travaux sur installations

Les distances précédentes sont applicables aux interventions les plus courantes. S'il s'agit de travaux
ou d'interventions lourdes (par des professionnels) des dispositions spéciales doivent être adoptées, des
dispositions qui ne relèvent pas de la compétence de ce livret, qu'il s'agisse :
de travaux «sous tension»,
ou de travaux «hors tension».
Des formations spéciales et des obligations strictes des intervenants et de leur employeur doivent être systématiquement prévues. [14]

II-8 Operateur du systéme (dispatching):

Le dispatching économique (E D The Economic Dispatch) est la génération, la répartition et l'exploitation à coût minimal de l'énergie électrique dans un réseau de puissance électrique, on peut encore dire que c'est un problème d'optimisation qui est basé essentiellement sur la réparti-tion la plus économique de la puissance active produite par les groupes de génération existant dans un réseau électrique ; en satisfaisant toute la demande et en tenant compte des contraintes d'égalité et d'inégalité des groupes. [11]

L'outil d'optimal dispatch (OD) est utilisé très près du temps réel entre 5 et 15 min où les prévi-sions deviennent de plus en plus précises et lancé à des intervalles réguliers. Ça sert à déterminer le niveau de production définitif des unités qui sont disponibles à ce moment où déjà démarrées..

Donc l'objectif du dispatching économique est de minimiser la fonction coût du combustible, et souvent aussi, les frais des compensateurs, et les pollutions causées par les émissions des compo-sants chimiques(les gaz). [11]

II-9- Stabilité des réseaux électriques :

La stabilité est définie comme la propriéte d'un systéme à retrouver son point de fonctionnement (ou point d'équilibre) après avoir subi une ou plusieurs perturbations .

Elle est caractérisée par les fluctuations de puissances transitéés dans le réseau et se mesure par les variations dans le temps des tensions et fréquences associées . [12]

II-9-1-Types de stabilité :

Il existe trois types de stabilité :

II-9-1-1-Stabilité statique :

En général ,à la fin d'un régime trasitoire provoqué par une perturbation , le systéme atteient son régime permanent . Dans ce cas , l'étude de la stabilité du systéme , porte sur l'évaluation de l'état statique du réseau le systéme n'est pas en etat de stabilité statique si les contraintes de fonctionnement ne sont pas respectées .Cet état est appelé : état instable ou état d'urgence .Dans un réseau qui est dans un état d'urgence , les opérateurs du centre de contrôle ont suffisamment de temps pour ramener le systéme à l'état stable ou au régime normal en apportant des modifications supplémentaires . Si certaines contraintes d'exploitation ne sont pas respectées , l'une des parties du réseau se sépare du systéme , le reste continue son foncionnement normal . [12]

Une autre défenition peut etre donnée à la stabilité statique qui consiste à dire qu'un réseau d'énergie électrique est dit stable en régime statique si suite à une perturbation quelconque infiniment petite, il retrouve un état de marche synchrone , identique ou infiniment voisin de l'état d'origine . [12]

II-9-1-2 Stabilité dynamique:

Il arrive que de petites oscillation apparaissent sur les signeaux, à cause d'un changement dans la structure du réseau, dans les conditions d'exploitation, dans les systémes d'excitation ou au niveau des charges. Ces oscillations peuvent aboutir à déstabiliser un alternateur , une partie ou tout le réseau. Dans ce cas nous pouvons utiliser des modéles linéaires afin de simuler le réseau . les principaux éléments tel que les machines synchrones , les exitarices, les systémes de régulation de vitesse , les pss ou bien les FACTS dont les dynamiques ne sont pas négligeables , seront pris en compte dans ces modéles . [12]

II-9-1-3 Stabilité transitoire :

La subilité transitoire d'un réseau de transport d'énergie électrique est son aptitude à retrouver une position d'équilibre stable après une perturbation brusque et de forte amplitude .Cette perturbation peut écarter notablement le réseau de sa position initiale .Le phénoméne de stabilité transitoire concerne les grandes perturbations .Nous pouvons citer :

- Le court – circuit affectant un élément du réseau , notamment aux bornes des machines .
- La perte d'ouvrages .
- La perte des groupes de production , …etc.

Les conséquences de ses d'fauts peuvent étre très graves , pouvant meme conduire à l'effondrement complet du réseau . La stabilité transitoire dépend :

- Du type de perturbation.
- De la durée de perturbation .
- Du lieu de perturbation
- De la performance des systémes de protection (relais , réenclenchérent).
- Du point de fonctionnement avant défaut (niveau de puissance active , topologie du réseau et degré d' excitation des machines).
- Des caractéristiques dynamiques (des génerateurs,des charges et des régulateurs mis en place danbs les stations ainsi que des stabilisateurs comme le PSS).

Ce qui importe dans une méthode d'analyse de la stabilité transitoire, c'est la rapidité et l'exactitude des réponses obtenues. [12]

II-10 Conclusion :

On a fait dans ce chapitre une étude générale du réseau électrique, avec l'étude de ses différents composants nécessaire à la production, au transport, à la distribution et à la consommation de l'énergie électrique. Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs. Comme on ne peut pas stocker l'énergie et en grande quantité d'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité :
Production = Consommation + pertes .

Le réseau électrique doit permettre de livrer aux utilisateurs un bien de consommation adapté à leurs besoins, caractérisé par :

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

Chapitre III

Répartition des puissances électriques

III.1.Introduction

Les réseaux de transport d'énergie peuvent être améliorés par renforcement ou création de nouvelles lignes. Pour diverses raisons cela n'est pas toujours possible. Les FACTS représentent une bonne alternative pour optimiser les liaisons électriques existantes ou nouvelles, car elles permettent d'accroître la stabilité dynamique, d'amortir les oscillations de puissance, tout en équilibrant les charges entre les circuits parallèles. Une étude a été menée sur le TCSC pour l'approche série et le SVC pour l'approche shunt en utilisant le logiciel flowdemo.net Les points essentiels mis à exergue sont l'efficacité de ces deux dispositifs qui ont donné des résultats satisfaisants à savoir, une amélioration de la stabilité angulaire et de la stabilité de la tension sans diminuer la capacité de transport, une augmentation de la puissance active transmise et une diminution des pertes actives. L'implémentation du TCSC et du SVC dans le power Flow par la méthode de Newton-Raphson en adoptant la stratégie de contrôle par l'angle d'impulsion alpha, ou le logiciel Flowdem,]21[.aboutissent tous les deux à améliorer le transit des puissances actives

III.2.Systéme d'unités p.u (per unit) :

Le système « Per Unit » est un système de grandeurs réduites qui permet à l'ingénieur électricien d'avoir constamment à l'esprit des ordres de grandeurs relatifs de certains paramètres indépendamment des niveaux de tension et de puissance. De plus, l'utilisation de ce système simplifie certaines formules et schémas équivalents. En particulier, un bon choix initial permet de s'affranchir de la présence des transformateurs idéaux et la formulation se ramène à l'étude de circuits monophasés. Ce système associe, à une variable quelconque « α », une valeur de base « αbase » et la compare à sa valeur 'vraie' « αvraie » de manière à l'exprimer dans un système adimensionnel « pu » (ou en % de sa valeur de base) dont les ordres de grandeur sont bien connus. [22]

III.2.1.Le changement de base dans le systéme p.u.

Généralement, les valeurs d'impédances des générateurs et transformateurs fournies par les constructeurs sont donnée dans un système per unit dont les grandeurs de base correspondent aux tension et puissance nominales (par construction) de l'appareil. Lors de nos calculs, il conviendra de ne faire référence qu'à un seul système per unit. Le problème qui se pose alors est celui d'uniformiser les données, soit, de convertir les impédances et admittances - exprimées dans un système quelconque - dans le système lié aux grandeurs de base (SB et VB) choisies pour le tronçon considéré. [22]

III.3. Hypothèses de simplificatrices :

Dans la machine synchrone que nous allons étudier on suppose ce que suit

- le circuit magnétique n'est pas saturé
- Absence de l'effet pelliculaire (densité uniform)
- l'influence des harmoniques est négligeable

on admettra que l'ensemble des amortisseurs peut être représenté par deux enroulements fermés Det Q en court circuit sur eux mêm e.

La machine fonctionne en régime permanent avec une vitesse angulaire constante. L'angle de rotation **θ** est une fonction linéaire du temps .On admet qu'il a un décalage angulaire **δ** constant du champ rotorique par rapport au champ statorique.. [16]

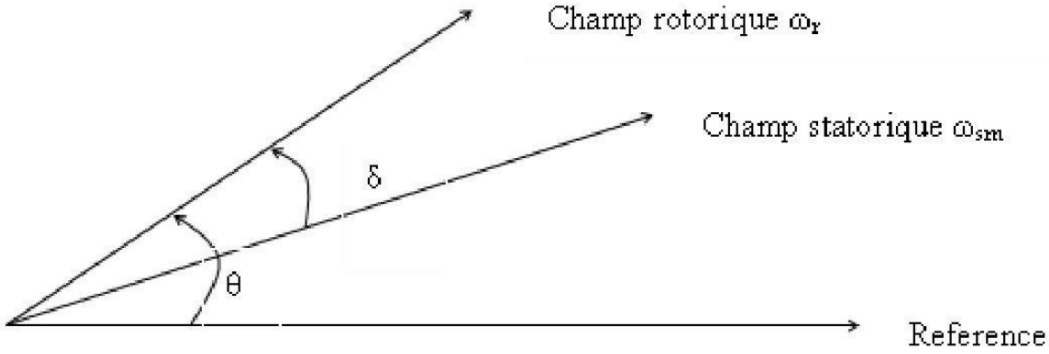


Figure III.3. Disposition vectorielle des champs rotorique et statique

Avec :

$$\boldsymbol{w_s = \frac{d\theta}{dt}}$$

$$\boldsymbol{\theta = wst + \delta}$$

: désigne la vitesse de rotation des champs rotoriques et statorique $\boldsymbol{w_r, w_{sm}}$ respectivem

III.4. L'objectif d'écoulement des puissances*:*

III.4.1.Definition de l'état du réseau :

Le calcul de la répartition des charges au sein d'un réseau a pour objet de determiner l'état du réseau en fonction des charges qui sont connectées et de la répartition de la consommation sur l'ensemble des nœuds du réseau. Ce calcul se fait en supposant que le réseau fonctionne en régime permanent et que les générateurs fournissent la puissance
électrique sous forme d'un système de tensions et de courants alternatifs sinusoïdaux triphasés équilibrés directs. Le but du calcul est de fournir une image exacte de la répartition des puissances actives et réactives sur l'ensemble des éléments de transmission du réseau**.** . [17]

III.4.2.Calculer L'amplitude des courants de transit

La connaissance de la valeur de l'intensité du courant de transit dans chacun des composants du réseau, ligne, câble ou transformateur permet de s'assurer

que dans chacun de ces composants de l'intensité ne dépasse pas la valeur limite compatible avec un bon fonctionnement de ce composant **.** . [17]

III.4.3.Evaluer les pertes

De même, la connaissance des courants de transits permet d'avoir une evaluation des pertes en lignes et éventuellement de modifier le plan de tension afin de minimizer les pertes sur l'ensemble du réseau **.** . [17]

III.4.4.Definir une strategie de reglage et de conduite

La capacité de détermination des tensions en chaque nœud et des puissances active et réactive que doit fournir la machine concernée, afin d'assurer le transport et la fourniture en chaque nœud consommateur de la puissance demandée, permet de definer les consignes de réglage à appliquer au niveau de chacune des machines connectées au
réseau. Un tel calcul est utilisé également pour des analyses de stabilité**. . [17]**

III.5. Modélisation des composants du réseau

III.5.1 Modélisation de la machine synchrone

Les différentes machines ne sont pas indépendantes entre elles, mais reliées par un réseau d'énergie électrique. Celui ci correspond à un ensemble de lignes, de transformateurs, de machines, de charges, de jeux de barres, de dispositifs de régulation, etc. La machine synchrone représente l'élément essentiel dans l'étude de la stabilité des systèmes d'énergie électriques. La mesure des paramètres de cette dernière reste un sujet très important et nombreuses études sont en cours afin de mieux cerner les propriétés de ces machines dans les réseaux électriques. Le problème de la modélisation de ces machines comporte deux aspects **:**

* Le premier, est le choix du modèle de la machine synchrone**;**
* Le deuxième, consiste à déterminer les paramètres à introduire dans le model (modèle de Park, 2ème ordre, 3ème ordre)**. . [16]**

La Figure III.5.1 montre une représentation d'une machine synchrone à trois phases avec amortisseurs

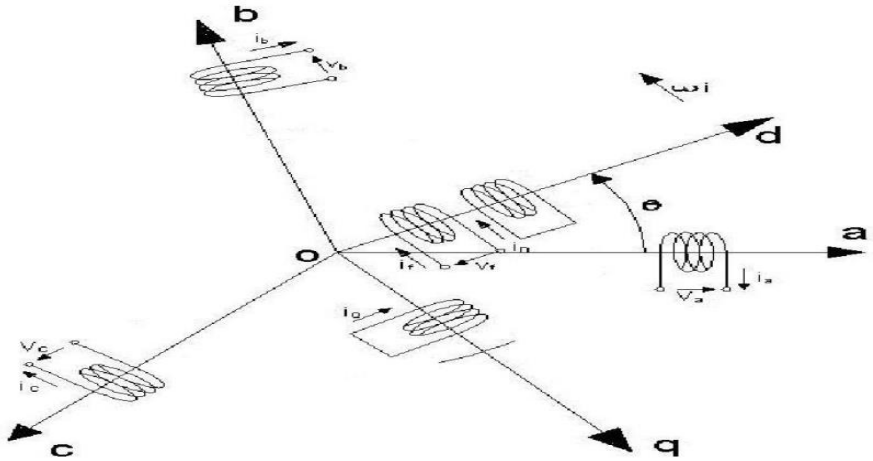


Figure III.5.1 Machine synchrone triphasé assimilée à deux enroulements en CC en quadrature**.**

Les machines synchrones constituent la première catégorie importante des machines à
courant alternatif. Elles jouent un rôle prédominant dans les phénomènes de stabilité des réseaux. Comme toutes les autre machines, elles sont réversibles et peuvent fonctionner indifféremment en générateur ou en moteur. Dans notre étude on a besoin de modéliser des unités de génération.

III.5.2. Modélisation de la charge électrique (electrical load):

Le modèle équivalent d'une charge est représenté par une impédance Z

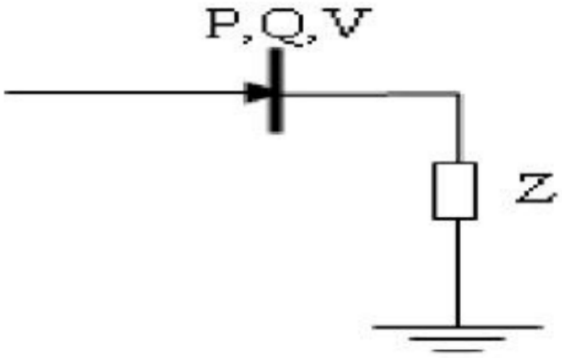


Figure III.5.2 Schéma équivalent d'une charge. . [16]

L'admittance équivalente de charge est calculée après avoir déterminé les données nécessaires
de l'étude de l'écoulement de puissance **:**

Avec **:**

$$\boldsymbol{Z = Y^{-1}\frac{V_g + V_2}{X_g + X_s}}$$

V**:** Tension aux bornes de la charge;
P,Q**:** puissances active et réactive consommées par la charge;
$\boldsymbol{Z}$ **:** impédance de la charge.

III.5.3. Modélistion d'une ligne de transmission :

Le modèle mathématique d'une ligne aérienne ou souterraine peut, pour des longueurs de lignes pas trop élevées (l ≤ 100 km) et à la fréquence du réseau, être représenté sous la forme d'un schéma 'π' (figureIII.5.3). Ce schéma en 'π' possède une impédance longitudinale comprenant la résistance linéique et la réactance linéique de la ligne et deux admittances transversales d'extrémité reprenant chacune la moitié de la susceptance totale. Ce schéma se met donc sous la forme :

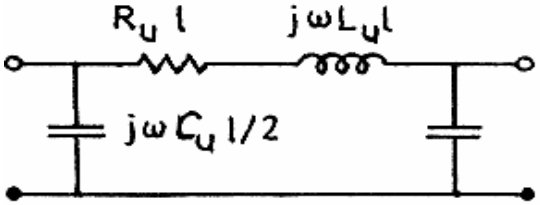


Figure III.5.3: Modèle simplifié des lignes de transmission électriques

où :
Ru est la résistance linéique de la ligne [Ω/m] ;
X = ω.Lu est la réactance longitudinale linéique de la ligne [Ω/m] ; Y/2 = ω.Cu/2 est l'admittance transversale linéique [µS/m] ;
L est la longueur de la ligne [m]

III.5.4. Modélisation du transformateur

Le transformateur permet d'élever l'amplitude de la tension alternative disponible à la sortie

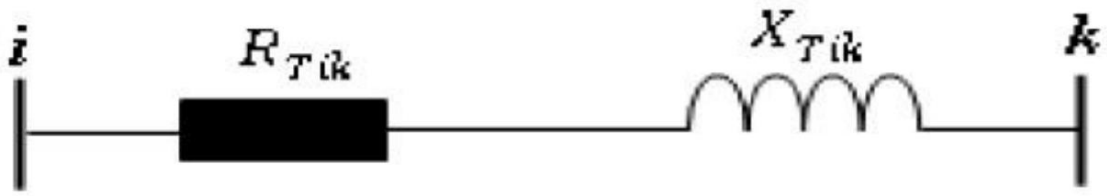


Figure III.5.4 Représentation d'un transformateur. . [16]

de l'unité de production pour l'amener aux niveaux requis pour le transport. A l'autre extrémité de la chaîne, côté consommateurs, les transformateurs sont utilisés pour abaisser la tension et la ramener aux valeurs utilisées dans les réseaux de distribution BT. Chaque transformateur peut être modélisé par une résistance en série avec une réactance comme elle Donc le transformateur peut être considéré comme une ligne

$$Z_{=}Rt_{ik} + Jt_{ik}$$

$$Z = 1/ Rt_{ik} + Jt_{ik}$$

ZTik : L'impédance du transformateur.
YTik *:* L'admittance du transformateur.

III.5.5. Modélisation d'une compensation Série/Shunt[13]

Dans la plupart des cas, les éléments shunts sont des dispositifs destinés à la compensation del'énergie réactive et la tenue de la tension. Chaque élément connecté au réseau sera modélisé, suivant le cas, par une admittance équivalente **y** de la forme

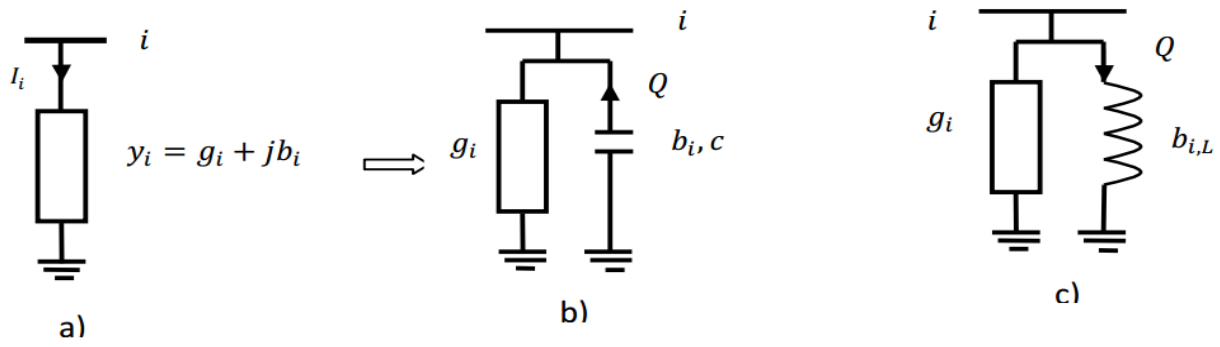


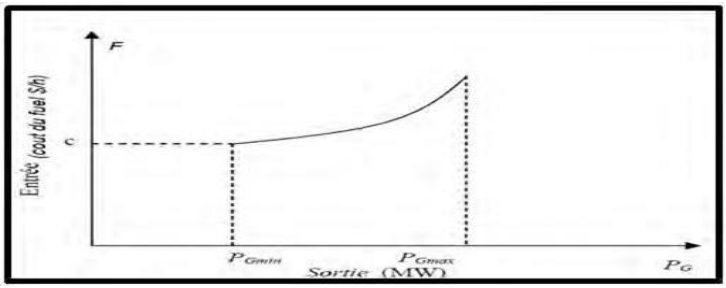
Figure:(III. 5.5) Modèles des éléments shunt *: a) symbole, b) élément capacitif, c) élément inductif.*

III.6 . Formulation mathématique du problème:

III.6.1. la fonction cout

C'est la fonction objective dont on veut optimiser, ou le coût de production reflète principale-ment le coût du combustible utilisé ; et d'autres coûts d'exploitation et de maintenance de la cen-trale. Le coût du combustible est évalué en se servant de la notion des valeurs de consommation spécifiques de chaleur (c'est la quantité d'énergie thermique nécessaire pour produire de l'électricité). Cette valeur (CSC) est proportionnelle à l'inverse du rendement énergétique : plus la CSC est grande, moins la centrale est performante. . [10]

La fonction cout est polynomiale du second ordre en terme de PGi sous la forme suivante:



$$F_i = a_i + a_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2$$

Figure (**III.6.1**) : Caractéristique entrée sortie d'une unité de production

D'où : sont des constantes propres à chaque centrale. Ces paramètres peuvent être détermi-nés à partir de plusieurs méthodes on peut citer la plus répondue : la méthode des moindres car-rés « least-squares method»

La constante est normalement appelée coût de marche à vide et représente le coût pour tenir démarrée une unité de génération à production nulle.

P_{Gi}: puissance active générée par unité de génération (i).

F_i (P_{Gi}) : la fonction de cout de la centrale (i)

Il est très important à noter que d'autres caractéristiques spécifiques doivent être prises en consi-dération pour le cout de production d'électricité. C'est le cas notamment du coût spécifique pour démarrer ou arrêter l'unité de production (coût de démarrage et d'arrêt), à titre d'exemple : le coût de démarrage correspond au coût de l'énergie nécessaire pour mettre en fonctionnement tous les auxiliaires permettant la production d'électricité (chaudières , pompes, etc.). Ce coût dé- pend normalement de l'état de l'unité de production au moment de l'appel à démarrer (démar-rage à froid ou à chaud) et le temps de démarrage (pointe ou creux). Les contraintes techniques sont aussi importantes pour l'exploitation. Généralement, l'unité de production ne peut fonction-ner de manière stable qu'à partir d'un niveau de production minimal (capacité minimale de pro-duction) et jusqu'à un niveau maximal de production (capacité maximale de production)

III.6.2. Minimisation des coûts de génération

Le but principal du dispatching économique est la minimisation du cout de production de chaque générateur et donc le cout total. . [10]

D'autre part, on sait très bien que les facteurs influençant sur le cout sont résumés en trois points essentiels :

- le rendement de fonctionnement des générateurs.
- le cout du combustible.
- les pertes dans les lignes de transmission

Et pour minimiser la fonction de cout, on peut ajuster sur l'un des points précédents. . [10]

Cette minimisation peut être traduite par la condition suivante :

$Min = \left(\sum_{i=1}^{Ng} Fi(P_{Gi})\right)$ avec :F= $\left(\sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_{Gi})\right)$

(N_g) : Le nombre des générateurs.

F : La fonction de cout total de la production

III.6.3. Contraintes d'égalités

C'est l'équation de l'écoulement de puissance en équilibre ; entre la génération et la demande ; exprimée par la formule suivante :

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_G - P_D - P_L$$
$= 0$ Tapez une équation ici.

D'où

$$P_{D=\sum_{i=1}^{N_D}} P_{Di}$$

P_D: la puissance active totale absorbée par toute la charge.

P_{Di}: la puissance active absorbée par la charge (i).

P_L: les pertes actives dans les linges de transmission.

N_D : le nombre de nœuds consommateurs.

D'après cette expression on peut dire que le système d'énergie électrique est en équilibre car la somme des puissances actives générées, puissances consommées par la charge totale et les pertes actives dans les lignes est nulle. . [10]

III.6.4. Contraintes d'inégalités

le nombre de nœuds consommateurs.

On les appelle aussi les contraintes de sécurité, directement liées aux limites associées aux cen-trales électriques

$$P_{Gi}^{m} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{M}$$

$$Q_{Gi}^{m} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{M}$$

D'où

P_{Gi}^{M}: la puissance active maximale que génère le générateur (i).

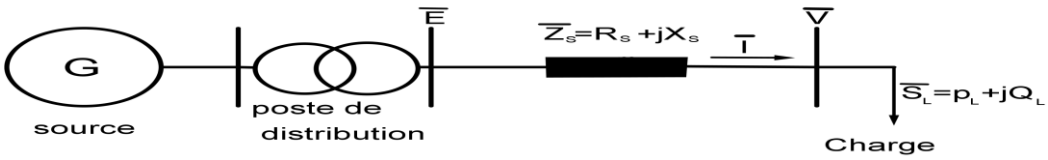
P_{Gi}^{m}: la puissance active minimale que génère le générateur (i).

Q_{Gi}^{M}: la puissance réactive maximale que génère le générateur (i).

Q_{Gi}^{m}: la puissance réactive minimale que génère le générateur (i).

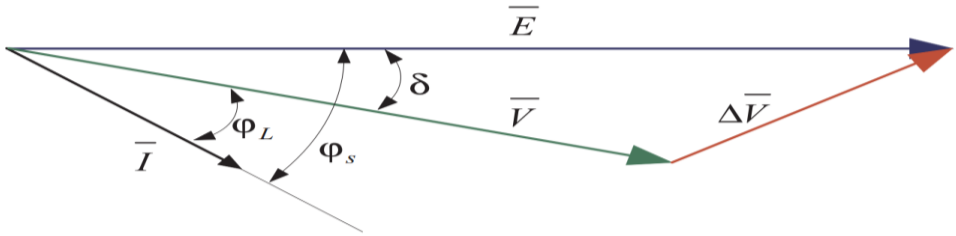
III.7. Puissances active, réactive et angle de charge*:*

Le réseau de la Figure(III.7.a)peut être généralisé à celui d'un réseau à deux jeux de barres, un jeu de barres source et un jeu de barres charge (sending end bus and recieving end bus). La ligne entre les jeux de barres est représentée par sa réactance X. La tension au jeu de barres source $\bar{E}$ est prise comme référence, donc sa phase est égale 0°, et la tension au jeu de barres chargé$\bar{V}$ est déphasée d'un angle δ par rapport à $\bar{E}$ Les puissances active et réactive au jeu de barres chargé sont P et Q. Le courant $\bar{I}$ absorbé, supposé inductif, est déphasé de ' φ_L par rapport à $\bar{V}$ et de 'φ_s par rapport à $\bar{E}$ comme le montre le diagramme vectoriel sur la Figure. (III.7.b). . [19]



(a) Réseau radial alimentant une charge.

FIGURE (III.7.a) Chute de tension dans une ligne



(b) Diagramme vectoriel des tensions.

FIGURE (III.7.b)Chute de tension dans une ligne de réactance X.

La relation entre les tensions $\bar{E}$et $\bar{V}$peut être alors écrite comme

$$E\cos(\delta) = V + XI\sin(\varphi_L) \text{ et } E\sin(\delta) = XI\cos(\varphi_L) \qquad \text{(III.1)}$$

Par ailleurs, la puissance absorbée au jeu de barres de charge est donnée par

$$\bar{V}\bar{I}^* = P + jQ = VI\cos(\varphi_L) + jVI\sin(\varphi_L) \qquad \text{(III.2)}$$

En faisant sortir les expressions du cos(’*L*) et sin(’*L*) de l’équation (III.1), et en remplaçant dans (III.2), on about it aux équations des flux de puissances suivantes

$$P = \frac{EV}{X}\sin(\delta) \qquad \text{(III.3)}$$

$$Q = \frac{EV}{X}\cos(\delta) - \frac{V^2}{X} \qquad \text{(III.4)}$$

Côté source, la puissance active débitée est égale à celle du jeu de barres de la charge donnée par (III.3), puisque la résistance de la ligne est négligée. Cependant, pour la puissance réactive, elle est différente du faite de la réactance de ligne qui consomme une partie de la puissance réactive débitée par la source. La puissance réactive de la source peut être écrite comme

$$Q_s = Q + XI^2 \text{ avec } I = \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{V} \qquad \text{(III.5)}$$

En remplaçant *P* et *Q* par les expressions établies précédemment , la puissance réactive de la source s’écrira

$$Q_s = \frac{E^2}{X} - \frac{EV}{X}\cos(\delta) \qquad \text{(III.6)}$$

D’après le digramme vectoriel de la Figure. III.4(b), on peut écrire les chutes de tension directe (longitudinale), et en quadrature (transversale) comme suit

$$\Delta V_d = E\cos(\delta) - V, \Delta V_q = E\sin(\delta) \qquad \text{(III.7)}$$

Ainsi, les équations (III.3) et (III.4) peuvent être réécrites comme

$$P = \frac{V}{X}\Delta V_q, Q = \frac{V}{X}\Delta V_d \qquad \text{(III.8)}$$

Remarquer que la puissance active *P* échangée entre les deux jeux de barres dépend des paramètres suivants :

1. Modules des tensions de source *E*, et de charge *V* ; Si on suppose une tension de sourceconstante, alors une bonne régulation de la tension de charge augmentera la puissance *P* ;

2. La réactance de la ligne *X* ; En théorie, plus elle est faible plus la puissance est grande, mais il ne faut perdre de vue qu’une trop faible réactance provoquera une instabilité du système.

3. L’angle de charge δ ; Plus il est large, plus la puissance est grande, mais il faut noter qu’un angle large peut affecter la stabilité du réseau

La puissance réactive dépend aussi des tensions E, V et de la réactance de ligne X. De manière plus explicite, la puissance Q dépend de la chute de tension directe ΔV_d comme le montre l'équation (III.8). Si cette chute de tension est nulle, alors il n'y a aucune puissance réactive au jeu de barres de la charge, mais cela ne veut forcement pas dire que la charge n'absorbe pas de puissance réactive ! Par ailleurs, la chute de tension en quadrature ΔV_q ne peut pas être zéro, car il n'y aura aucun transfert de puissance active de la source à la charge, ce qui n'est pas pratique, (sauf si le jeu de barres est à vide). . [19]

Remarque importante

L'équation (III.8) montre qu'il ne peut pas y avoir de transfert de puissance entre les deux jeux de barres sans chute de tension. **. [19]**

Effets de la puissance réactive sur la tension et le transfert de puissance

Dans cette section, nous allons mettre en lumière l'effet de la puissance réactive sur la tension de charge $\bar{V}$ et le transfert de puissance active de la source à la charge. Pour cela, reprenons les équations et qu'on peut mettre sous la forme

$$P^2 + \left(Q + \frac{V^2}{X}\right) = \left(\frac{EV}{X}\right)^2 \qquad \text{(III.9)}$$

La solution de cette équation pour V donne

$$V^2 = \frac{E^2}{2} - QX \pm X\sqrt{\frac{E^4}{4X^2} - P^2 - Q\frac{E^2}{X}} \qquad \text{(III.10)}$$

Donc, pour que l'équation (2.18) admet des solutions positives pour V , il faut que

$$P^2 + Q\frac{E^2}{X} \leq \frac{E^4}{4X^2} \qquad \text{(III.11)}$$

Cette dernière équation permet d'identifier les puissances active et réactive que la ligne peut fournir à la charge. Ainsi, en introduisant la puissance de court-circuit du réseau donnée par

$$S_{sc} = \frac{E^2}{X} \qquad \text{(III.12)}$$

on peut écrire la condition précédente comme

$$P^2 + QS_{sc} \leq \left(\frac{S_{sc}}{2}\right)^2 \qquad \text{(III.13)}$$

Cette dernière condition permet de tirer les conclusions suivantes

1. Si la charge est purement active, $Q = 0$, alors la puissance active maximale transmissible par la ligne est égale $S_{sc}/2$:
2. Si la charge est purement réactive $P = 0$, alors la puissance réactive maximale transmissible par la ligne est égale $S_{sc}/4$
3. Un facteur de puissance capacitif ($Q < 0$) au jeu de barre de la charge augmente la capacité de transfert de la puissance active ;

4. Un facteur de puissance inductif ($Q > 0$) au jeu de barre de la charge réduit la capacité de transfert de la puissance active.

Ainsi, il semble qu'il est plus difficile de transporter la puissance réactive que la puissance active. En o utre, le transport de la puissance réactive réduit la capacité de la ligne à satisfaire la charge en puissance active. Pour le vérifier, soit une charge absorbant une puissance $P + jQ = jP\tan(\varphi)$ sous tension V. La charge en question est représentée par son admittance donnée par

$$\bar{G}_L = G + jG\tan(\varphi) \qquad \text{(III.14)}$$

Ainsi, en utilisant le diviseur de tension, la tension de charge $\bar{V}$sera donnée en fonction de la tension de source $\bar{E}$, de l'admittance de charge et de la réactance de la ligne comme

$$\bar{V} = \frac{\bar{E}}{1+XG\tan(\varphi)+jXG} \qquad \text{(III.15)}$$

dont le module s'écrira

$$V = \frac{E}{\sqrt{(XG)^2+(1+XG\tan(\varphi))^2}} \qquad \text{(III.16)}$$

Pour représenter la tension V de manière plus explicite, il est plus judicieux de passer au grandeurs normalisées. Ainsi, en posant E comme tension de base, i.e., $e = 1$ pu, et X comme impédance de base, i.e., $x = 1$
pu, alors $XG = g$ et la tension de charge$v = V/E$ en pu s'écrira

$$v = \frac{1}{\sqrt{g^2+(1+g\tan(\varphi))^2}} \qquad \text{(III.17)}$$

avec g, l'admittance de charge en pu.

Comme attendu, il n'y a pas de chute de tension dans la ligne s'il n'y a pas charge, c'est-à-dire lorsque l'admittance $g = 0$. Par contre, la tension de charge v tend vers zéro lorsque l'admittance de charge tend vers l'infini. La solution de cette équation permet d'obtenir la surface dans le plan pqv sur la Figure.(III.9) qui montre la relation entre la tension v et les puissances active et réactive au jeu de barres de la charge. Chaque point sur la surface en question représente un point de fonctionnement (p, q, v). Chaque courbe en trait continu représente les points de fonctionnement pour un facteur de puissance donné lorsque l'admittance varie de 0 à l'infini. Ainsi, en variant le facteur de puissance, plusieurs courbes sont obtenues. Finalement, la ligne en trait discontinu qu'on peut appeler équateur représente les limites de transfert de puissance pour chaque facteur de puissance. . [19]

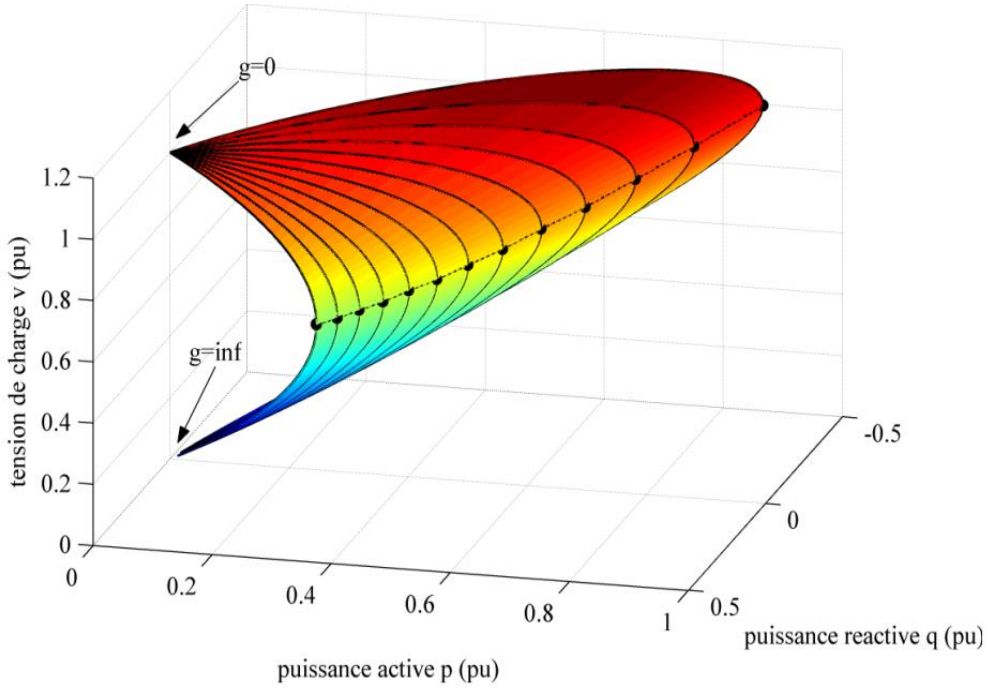


FIGURE (III.7.c)Surface pqv

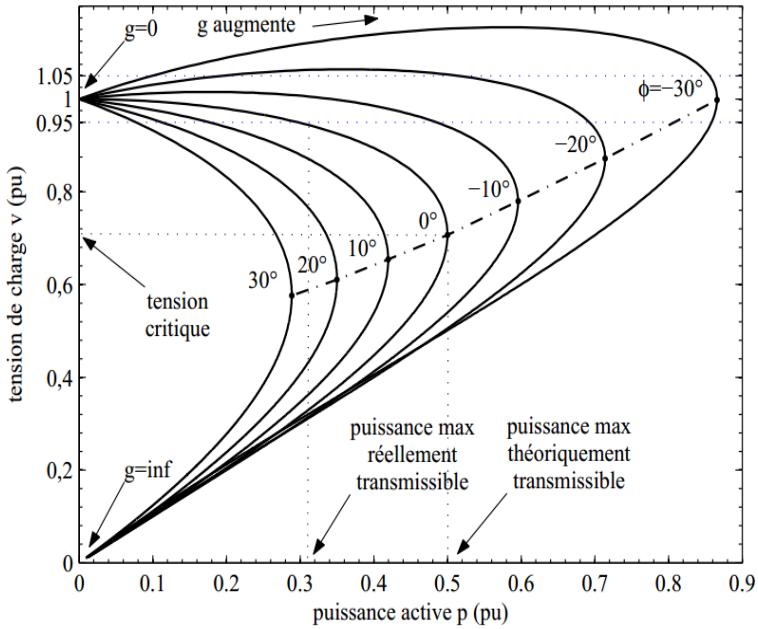


FIGURE (III.7.d)*Courbes pvpour différents facteurs de puissance.*

Courbes pv

La Figure. (III.7.d) représente des courbes pv (pv curves) obtenues de l'équation (III.17), pour quelques valeurs de l'angle d'admittance φ. Le point le plus à droite de chaque courbe représente le point de fonctionnement où la puissance transmise est maximale pour une charge d'admittance g et de facteur de puissance $\cos(\varphi)$. La tension correspondante à ce point représente la *tension critique*. Cette puissance maximale est dite *puissance maximale théoriquement transmissible* ou *Limite théorique de transfert de puissance*. Cette limite est de 0.5 pu pour un facteur de

puissance unitaire, mais elle augmente pour des facteurs de puissance capacitifs, cependant pour des facteurs de puissances inductifs, cette limite est inférieure à 0.5 pu.

A partir du point de fonctionnement à puissance maximale, si la l'admittance augmente, en remarque que la puissance diminue et la tension chute considérablement et le tout tend vers zéro. On verra plus tard dans ce chapitre que le système devient instable à partir de ce point. Ainsi, la courbe pvpeut être divisée en une *partie stable* c'est-à-dire la partie supérieure, et une *partie instable*, la partie inférieure. . [19]

Pour une charge active la tension critique est égale à$1/\sqrt{2} \approx 0.71$pu qui n'est pas acceptable de point

III.8. Caractéristique des nœuds (bus):

Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les jeux de barres du système sont classés en trois catégories :

III.8.1. Slack bus

On l'appelle aussi le jeu de barres balancier ou swing bus, c'est un élément fictif crée pour l'étude de la répartition de la puissance, il a pour rôle de fournir la puissance supplémentaire nécessaire pour compenser les pertes de transmission, car celles-ci ne sont pas connues d'avance . D'une façon générale et par convention ce jeu de barres est identifié par le jeu de barres N° = 1 connecté à une source de tension d'où le module $|\bar{V}|$et la phase (δ) de la tension sont connues, ces valeurs sont prises comme des références$(\bar{V})$ = $1pu$ et δ= 0°. Les puissances active (P) et réactive (Q) sont donc inconnues et doivent être calculées après avoir résoudre le problème de l'écoulement de puissance. [10]

III.8.2. PV bus

Appelés aussi jeux de barres générateurs ou à tension contrôlée ; ils peuvent inclure des jeux de barres aux quels des générateurs, des batteries de condensateurs, des compensateurs statiques ou des transformateurs avec prise réglable sont raccordés pour contrôler la tension.

Les paramètres spécifiés ici sont : la puissance active (P) et le module de la tension (V) d'où l'appellation : jeux de barres(PV) donc les paramètres restant doivent être calculés $(Q)et(\delta)$. . [10]

III.8.3. PQ bus

Appelés aussi les jeux de barres (P Q), les valeurs spécifiées sont les puissances actives (P) et réactives (Q) , les valeurs à calculer sont le module$(\bar{V})$ et la phase(δ). [10]

III.9.Classification des variables d'équations d'écoulement de puissance:

Dans un réseau électrique chaque jeu de barres est associé de quatre grandeurs fondamentales : Le module de la tension , la phase de la tension , la puissance active injectée et la puissance réactive injectée . Il est très important à noter que pour chaque jeu de barres ; deux variables doivent être spécifiées au préalable et les deux autres sont à calculer. . [6

Ces différentes variables ont chacune une appellation suite à son rôle dans le réseau électrique. L'état du système n'est déterminé qu'après avoir calculer les valeurs des variables d'état **. . [10]**

III.9.1. Les variables incontrôlables

Ce sont des variables non contrôlées représentant les puissances demandées par les charges, les variables de perturbation sont : P_{Di}, Q_{Di} ou $\overline{V_i}$. [10]

III.9.2. Les variables indépendantes ou de contrôle

D'une façon générique les puissances actives et réactives injectées sont appelées *variables de contrôle*. On peut aussi, selon des cas, considérer des tensions aux nœuds de génération ou les rapports de transformation des transformateurs avec régleur en charge, comme variables de con-trôle, ces variables sont : P_{Gi}, Q_{Gi} . [10]

III.9.3.Les variables d'état

On appelle les modules et les phases des tensions inconnues *variables d'état* qui représentent l'état du système, ces variables sont : $|\overline{V_i}|$et δ_i

III.10. Matrice d'admittance*:*

Pour la résolution de la répartition des charges, il est plus commode de travailler avec les admittances plutôt qu'avec les impédances. Donc il est nécessaire dans un premier temps de calculer la matrice admittance.

- Soit la ligne représentée par le schéma équivalent en π suivant :

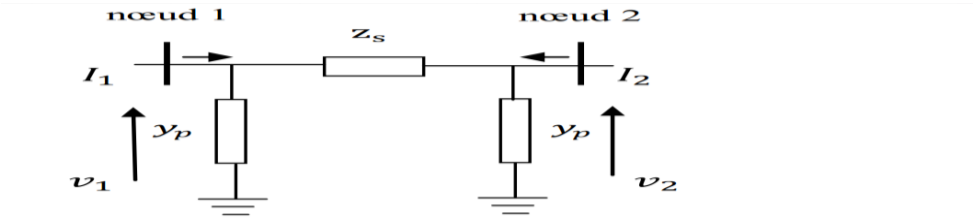


Figure (III.10) :Schéma équivalent en π d'une ligne de transmission

D'où **:**

$$y_s = \frac{1}{z_s}$$

$$z_s = R + j_s$$

y_s: c'est l'admittance

z_s:c'est l'impédance série , R: la résistance interne de la ligne et x: la réactance de la ligne.

$$y_p = (G + J_B)/2$$

y_p: c'est l'admittance parallèle.

G: c'est la conductance.

.: c'est la susceptance.B

En appliquant les lois de Kirchhoff :

$$\bar{I}_1 = \bar{V}_1\bar{y}_P + (\bar{V}_1 - \bar{V}_2)\bar{y}_s$$

$$I_2 = \bar{V}_2\bar{y}_P + (\bar{V}_2 - \bar{V}_1)\bar{y}_s \qquad \text{(III.18)}$$

Le système d'équations (1) peut être écrit sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix}\bar{I}_1\\ \bar{I}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\bar{y}_P + \bar{y}_s & -\bar{y}_s\\ -\bar{y}_s & \bar{y}_P + \bar{y}_s\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\bar{V}_1\\ \bar{V}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\bar{y}_{11} & \bar{y}_{12}\\ \bar{y}_{21} & \bar{y}_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\bar{V}_1\\ \bar{V}_2\end{bmatrix} \qquad \text{(III.19)}$$

Avec :$\bar{y}_{11} = \bar{y}_P + \bar{y}_s$

$$\bar{y}_{22} = \bar{y}_P + \bar{y}_s$$

$$-\bar{y}_s = \bar{y}_{12}$$

$$-\bar{y}_s = \bar{y}_{21}$$

Et

$$y_{bus} = \begin{bmatrix}\bar{y}_{11} & \bar{y}_{12}\\ \bar{y}_{21} & \bar{y}_{22}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\bar{y}_p + \bar{y}_s & -\bar{y}_s\\ -\bar{y}_s & \bar{y}_p + \bar{y}_s\end{bmatrix} \qquad \text{(III.20)}$$

D'une façon générale pour le calcul de y_{bus} on doit appliquer les règles suivantes **:**

- les éléments diagonaux y_{ii} de y_{bus} sont égaux à la somme algébrique de toutes les admittances connectées au nœud i **[10]**
- La mutuelle admittance entre les nœuds i et k y_{ik} est égale à la somme algébrique de tout les admittances connectées entre le nœud i et le nœud k précédée par un signe moins $(-)$ **.**

$$y_{ik} = y_{ki}$$

Et ceci peut être appliqué pour un système d'équations ayant une matrice admittance de dimension $(n * n)$ **.**

$$I_{bus} = \begin{vmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{vmatrix} \qquad \text{(III.21)}$$

$$V_{bus} = \begin{vmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{vmatrix} \qquad \text{(III.20)}$$

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{1n} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \qquad \text{(III.21)}$$

Avec I_{bus} **:** Vecteur de courants des jeux de barres **.**

: Vecteur de tensions des jeux de barres **.**V_{bus}

Y_{bus}**:** La matrice admittance **.**

III.11. Équations d'écoulement des puissances

III.11.1. Écoulement au niveau de jeu de barres:

Soit le schéma suivant qui présente un système

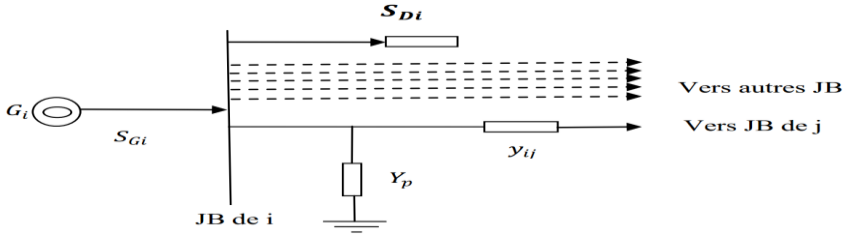


Figure (III.11.1) : Schéma équivalent d'un système de jeux de barres . [10]

Prenons le cas particulier **:** deux nœuds $i = 1$et $i = 2$ nous aurons

Les puissances apparentes injectées dans les nœuds 1et 2 respectivement sont **:**

$$\bar{S}_1 = \bar{S}_{G1} - \bar{S}_{D1} = P_1 + jQ_1 \qquad \text{(III.22)}$$

$$\bar{S}_2 = \bar{S}_{G2} - \bar{S}_{D2} = P_2 + jQ_2$$

D'autre part on sait que **:**

$$\bar{S}_1 = \bar{V}_1 \bar{I}_1^{\,*}$$

$$\bar{S}_1 = \bar{V}_2 \bar{V}_2^{\,*} \qquad \text{(III.23)}$$

$$\bar{I}_1^{\,*} = \bar{y}_{11}^{*} \bar{V}_1^{\,*} + \bar{y}_{12}^{*} \bar{V}_2^{\,*}$$

$\bar{I}_2{}^* = \bar{y}_{21}^* \bar{V}_1{}^* + \bar{y}_{22}^* \bar{V}_2{}^*$ (III.24)

Remplaçons le système d'équations (III.24) dans le système (III .23) on trouve **:**

$$\bar{S}_1 = \bar{V}_1 \bar{I}_1{}^* = \bar{V}_1(\bar{y}_{11}^* \bar{V}_1^* + \bar{y}_{12}^* \bar{V}_2^*) = \bar{V}_1 \sum_{k=1}^{2} \bar{y}_{1k}^* \bar{V}_k^*$$

$$\bar{S}_2 = \bar{V}_2 \bar{I}_2^* = \bar{V}_2(\bar{y}_{21}^* \bar{V}_1^* + \bar{y}_{22}^* \bar{V}_2^*) = \bar{V}_2 \sum_{k=1}^{2} \bar{y}_{2k}^* \bar{V}_k^* \quad \text{(III.25)}$$

On sait par ailleurs qu'on peut écrire sous forme polaire le système suivant **:**

$$\bar{y}_{ik} = y_{ik} e^{j\theta_{ik}}$$

$$\bar{V}_i = \bar{V}_i e^{j\delta_i} \quad \text{(III.26)}$$

L'ensemble d'équation (III .25) devient donc **:**

$$P_1 + jQ_1 = V_1 \sum_{k=1}^{2} y_{1k} V_k e^{j\left(\delta_1 - \delta_k - \theta_{1k}\right)}$$

$$P_2 + jQ_2 = V_2 \sum_{k=1}^{2} y_{2k} V_k e^{j(\delta_2 - \delta_k - \theta_{2k})} \quad \text{(III.27)}$$

Prenons le cas le plus général d'un réseau à n nœuds ($2n$ équations) on peut déduire le système

d'équation suivant **:**

$$P_i = V_i \sum_{k=1}^{n} y_{ik} V_k \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

$$i = 1, n \quad \text{(III.28)}$$

$$Q_i = V_i \sum_{k=1}^{n} y_{ik} V_k \sin(\delta_i - \delta_k - \theta_k)$$

On sait que $\bar{y}_{ik} = \bar{G}_{ik} + jB_{ik}$

$$\delta_{ik} = \delta_i - \delta_k \quad \text{(III.29)}$$

En remplaçant (III.29) dans le système d'équations (III .28) on peut déduire **:**

$$P_i = V_i \sum_{k=1}^{n} V_k (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik})$$

$$i = 1, n \quad \text{(III.30)}$$

$$Q_i = V_i \sum_{k=1}^{n} V_k (G_{ik} \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \delta_{ik})$$

III.11.2. Écoulement dans les lignes:

La détermination des valeurs des puissances réparties dans les lignes de transport est indispensable afin de localiser les lignes électriques surchargées, de calculer la valeur de pertes de puissance et de déterminer les contraintes qui sont forcées. . [20]

Le courant de la branche entre les deux jeux de barres i et , qui a le sens positif de i vers k

est donné par **:**

$$I_{ik} = Y_{ik}(V_i - V_k) + V_i Y_p \qquad \text{(III.31)}$$

avec Y_{ik} : l'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et k

Y_p : l'admittance shunt au jeu de barres i

$V_i Y_p$: la contribution shunt du courant au jeu de barres i.

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* I_{ik}$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^*(V_i - V_k)Y_{ik} + V_i^* V_i Y_p \qquad \text{(III.32)}$$

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^*(V_k - V_i)Y_{ik} + V_k^* V_k Y_p \qquad \text{(III.33)}$$

La valeur des pertes de puissance dans la ligne entre les deux jeux de barres i et k est la somme algébrique de la répartition des puissances déterminées à partir des relations (III.32) et (III.33). . [20]

III.11.3. Équation des Pertes:

Reprenant le schéma précédent représenté sur la figure(III.11.1)

Les puissances apparentes $\bar{S}_{21}$ s'écoulant du jeu de barres (1) vers (2), et $\bar{S}_{21}$ s'écoulant du jeu de barres (2) vers (1) sont **:**

$$\bar{S}_{12} = \bar{V}_1 \bar{I}_{12}^* \qquad \text{(III.34)}$$

$$\bar{S}_{21} = \bar{V}_{21} \bar{I}_{21}^* \qquad \text{(III.35)}$$

La puissance complexe $\Delta\bar{S}_{12}$ perdue dans la ligne 1-2 due à la transmission est obtenue en fai-sant la somme algébrique des écoulements des puissances déterminées par les équations (III. 34) et (III.35), soit**:**

$$\Delta\bar{S}_{12} = \bar{S}_{12} + \bar{S}_{21}$$
(III.36)

Avec**:**

$$\Delta\bar{S}_{12} = \bar{S}_L = P_L + JQ_L$$
(III.37)

Ou**:**

P_L et Q_L Représentent respectivement les puissances active et réactive perdues dans la ligne de Transmission **.**

On peut résumer que le calcul des puissances peut être effectué à l'aide du système d'équations

(III.30) bien que le bilan de puissances est comme suit **:**

$\sum_{i=1}^{n} P_{Gi} = \sum_{i=1}^{n} P_{Di} + P_{pertes}$
(III.38)

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{Gi} = \sum_{i=1}^{n} Q_{Di} + Q_{pertes}$$

Il nous reste maintenant à déterminer aux niveaux des jeux de barres **:**

De référence : les puissances active et réactive (P, Q)

. De contrôle : la puissance réactive et la phase de la tension (Q, δ)

De charge : le module et la phase de la tension (V, δ)**. [10]**

III.12. Méthodes numériques de résolution

III.12.1 . 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. En général, on calcule le vecteur *x* qui satisfait le système non linéaire : . [20]

$$f(x) = 0$$

On peut formuler l'équation, comme le problème du point fixe, d'où :

$$x = f(x)$$

La solution est obtenue itérativement, à partir d'une valeur initiale x^0 :

$$x^{k+1} = f(x^k)$$

Pour le cas concret de la répartition des charges, la résolution de l'équation nodale, est tel que :

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}}\left[\frac{P_I - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{j\neq i}^{n} Y_{ij}\cdot V_j\right]$$

$$V_i^{k+1} = \frac{1}{Y_{ii}}\left[\frac{P_i - Q_I}{\left(V_i{}^k\right)^*} - \sum_{j=1}^{n=1} Y_{ij}\cdot V_j{}^{k+1}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\cdot V_j\right]$$

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

$$max\left|V_i{}^{k+1} - V_i{}^k\right| \leq \epsilon$$

Le processus peut être accéléré, en diminuant le nombre d'itérations, par l'introduction d'un facteur d'accélération α :

$$V_{i,accl}{}^{k+1} = V_i{}^k\alpha\left(V_i{}^{k+1} - V_i{}^k\right)$$

III.12.2.La méthode de Newton- Raphson :

est un algorithme utilisé pour résoudre un système d'équation non linéaire dont le nombre d'inconnues est égales au nombre d'équations. . [20]

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2 \ldots\ldots x_n) = 0 \\ f_2\left((x_1, x_2 \ldots\ldots x_n\right) = 0 \\ f_n(x_1, x_2 \ldots\ldots x_n) = 0 \end{cases}$$

Où : F(X) = 0 , F représente le système de n équations non linéaire et X le vecteur de n variables d'état. La méthode consiste à déterminer le vecteur des variables état X en effectuant un

développement en série de Taylor de la fonction$F$(X) au vosinage de $X^{(0)}$) . . [21]

$$F(x) = F\left(X^{(0)}\right) + J\left(X^{(0)}\right)\left(X - X^{(0)}\right)X^{(0)}\right)$$

Avec :

$X^{(0)}$: Estimation initiale.

$J\left(X^{(0)}\right)$: est une matrice des dérivés partiels de premier ordre de (x)par rapport à x au voisinage

$$\begin{bmatrix} f_1\left(X^{(1)}\right) \\ f_2\left(X^{(1)}\right) \\ \vdots \\ f_n\left(X^{(1)}\right) \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} f_1\left(X^{(0)}\right) \\ f_2\left(X^{(0)}\right) \\ \vdots \\ f_n\left(X^{(0)}\right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(X)}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_1(X)}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n(X)}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_n(X)}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{X=X^{(0)}} \begin{bmatrix} X_1{}^{(1)} - X_1{}^{(0)} \\ X_2{}^{(1)} - X_2{}^{(0)} \\ \vdots \\ X_n{}^{(1)} - X_n{}^{(0)} \end{bmatrix}$$

Sous forme générale :

$$F\left(X^{(i)}\right) = F\left(X^{(i-1)}\right) + J\left(X^{(i-1)}\right)\left(X^{(i)} - X^{(i-1)}\right) = 0$$

$$X^{(i)} = X^{(i-1)} - J^{-1}\left(X^{(i-1)}\right)F\left(X^{(i-1)}\right)$$

$$\Delta X^{(i)=X^{(i)}} - X^{(i-1)}$$

$$\Delta X^{(i)} = -J^{-1}\left(X^{(i-1)}\right)F\left(X^{(i-1)}\right)$$

$$X^{(i)} = X^{(i-1)} + \Delta X^{(i)}$$

Dans le réseau, on corrige l'angle et le module de la tension qui sont donnés par les deux équations :

$$\Delta P_i = P_i^{spe} - P_i^{cal} = V_i \sum_{j=1}^{n} V_j\left(G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}\right)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{spe} - Q_i^{cal} = V_i \sum_{i=1}^{n} V_i\left(G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij}\right)$$

Avec cette notation et en divisons le Jacobien en sous matrices, l'expression appliquée au problème de la répartition des charges, se convertit, en un système matriciel suivant :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^k = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}^k \cdot \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta\theta \end{bmatrix}^k$$

La variable ΔV peut être divisée par V :

$$\begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta Q \end{bmatrix}^k = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}^k \cdot \begin{bmatrix} \Delta Q \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix}^k$$

Et l'expression en système matriciel est :

$$\begin{bmatrix}\theta\\V\end{bmatrix}^{k+1}=\begin{bmatrix}\theta\\V\end{bmatrix}^{k}+\begin{bmatrix}\Delta\theta\\\Delta V\end{bmatrix}^{k}$$

Avec :

$$H_{ij}=\frac{dP_i}{d\theta_j},M_{ij}=\frac{dQ_i}{d\theta_j},N_{ij}=\frac{dP_i}{dV_j}\cdot V_j,L_{ij}=\frac{dQ_i}{dV_j}\cdot V_j$$

La matrice du Jacobien a comme éléments :

Pour i = j :

$$H_{ii}=-Q_i-B_{ii}\cdot {V_i}^2$$

$$M_{ii}=P_i-G_{ii}\cdot {V_i}^2$$

$$N_{ii}=P_i+G_{ii}\cdot {V_i}^2$$

$$L_{ii}=Q_i-B_{ii}\cdot {V_i}^2$$

Pour i ≠ j :

$$H_{ii}=V_i\cdot V_j\left(G_{ij}\sin\theta_{ij}-B_{ij}\cos\theta_{ij}\right)$$

$$N_{ij}=V_i\cdot V_j\left(G_{ij}\cos\theta_{ij}+B_{ij}\sin\theta_{ij}\right)$$

$$L_{ij}=H_{ij}$$

$$M_{ij}=-N_{ij}$$

Pour chaque itération, on calculi $\left[\Delta\theta,\frac{\Delta V}{V}\right]$ en résolvant le système Le processus s'arrêtera pour $|\Delta P|\leq\varepsilon\ et|\Delta Q|\leq\varepsilon$

III.12.2.1. Détermination des sous-matrices de Jacobienne Ji:

On arrête le processus itératif dés que la condition : $\left|X^{(k+1)}-X^{(k)}\leq\varepsilon\right|$sera satisfaite ε : Une valeur très petit.Dans le cas ou le système à résoudre est formé de deux équations non- linéaires le processus restera toujours le même. Soit le système d'équations suivant dérivable au moins une seule fois :

$$\begin{cases}f_1(x_1,x_2)=0\\f_2(x_1,x_2)=0\end{cases}$$

Et de même pour le développement limité en série de Taylor de l'ordre « 1 » écrit sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1,x_2) \\ f_2(x_1,x_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x_{10},x_{20}) \\ f_2(x_{10},x_{20}) \end{bmatrix} \quad ff \; + \begin{bmatrix} \left.\dfrac{\partial f_1(x_1,x_2)}{\partial x_1}\right|_{x_1=x_{10}} & \left.\dfrac{\partial f_1(x_1,x_2)}{\partial x_2}\right|_{x_2=x_{20}} \\ \left.\dfrac{\partial f_2(x_1,x_2)}{\partial x_1}\right|_{x_1=x_{10}} & \left.\dfrac{\partial f_2(x_1,x_2)}{\partial x_2}\right|_{x_2=x_{20}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 - x_{10} \\ x_2 - x_{20} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

On déduit les valeurs deΔx_1 etΔx_2 qui sont égalent respectivemen aux: $(x_1 - x_{10})$ et $(x_2 - x_{20})$
on aura :

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left.\dfrac{\partial f_1(x_1,x_2)}{\partial x_1}\right|_{x_1=x_{10}} & \left.\dfrac{\partial f_1(x_1,x_2)}{\partial x_2}\right|_{x_2=x_{20}} \\ \left.\dfrac{\partial f_2(x_1,x_2)}{\partial x_1}\right|_{x_1=x_{10}} & \left.\dfrac{\partial f_2(x_1,x_2)}{\partial x_2}\right|_{x_2=x_{20}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta f_1(x_1,x_2) \\ \Delta f_2(x_1,x_2) \end{bmatrix}$$

Sachant que les termes : $\Delta f_2(x_2,x_2)$et $\Delta f_1(x_1,x_2)$sont égaux respectivement aux : $(f_2(x_1 - x_2) - f_2(x_{10},x_{20}))$ et$(f_1(x_1,x_2) - f_1(x_{10},x_{20}))$

On écrit le système d'équations sous la forme la plus simple :$\Delta x = [J]^{-1}[\Delta f(x)]$

Avec : $\begin{bmatrix} \left.\frac{\partial f_1(x_1,x_2)}{\partial x_1}\right|_{x_1=x_{10}} & \left.\frac{\partial f_1(x_1,x_2)}{\partial x_2}\right|_{x_2=x_{20}} \\ \left.\frac{\partial f_2(x_1,x_2)}{\partial x_1}\right|_{x_1=x_{10}} & \left.\frac{\partial f_2(x_1,x_2)}{\partial x_2}\right|_{x_2=x_{20}} \end{bmatrix}^{-1} = [J]^{-1}$

On appelle $[J]$ la matrice Jacobéenne

Et d'une façon générale :

$$\Delta x^k = \left[J^{(k)}\right]^{-1}\left[\Delta f\left(x^{(k)}\right)\right]$$

III.13 Conclusion

Selon ce qui précède, afin d'analyser le réseau électrique, il nous faut calculer L'écoulement de puissance dont le calcul doit passer par la résolution des équations différentielles non linéaires, où le recours aux méthodes numériques est inévitable. Quelques méthodes sont étudiés et nous avons conclus que la méthode de N-R représente des avantages énormes par rapport aux autres méthodes, c'est pour cette raison que nous allons l'utiliser dans la partie du calcul de l'écoulement de puissance lors de l'optimisation qu'on va effectuer par la suite

CHAPITRE IV
Modélisation et calcule

CHAPITRE IV : Modélisation et calcule

IV.1. Introduction

L'épistémologie technologique et la révolution informatique, en particulier le développement numérique, ont récemment contribué directement à simplifier les calculs complexes en mathématiques et en particulier les problèmes d'électrotechniques. Ce développement numérique a permis la création des programmes, des algorithmes et d'améliorer les environnements informatiques de calcul optimisé pour résoudre les grandes matrices et les dilemmes des tableaux qui suivent des modèles non linéaires.

Cette révolution informatique a conduit à l'élaboration de nouvelles méthodes de résolution optimale afin d'assurer le contrôle instantané au défaut sur le réseau électrique. Actuellement, toute entreprise électrique nécessite un environnement de calcul numérique pour les études sur les répartitions des puissances y compris l'OPF, les planifications et les études dynamiques des réseaux électriques et surtout la gestion optimale du réseau électrique pour assurer la continuité du service [25].

Le système de distribution fournit en permanence l'électricité aux consommateurs des centres de distribution en fonction de leur demande. La demande d'énergie électrique augmente de jour en jour et entraîne des pertes de puissance élevées et une mauvaise régulation de la tension. Il est compliqué de combler l'écart entre l'offre et la demande, qui ne cesse de s'élargir.

Dans le dispatching, le power flow et l'optimale power flow déterminent périodiquement les valeurs des variables électriques, en considérant toutes les contraintes et les limites d'exploitation du système. En se basant sur ces valeurs, les opérateurs réalisent les manœuvres nécessaires pour obtenir l'exploitation optimale du système, en suivant les variations du rapport production/consommation.

Dans les réseaux radiaux moins chargés, la caractéristique principale c'est la chute de tension et la surtension pour les grandes charges et les faibles charges consommatrices selon la courbe de charge globale. Ce problème d'exploitation amène le mode de travail du réseau dans les limites marginales, la marge de stabilité donc elle va diminuer et cette situation provoque certains problèmes : l'augmentation des pertes de puissances actives, dégradation de la capacité du départ, profil de tension critique, les creux des tensions, les fluctuations de fréquences, désynchronisation du système de production … etc. [21].

Cependant, ce dernier chapitre présente une étude de planification sur le contrôle de la tension de distribution, de la puissance réactive et une minimisation des pertes actives sur le réseau IEEE 30 bus.

IV.2. Présentation du réseau IEEE 30 bus

Le scénario de test de bus IEEE 30 représente une partie de l'American Electric Power System (dans le Midwest des États-Unis) en décembre 1961. Une copie papier des données a été fournie par Iraj Dabbagchi d'AEP et entrée dans IEEE Common Data Format par Rich Christie à la Université de Washington en août 1993.

Ce cas de test se compose de 15 bus, 2 générateurs et 3 condenseurs synchrones. Les tensions de base de 11 kV et 1,0 kV sont une estimation, ce qui peut ne pas être les données réelles. Le modèle a en fait ces bus à 132 ou 33 kV; ce qui mérite d'être mentionné, c'est que le cas de test du bus 30 n'a pas de limites de ligne.

Une description du système d'étude est présenté dans le tableau n° IV.1 suivant :

Tableau IV.1 Description du système d'étude

System characteristics		*Number*	*Buses*
Control Buses	*SLACK BUS*	*01*	*1*
	PV BUS	*05*	*2,5,8,11 and 13*
	PQ BUS	*24*	*-*
branches		*41*	*-*
Generators	*Thermal Generators*	*06*	*1,2,5,8,11 and 13*
	Wind generators	*0*	*0*
	Solar PV system	*0*	*0*
Autotransformers		*04*	*6-9, 6-10 , 4-12 ,28-27*
Shunts		*02*	*10 and 24*

Tableau IV.2 : ID et code des bus du réseau IEEE bus.

Bus ID	**Bus Nbr.**	**Nominal kV**	**Type_bus controe**
Glen Lyn	1	132	salck_Bus
Claytor	2	132	PV_Bus
Kumis	3	132	PQ_Bus
Hancock	4	132	PQ_Bus
Fieldale	5	132	PV_Bus
Roanoke	6	132	PQ_Bus
Blaine	7	132	PQ_Bus
Reusens	8	132	PV_Bus
Roanoke	9	33	PQ_Bus
Roanoke	10	33	PQ_Bus
Roanoke	11	11	PV_Bus

Hancock	12	33	PQ_Bus
Hancock	13	11	PV_Bus
Bus 14	14	33	PQ_Bus
Bus 15	15	33	PQ_Bus
Bus 16	16	33	PQ_Bus
Bus 17	17	33	PQ_Bus
Bus 18	18	33	PQ_Bus
Bus 19	19	33	PQ_Bus
Bus 20	20	33	PQ_Bus
Bus 21	21	33	PQ_Bus
Bus 22	22	33	PQ_Bus
Bus 23	23	33	PQ_Bus
Bus 24	24	33	PQ_Bus
Bus 25	25	33	PQ_Bus
Bus 26	26	33	PQ_Bus
Cloverdle 27	27	33	PQ_Bus
Cloverdle 28	28	132	PQ_Bus
Bus 29	29	33	PQ_Bus
Bus 30	30	33	PQ_Bus

La figure IV.1 présente le réseau IEEE 30 bus.

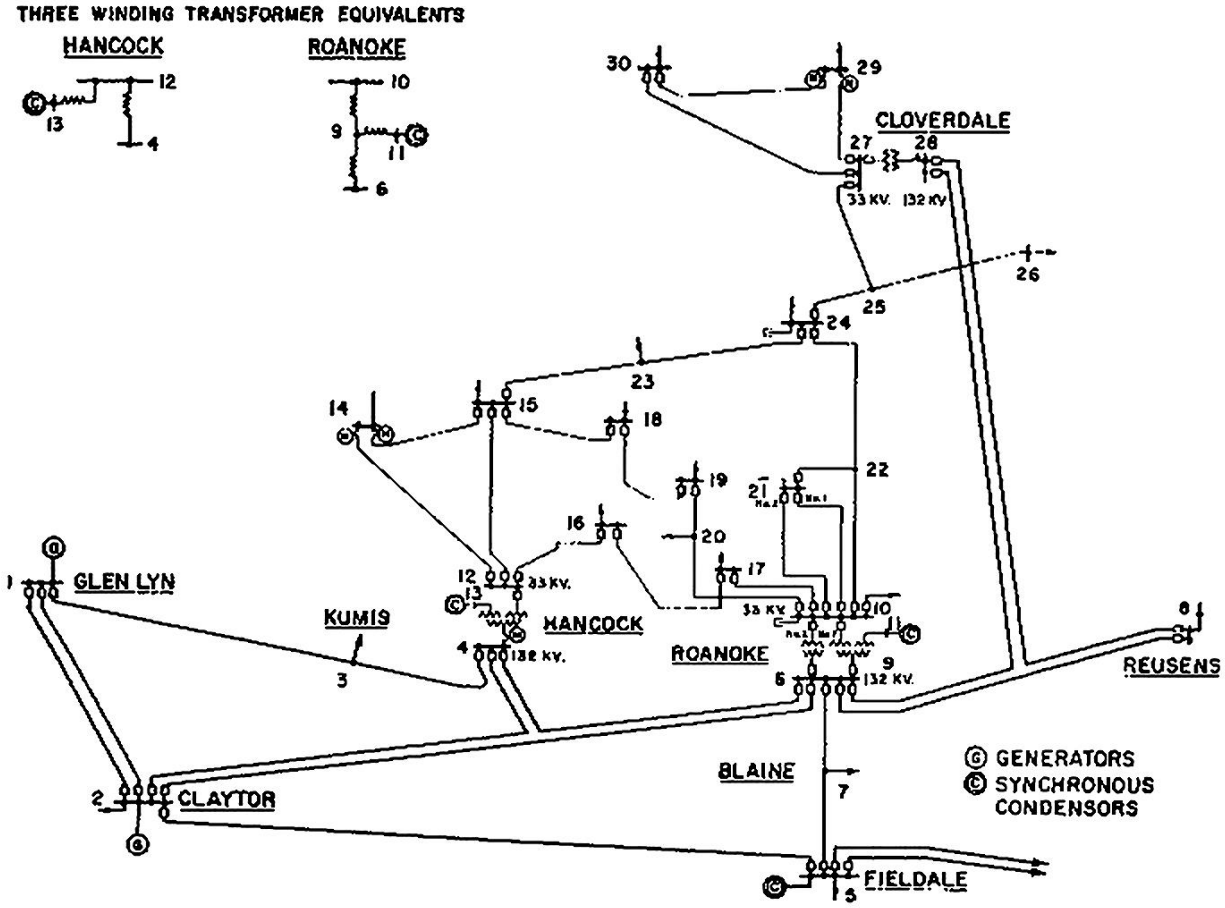


Figure IV.1 Schéma original sur une seule ligne

IV.3. Hypothèses et données pour le calcul

Les hypothèses de travail simplifient grandement le contrôle de la tension et de la puissance réactive dans le réseau et lui confèrent un rôle purement passif sur le transit de la puissance :

- La fréquence reste constante à 50 Hz.
- Le comportement du réseau triphasé est équilibré et par conséquent il est possible de travailler avec la représentation monophasée du réseau.
- Les éléments du réseau ne présentent pas entre eux d'impédance mutuelle.
- Les lignes de transport sont représentables par des circuits en π, et les transformateurs par un circuit série (admittances linéaires).
- Nous admettons que les charges alimentées par le réseau sont toutes passives, linéaires et statiques, assimilables à des impédances.

Pour les générateurs (machines synchrones), les hypothèses suivantes sont prises en compte :

- La saturation est négligée, il en résulte que les inductances propres et mutuelles sont indépendantes des courants qui circulent dans les différents enroulements.
- Les forces électromotrices sont réparties sinusoïdalement dans l'entrefer de la machine.
- Les encoches sont supposées inexistantes.
- On ne tient pas compte de l'hystérésis et des courants de Foucault dans les parties magnétiques.
- L'effet de la variation de la vitesse est négligé. Cela ne signifie pas que la vitesse est constante mais que les variations de celle-ci sont très petites et n'ont aucun effet sur la tension au stator.
- Les générateurs produisent la puissance active P et réactive Q^{+}, Q^{-} .

Les conditions de couplage de deux réseaux électriques doivent obéir aux critères suivants :

- Un écart de tension n'excédant pas les 10% entre les deux nœuds à l'état N.
- Un écart de fréquence n'excédant pas 0,1Hz.
- Un écart angulaire ne dépassant pas les 15°.

Les conditions de transmission pour les lignes et les câbles électriques :

- Utilisation d'un type des lignes et des câbles souterrains pour les transmissions des puissances.

Tableau n° IV.3 : Lignes et câbles de transmission utilisées pour chaque niveau de tension

	Désignation du conducteur	
Tensions 30 kV	Lignes	AL4-148
	Câbles	CU-150
Tensions 132 kV	Lignes	AL4-288

VI.3.1. Caractéristique globale du réseau de distribution

On constate que le réseau de distribution est caractérisé par :

- Nombreux nœud de types PQ.
- La majorité des charges sont connectés radialement aux nœuds principaux.
- Une nature de charge accablante ; le creux de charge de nuit est très faible par rapport à la charge du jour.
- La production est située loin des consommateurs.
- Une distribution inadéquate des réserves de la puissance réactive.

VI.3.2.1. Courbe de charge statique globale

Les différentes charges du réseau électrique IEEE 30 bus sont illustrés dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4 : Charges statiques du réseau IEEE 30 bus.

PQ_Bus	*Rating*	*Rated kV*	*MW*	*Mvar*
BusShunt_10	*19 MVA*	*33*	*0.002*	*-20.752*
BusShunt_24	*4.3 MVA*	*33*	*0*	*-4.487*
Load_2	*25.143 MVA*	*132*	*21.7*	*12.7*
Load_3	*2.683 MVA*	*132*	*2.4*	*1.2*
Load_4	*7.767 MVA*	*132*	*7.6*	*1.6*
Load_5	*96.097 MVA*	*132*	*94.2*	*19*
Load_7	*25.272 MVA*	*132*	*22.8*	*10.9*
Load_8	*42.426 MVA*	*132*	*30*	*30*
Load_10	*6.135 MVA*	*33*	*5.8*	*2*
Load_12	*13.479 MVA*	*33*	*11.2*	*7.5*
Load_14	*6.403 MVA*	*33*	*6.2*	*1.6*
Load_15	*8.573 MVA*	*33*	*8.2*	*2.5*
Load_16	*3.936 MVA*	*33*	*3.5*	*1.8*
Load_17	*10.707 MVA*	*33*	*9*	*5.8*
Load_18	*3.324 MVA*	*33*	*3.2*	*0.9*
Load_19	*10.09 MVA*	*33*	*9.5*	*3.4*
Load_20	*2.309 MVA*	*33*	*2.2*	*0.7*
Load_21	*20.777 MVA*	*33*	*17.5*	*11.2*
Load_23	*3.578 MVA*	*33*	*3.2*	*1.6*
Load_24	*10.981 MVA*	*33*	*8.7*	*6.7*
Load_26	*4.188 MVA*	*33*	*3.5*	*2.3*
Load_29	*2.563 MVA*	*33*	*2.4*	*0.9*
Load_30	*10.769 MVA*	*33*	*10.6*	*1.9*

La figure IV.2 présente la courbe de charge globale du système étudier,

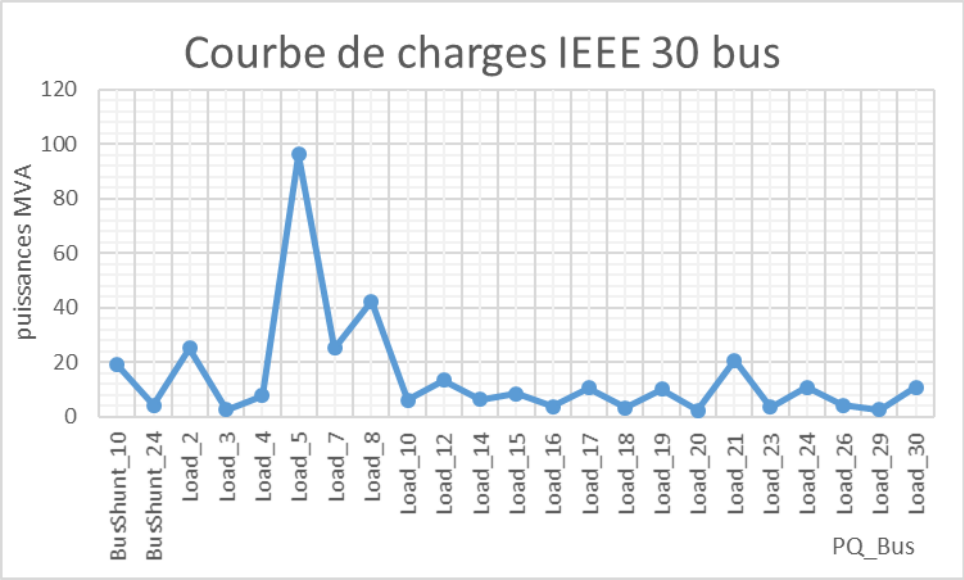


Figure IV.2 : Courbe de charge statique IEEE 30 bus

IV.3.3. Méthodologie de calcul

Pour les raisons techniques décrites précédemment, de nombreux problèmes de contrôle sont apparus et les deux sérieux problèmes sont le contrôle de la tension et de la répartition de la puissance réactive. Alors, pour un contrôle réduit de réseau, on propose trois étapes :

- Dans la Première partie, on s'intéresse au contrôle de la tension et de l'écoulement de la puissance par les prises de charges (LTC : load tap changers) sur les autotransformateurs, on considère deux cas d'étude dont la première c'est le contrôle de tension presque à charge vide, et la deuxième en pleine de charge. Cette partie nous donne les marges de contrôle pour les prises des autotransformateurs ainsi les valeurs maximales des tensions sur le secondaire, autrement dit, les marges nominales de fonctionnement.

- Dans la deuxième partie, on s'intéresse au contrôle de la tension et l'écoulement de la puissance aux 12 nœuds, cette partie de base est essentielle pour illustrer les problèmes sur le réseau sans contrôler les autotransformateurs de puissances et sans contrôler les compensateurs de réactives.

- Dans la troisième partie est consacrée au contrôle de la tension et de l'écoulement de la puissance pour tous les départs inclus les lignes/câbles électrique, les charges électriques statiques et le contrôle des LTC des autotransformateurs.

IV.4. Limitation du système

Les limites inférieures et supérieures pour les deux niveaux de la tension sont présentées sur le tableau n° IV.5.

Tableau IV.5 : Intervalle des tensions des bus

Tension nominale (kV)	**Limite de tension en situation N**		**Limite de tension en situation N-1**	
	Min [pu]	Max [pu]	Min [pu]	Max [pu]
30	0.93	1.06	0.9	1.1
132	0.93	1.06	0.9	1.1

Les limites de transit pour les lignes et les transformateurs en situation de réseau normale sont illustrées dans le tableau n° IV.6.

Tableau IV.6. : Les limites de transit des lignes et des transformateurs en situation N

	Transits en situation N
Line	80%
Transformer	80%

IV.5. Schéma unifilaire du système

Le réseau Nord-Sud avec la partie du réseau d'interconnexion en couleur bleu est présenté sur la figure IV.3.

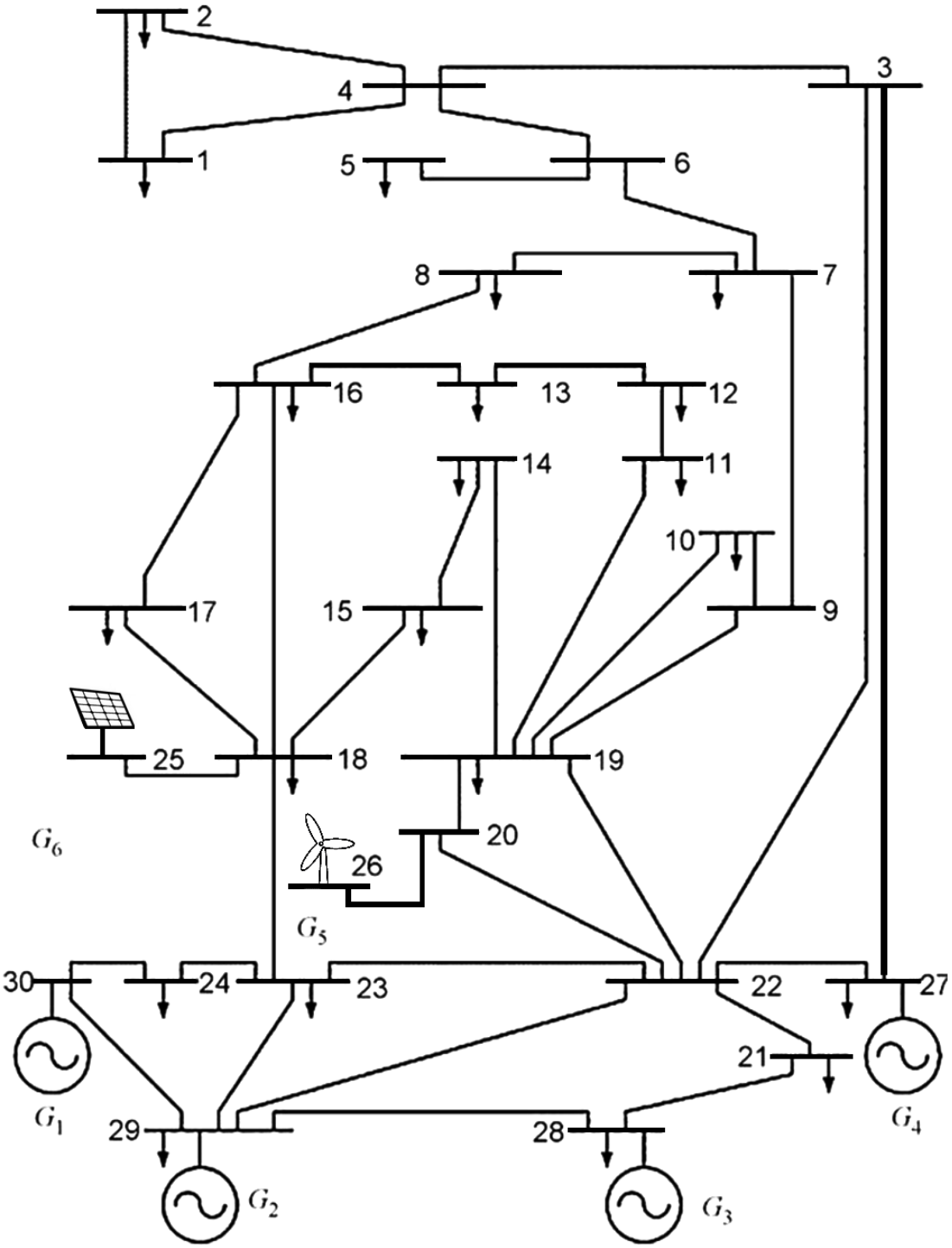


Figure IV.3 : Schéma unifilaire du réseau IEEE 30 bus.

IV.6. Calculs et interprétation des résultats

Afin d'étudier et d'analyser le comportement du réseau de distribution 130/30 kV, des calculs ont été réalisés sur la répartition des puissances avec et sans la compensation de réactive introduisant les taps des autotransformateurs afin de maintenue les tensions dans les limites admissibles et de minimiser les pertes actives totale du système.

IV.6.1. Réglage des autotransformateurs

Calcul des paramètres sans compensation

Les résultats obtenus pour le premier cas 1 (cas de base), étude de répartition des puissances sans compensation de réactive sont présentés dans la figure IV.4, elle présente les violations de tensions marginale sur le système électrique.

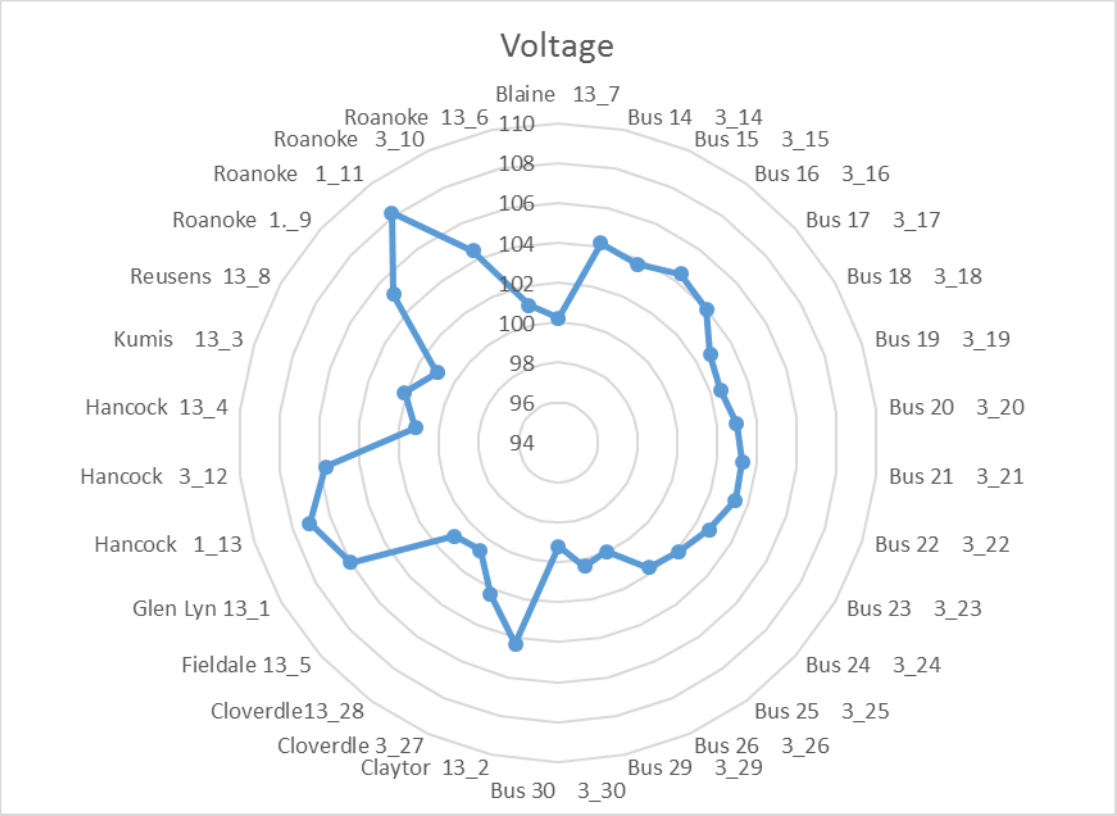


Figure IV.4 : Profil de tension du système à 12 bus (cas 1)

IV.6.1.1 Répartition des puissances et pertes actives

La figure IV.5 présente les pertes partielles/totales dans le système (cas1)

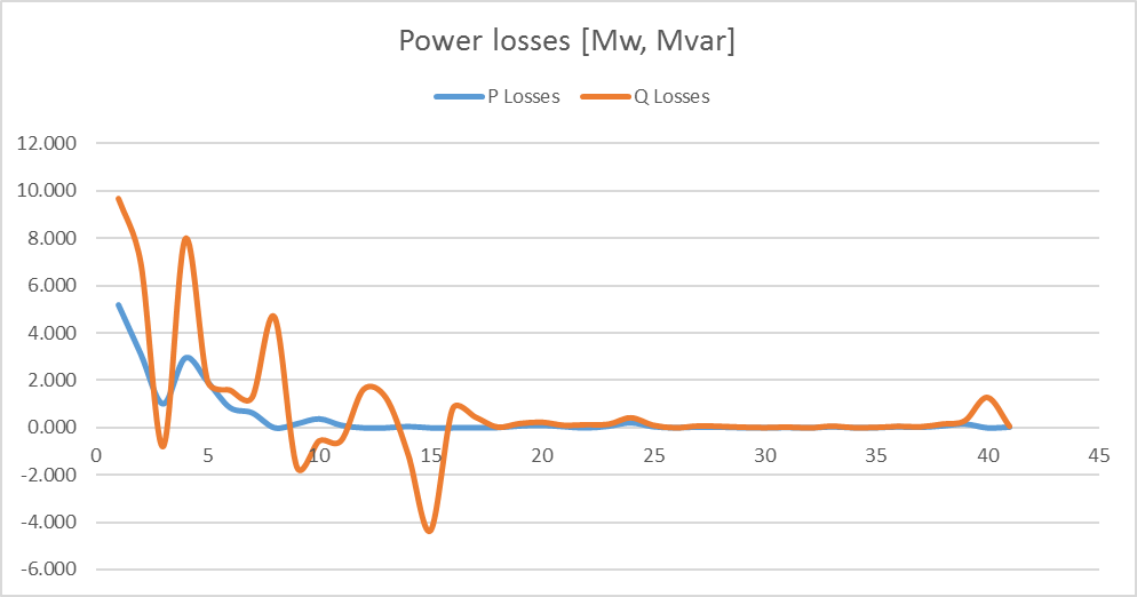


Figure IV.5 : pertes partielles/totales par branche (cas 1)

IV.6.2. Résultat du Cas 2

Les résultats obtenus pour le deuxième cas 2 sont présentés dans la figure IV.6

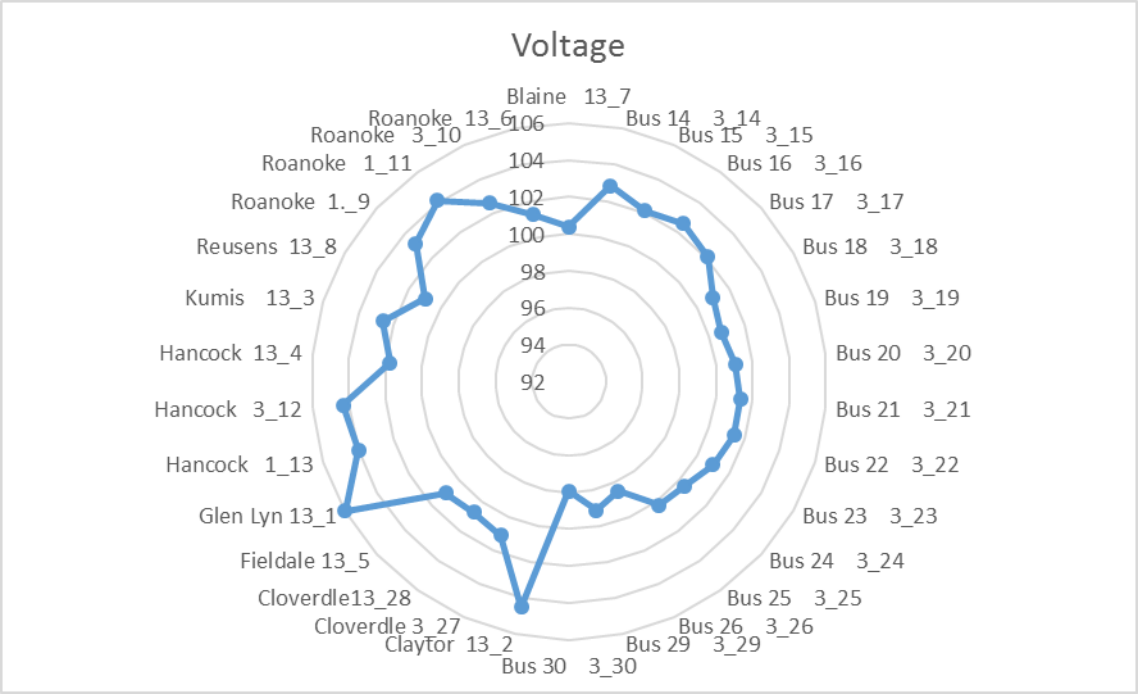


Figure IV.6 : Profil de tension du système (cas 2)

IV.6.2.1. Répartition des puissances et pertes actives

La figure IV.8 présente les pertes partielles/totales dans le système (cas1)

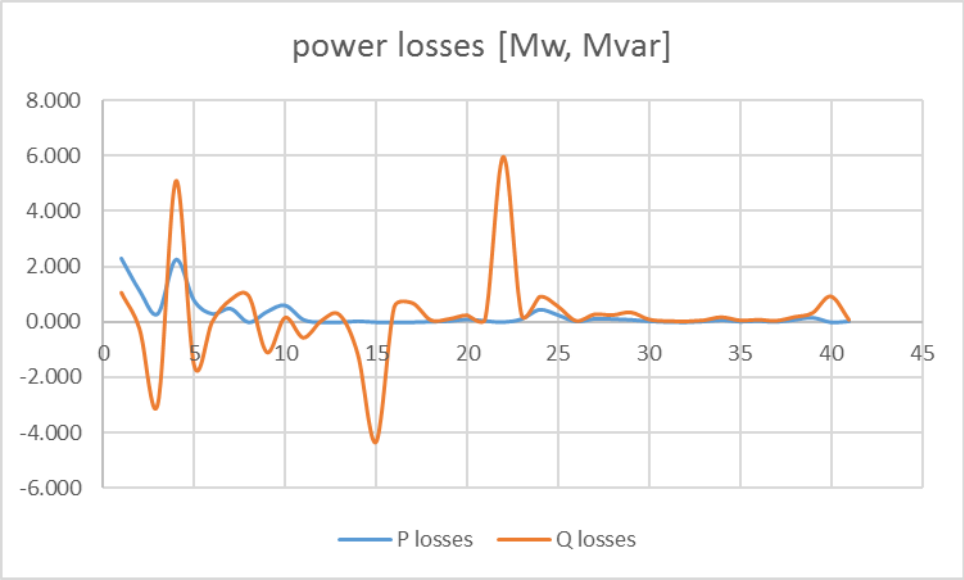


Figure IV.7 : pertes partielles/totales par branche (cas 2)

IV.7. Pertes Actives Totales

Le premier cas (de base), on a la production de la puissance active totale est de 294.07 MW, et dans le 2eme cas on a une production de 300.96 MW.

D'après la théorie, la puissance active totale couvre les pertes actives totales et les puissances actives de charges de puissances totales.

$$P_G = \sum P_D + \sum P_J \quad \text{[IV.1]}$$

La figure IV.8 présente comparaison ente le taux des pertes partielles/totales dans le système de distribution dans le 1er et le 2ème cas.

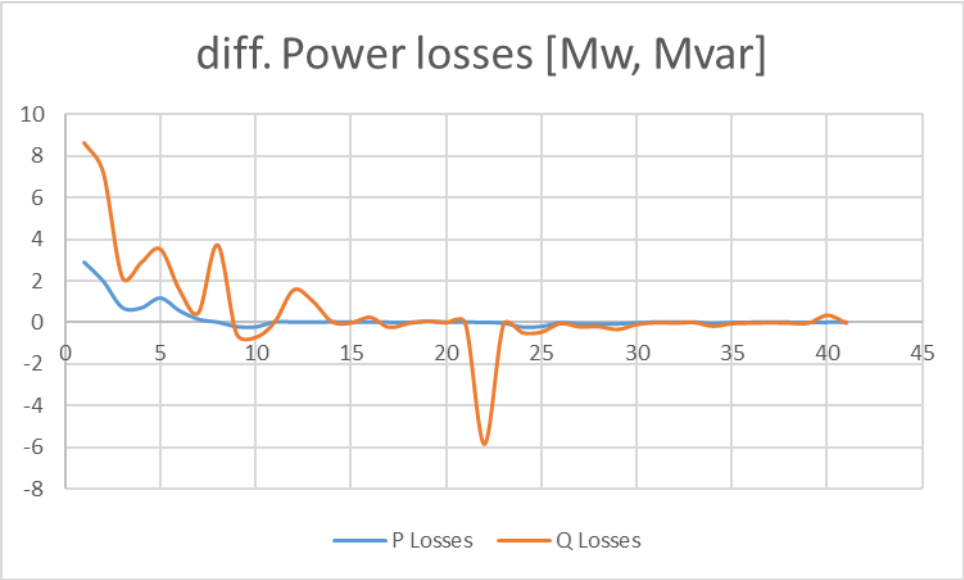


Figure IV.8 : comparaison ente le taux des pertes dans cas 1&2

Le tableau IV.8 illustre une comparaison ente les pertes totales avec la réduction entre le 1er cas de base et le 2ème cas.

Tableau IV.8 : Comparaison de l'évolution des pertes actives totales pour les deux cas.

	P_{DT} cas1	P_{DT} cas2
Pertes (MW)	17.56	10.68
Réduction (MW)	--	0.608
Réduction (%)	--	39 %

IV.8. Discussions des résultats

En tenant compte de toutes les violations de la tension existant dans le cas1, on a constaté qu'il y a deux types de violations critiques et marginales pour la situation normale N. tous ces résultats obtenus pour la répartition des charges 'PF' sans compensation montrent les différents nœuds critiques et marginaux.

Après la configuration des prises des autotransformateurs et le calcul des valeurs nécessaires pour la compensation locale et globale à installer pour les nœuds qui ont des violations critique de tension.

La figure IV.7 présente une comparaison entre les tensions du réseau avant et après l'installation du banc de condensateur à objective de régler la tension sur les jeux de barre des sous poste de distribution.

L'injection de la puissance réactive dans le bus minimise la puissance réactive transmise sur ligne vers le poste de charge grâce à cette production locale de réactive et cela va maximiser la puissance active transmise, par ailleurs, le courant circule sur la ligne va diminuer et par la suite la perte active sera diminuée.

La figure IV.8 illustre la comparaison entre les taux de perte pour chaque ligne, alias, la perte de la ligne sur les pertes totales donne la valeur qui construit l'allure de chaque courbe pour les deux situations avec et sans compensation de réactive.

Finalement, la section de réseau à une forte charge avec une nature de courbe de charge différentielle dont la valeur de la puissance consommée maximale est de $S_{max} = 314\ MVA$ et une valeur de puissance consommée minimale est de $S_{min} = 329.45\ MVA$, cette différence de puissance présente un problème de contrôle de tension, ce creux de tension peut dépasser les limite maximale de la tension.

Cependant, les pertes actives totales du réseau sont de $\sum P_J = 10.68\ MW$, ces pertes totales présentent un taux de $\eta_1 = 39\%$ de la production totale P_G. Les résultats

obtenus montrent qu'après chaque cas de compensation de l'énergie réactive, les pertes actives du système sont réduites, desquels on a calculé plusieurs variantes pour des scénarios réels.

IV.9. Conclusion

Nous avons traité le problème du contrôle de la tension et de la puissance réactive dans le réseau de distribution IEEE 30 bus

La compensation de l'énergie réactive et la régulation des autotransformateurs ont joué un rôle sérieux en garantissant la stabilité statique du transit de puissance. L'utilisation des bancs de condensateurs a permis non exclusivement de régler les chutes de tension dans les nœuds éloignés mais de réduire les pertes actives et aussi d'augmenter le transit de puissance vers les sous-postes de consommation électrique.

Le choix d'emplacement du point d'injection de réactive est d'une importance cruciale pour le maintien de la tension dans les limites admissibles.

Conclusion générale

Plus le réseau se développe, plus il devient complexe, difficile à contrôler et sa marge de stabilité diminue, cette phrase décrite l'un des problèmes principaux sur le contrôle du réseau électrique. Pour cela, la planification des scénarios pour le réseau électrique, en particulier les réseaux de distribution, elle est donc très utile, elle va permettre de prédéterminer l'état prochain du réseau pour un plan de production donné.

Toutefois, pour une demande en puissance fixée, il existe à priori une infinité de plans de production possible. La répartition des puissances apparue pour gérer la production sur les différentes centrales et maximiser le transit de puissance tout en continuant à satisfaire cette consommation en terme de qualité et de continuité de fourniture.

Néanmoins, dans ce travail, nous avons étudié le problème du contrôle de la tension et de la répartition des puissances du réseau IEEE 30 bus afin d'assurer une stabilité permanente globale du système.

La structure du réseau oblige l'exploitant à trouver des solutions aux problèmes de qualité d'énergie électrique surtout au nœud qui ont subi des violations d'écroulement de tension en pleine de charge. La compensation de réactive augment la tension du nœud et minimise les pertes active causées par le transit de la puissance sur la ligne, la maximisation de puissance transmise vers la charge est le rôle bénéficiaire de la compensation installé dans le poste cible.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et ont permis d'améliorer le profil des tensions et de minimiser les pertes actives totale pour le système étudié. À partir des différentes variantes et scénarios, on peut dire que certains nœuds auront des problèmes d'écroulement de tension et de puissance dans les cinq prochaines années, si les charges augment avec le même taux d'augmentation.

L'avantage d'utiliser des environnements numériques a permis d'améliorer la qualité de l'étude et de gagner beaucoup de temps. La technique d'optimisation utilisée est très efficace et a donné en plus des résultats satisfaisants.

Référence :

[1] Amraoui Mohammed amine "Etude numérique d'une capteur solaire plan à air influence de la forme de la rugosité" 2011-2012.

[2] Chaibi Zohra " effet du refroidissement sur les performances des panneau PV "Tlemcen 2016 .

[3] Khaled Ferkous " étude d'une chaine de conversion d'énergie éolienne " Constantine 2009 .

[4] Redjem Rdia " étude d'une chaine de conversion d'énergie éolienne " Constantine 2009 .

[5] les réseaux électriques premier partes éléments de description et d'analyse de base par "Dr . BONAYA Kamel "

[6] Module :Réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique ; Cours : Les architectures de réseaux électriques ; Chargé de cours : Dr Berbaoui Brahim

[7] "OTHMANI.A ; LAKSACI.K " Etude des performances d'une système p-v connécté au réseaux électrique (04juin2017)

[8] HAMED Mostefa "Contribution à l'optimisation multi objective Dynamique du coût et l'émission de gaz considérant les contraintes pratiques et de sécurités" (24 / 10 / 2019)

[9] Dr. MERAHI Amir " Analyse des réseaux de transport et de distribution I

[10] LABED Imen "Dispatching Economique Dans un Système

[11] De Puissance Electrique Par L'intelligence Artificielle" (02/12/2013)

[12] HADJ BELKACEM. M; HINONI HOUCINE "Etude d'impact des fluctuations de la production de la centrale éolienne kabertene sur le réseau électrique d' ADRAR"

[13] Hristiyan KANCHEV "Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable :

[14] Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement

[15] d'un micro réseau électrique urbain " 2014

[16] Chouabbi Moussa Djebabla Mebarek Etude de la stabilité transitoire du réseau Est algérien avec L'extension du poste Berrahal 400 KV MEMOIRE DE MASTER juin 2017

[17] Mr Daidi Abdellah Répartition optimale des puissances utilisant les techniques de l'intelligence artificielle mémoire Doctorante 11 juillet 2016

[18] Mr Yahiaoui Merzoug Contrôle optimal des puissances réactives et des tensions dans un réseau d'énergie électrique par dispositifs FACTS mémoire Doctorat 10.04.2014

[19] Mr Farid Hamoudi ,Réseaux de transport et de distribution électrique

[20] Mr Mostefaoui Abdelkader , Etude de la répartition optimale des puissances dans un réseau électrique par programmation non linéaire mémoire magister 14.10.2008

[21] PDF - M AG . ETT. Bouaoud zobir

[22] PDF- Transport et distribution de l'énergie-Manuel de travaux pratiques "Le système PER UNIT "

[23] ZAABOUB FATIMA" Etude et simulation d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau électrique et doté d'un FAP" Mémoire de fin d'études soutenu publiquement à Oum El Bouaghi Le 06/2017

[24] Kamel bonnaya "les réseaux électrique : première partie 'éléments de description et d'analyse de base 2010 .