

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Dr. Tahar Moulay de Saïda
Faculté de la Technologie
Département d'Electrotechnique



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

Master (LMD)

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Intitulé :

CALCUL DE L'ECOULEMENT DE PUISSANCE DANS UN RESEAU DE DISTRIBUTION EN PRESENCE D'ENERGIE RENOUVELABLE

Présenté par :

Zoudji Mohammed Abdelaziz

Bouhafs Abdelwafi

Devant le jury composé de :

Dr. Amara Mohamed
Dr. Yahiaoui Merzoug
Dr. Lakdja Fatiha
Dr. Bekri Loubaba

Président
Encadreur
Examineur
Examineur

Soutenu le 03/07/2019
Promotion 2018-2019

Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu qui nous a procuré de la patience et du courage afin d'achever ce travail et d'atteindre cette réussite

Nous remercions Monsieur Dr. Yahiaoui Merzoug, notre promotrice de nous avoir proposé ce sujet et d'avoir dirigé ce travail et pour leurs remarques constructives

Nous exprimons notre gratitude aux membres de jury d'avoir consacré une partie de leur temps pour juger ce modeste travail

Nos remerciements les plus vifs vont tout Particulièrement à nos parents ainsi qu'à tous ceux et celles qui ont participé de près et de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir guidé, et donné la foi et le courage pour accomplir ce travail.

Je dédie ce travail à mes parents, mes grands-pères, qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté. A mes sœurs, mes tantes, mes oncles et toute ma famille à mes amis sans qui je ne serais pas celui que je suis, et toutes les personnes que j'estime.

Ainsi qu'à mon partenaire Abdelwafi et tous ses proches.

A tous mes proches et mes collègues de ma promotion.

Zoudji Mohammed Abdelaziz

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

Ma très chère mère et mon cher père Djilali, qui n'ont pas cessé de m'encourager, de me soutenir dans les moments difficiles et qui ont su m'entourer de toute leur affection et leur amour pour que je puisse réussir. Que Dieu les protège.

A mes chers grands parents

A mes chères sœurs

A mes chers frères Mohamed, Abderrahmane et Riad

A mon binôme Mohammed Abdelaziz ainsi qu'à tous ses proches

A tous mes amis et ceux qui' m'ont soutenu durant

Mon cursus universitaire

A tous mes proches et mes collègues de ma promotion.

Bouhafs Abdelwafi

Abréviation

JDB : Jeu De Barre.

HTB : Haute Tension.

HTA/ MT : Mayenne Tension.

BT : Basse Tension.

TBT : Très Basse tension.

TBTP : Très Basse Tension De Protection.

TBTF : Très Basse Tension De Fonctionnelle.

GED : Générateurs d'Energie décentralisés.

VSI : Indice de Sensibilité de Tension.

Liste des Indices

P_g	Puissances active générée.
Q_g	Puissance réactive générée.
P_c	Puissance active des charges.
Q_c	Puissance réactive des charges.
P_p	Perte de puissance active dans les lignes.
Q_p	Pertes de puissance réactive dans les lignes.
I_{bus}	Vecteur des courants injectés.
V_{bus}	Vecteur des tensions.
Y_{bus}	Matrice admittance
$P_{loss\ ik}$	Pertes de puissance active dans la branche ik.
$Q_{loss\ ik}$	Pertes de puissance réactive dans la branche ik
P	Puissance active transportée par la ligne.
Q	Puissance réactive transportée par la ligne.
V_s	Tension à la source.
V_r	Tension à la charge.
δ_s	Déphasage de la tension V_s .
δ_r	Déphasage de la tension V_r .
R	Résistance de la ligne.
X	Inductance de la ligne.
Y	Admittance de la ligne.
Z	Impédance de la ligne.
θ_z	Déphasage de la ligne.
δ_A	Déphasage du paramètre A de la ligne.
n_p	Paramètre variable suivant le type de charges.
n_q	Paramètre variable suivant le type de charges.
P_0	Puissance active nominale de la charge.
Q_0	Puissance réactive nominale de la charge.
V_0	Tension nominale des charges.
S_k	Puissance apparente au nœud k.
V_k	Tension au nœud K.
e_i	Partie réelle de la tension V_i .
f_i	Partie imaginaire de la tension V_i .
$I_{L(k)}$	Courant de charge au nœud K.
$P_{L(k)}$	Puissance active de la charge au nœud K.

$Q_{L(k)}$	Puissance réactive de la charge au nœud K.
$V_{(k)}$	Tension au nœud K.
I_{jj}	Courant dans la branche jj.
I_{LK}	Courant dans la charge connectée au nœud K.
nb_{jj}	Nombre de nœuds qui se situent après la branche.
N_i	Numéro du nœud.
j	Numéro de branche.
$V_{(i)}$	Tension au nœud i .
θ_{vi}	Déphasage de la Tension au nœud i.
$I_{br(j)}$	Courant dans la branche j.
S_i	La puissance apparente de la charge i.
P_i	Puissance active de la charge i.
Q_i	Puissance réactive de la charge i.
$(LI)_i^*$	Le conjugué du courant de la charge i.
θ_i	Le déphasage du courant de la charge i.
LP_j	Pertes active dans la branche j.
LQ_j	Pertes réactive dans la branche j.
R_{brj}	Résistance de la branche j.
X_{brj}	Inductance de la branche j.

List Des Figures

Chapitre I

Figure I.1. L'équation résumé la gestion dynamique de réseaux électriques.....	03
Figure I.2. Structure générale d'un réseau électrique.....	06
Figure I.3. Exemple d'une structure d'un réseau radial.....	07
Figure I.4. Exemple d'une structure d'un réseau bouclé.....	08
Figure I.5. Exemple d'une structure d'un réseau maillé.....	08

Chapitre II

Figure II.1. l'énergie renouvelable dans la production mondiale d'électricités 2016 EDF.....	12
Figure II.2. Centrale Solaire photovoltaïque.....	13
Figure II.3. Centrale Solaire Thermodynamique à concentration EDF.....	14
Figure II.4. Biomasse centrale "California Biomass Energy Alliance".....	15
Figure II.5. Centrale Energie hydraulique "Hydropower Plant".....	15
Figure II.6. Centrale Energie géothermie.....	16
Figure II.7. Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	17
Figure II.8. Fonctionnement d'une éolienne pour générer l'électricité.....	18
Figure II.9. Eléments constituant une éolienne.....	19
Figure II.10. Types D'éoliennes Verticales.....	20
Figure II.11. Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001.2010).....	23
Figure II.12. Carte de la variation saisonnière de la vitesse du vent en Algérie.....	24

Chapitre III

Figure III.1. Représentation schématique d'un Générateur.....	30
Figure III.2. Représentation schématique d'une charge.....	31
Figure III.3. Modèle d'une ligne en π	31
Figure III.4. Modèle du transformateur avec régleur en charge.....	32
Figure III.5. Réseau électrique avec trois nœuds.....	34
Figure III.6. Schéma unifilaire d'un réseau radial en échelle à 10 JdB.....	34
Figure III.7. Schéma unifilaire d'un réseau ramifié à 33 jeux de barres.....	35
Figure III.8. Exemple d'une branche en Π	36
Figure III.9. Exemple d'une branche.....	40
Figure III.10. Exemple d'une branche sous. terrain en Π	42
Figure III.11. Réseau radial.....	45
Figure III.12. Exemple d'une branche en réseau radial.....	50

Chapitre IV

Figure IV.1. Réseau IEEE 33 JDB.....	60
Figure IV.2. Tension dans les 33 nœuds [kV].....	61
Figure IV.3. Les puissances active et réactive du les générateurs dans les 33 nœuds.....	62
Figure IV.4. les puissances active et réactive transité dans les lignes.....	63
Figure IV.5. les pertes active et réactive dans les lignes.....	64
Figure IV.6. Indice d'index de stabilité	64
Figure IV.7. Réseau IEEE 33 JDB avec l'éolienne.....	65
Figure IV.8. les Tension dans les 33 nœuds sans et avec l'injection l'éolienne.....	66

LISTE DES FIGURES

Figure IV.9. les puissances active et réactive du générateur dans le réseau à 33 nœuds avec l'injection l'éolienne.	67
Figure IV.10. les puissances active et réactive transité dans les lignes avec l'injection de l'éolienne.	68
Figure IV.11. les pertes active dans les lignes avec et sans l'injection de l'éolienne	69
Figure IV.12. les pertes réactive dans les 37 lignes avec et sans l'injection de l'éolienne.....	69

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Tableau des domaines de tension.....	07
Tableau III-1 : Propriétés des Nœuds.....	33
Tableau IV-1 : Les tensions et les puissances actives et réactives dans les 33JDB...	61
Tableau IV-2 : Les puissances et les pertes actives et réactives dans les 37 lignes...	63
Tableau IV-3 : Les tensions et les puissances actives et réactives dans le réseau à 33 JDB avec insertion l'éolienne.....	66
Tableau IV-4 : Les puissances et les pertes actives et réactives dans les lignes avec l'injection l'éolienne.....	68

Sommaire

Introduction général.....01

Chapitre I : Généralités sur les réseaux électriques

I.1 Introduction.....	03
I.2 Définition d'un réseau électrique.....	03
I.3 Les différents types de réseaux.....	04
I.3.1 Production.....	04
I.3.2 Transport.....	04
I.3.3 Réseaux de répartition.....	04
I.3.4 Réseaux de distribution.....	05
I.3.5 Réseau de livraison.....	05
I.4 Structure générale d'un réseau électrique.....	06
I.5 Les niveaux de tension.....	07
I.6 Les topologies des réseaux électriques.....	07
I.6.1 Les réseaux radiaux.....	07
I.6.2 Les réseaux bouclés.....	08
I.6.3 Les réseaux maillés.....	08
I.7 Protection de réseau électrique.....	09
I.8 Stabilité et réglage de réseau électrique.....	09
I.8.1 Matériel de conduite et de surveillance.....	09
I.8.2 Équilibre production – consommation.....	10
I.8.3 Réglage de la tension.....	10
I.9 Conclusion.....	10

Chapitre II : Généralité sur les énergies renouvelables

II.1 Introduction.....	11
II.2 Energies renouvelables.....	12
II.3 Les différents types d'énergies renouvelables.....	12

II.3.1 Energie solaire.....	12
II.3.1.1 Energie solaire photovoltaïque.....	13
II.3.1.2 Energie solaire thermique.....	14
II.3.2 Energie de la biomasse.....	14
II.3.3 Energie hydraulique.....	15
II.3.4 Energie géothermie.....	16
II.3.5 Energie Eolienne.....	16
II.3.5.1 Définition de l'énergie éolienne.....	16
II.3.5.2 Fonctionnement d'une éolienne.....	17
II.3.5.3 Composition de l'éolienne.....	18
II.3.5.4 Différent type d'éoliennes.....	19
II.3.5.5 Comportement des éoliennes selon la vitesse de vent...	21
II.3.5.6 Potentiel de l'énergie éolien en Algérie.....	22
II.3.5.7 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.....	24
II.4 Conclusion.....	27

Chapitre III : Calcul de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution.

III.1 Introduction.....	28
III.2 Objectif de l'écoulement de puissance.....	28
III.3 Ecoulement de puissance dans les réseaux de distribution.....	29
III.3.1 Utilisation des grandeurs relatives.....	30
III.4 Modélisation des éléments du réseau électrique.....	30
III.4.1 Le Générateur de puissance.....	30
III.4.2 La Charge.....	31
III.4.3 La Ligne de transport.....	31
III.4.4 Le Transformateur.....	32
III.5 Classification des jeux de barres.....	33
III.6. Modélisation de l'écoulement de puissance.....	34

III.6.1. Réseaux en échelle.....	34
III.6.2. Ligne avec ramifications.....	35
III.7. Méthode simple pour le calcul de l'écoulement de puissances dans un réseau radial.....	36
III.7.1. Méthode simple pour le calcul de l'écoulement de puissances avec des charges variables.....	36
III.7.1.1. Approche Mathématique.....	36
III.7.1.2. Algorithme de Résolution.....	39
III.7.2. Méthode simple et directe pour les calculs dans les réseaux de distribution.....	40
III.7.2.1. Développement mathématique.....	40
III.7.2.2. Algorithme de résolution.....	43
III.7.3. Méthode matricielle pour la résolution des équations d'écoulement de puissance en réseau radial.....	44
III.7.3.1. Détermination de la valeur du courant dans chaque branche.....	44
III.7.3.2. Détermination l'amplitude de la tension ainsi que son déphasage à chaque nœud.....	47
III.7.3.3. Algorithme de la méthode.....	49
III.7.4. Calcul de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radiale en utilisant une structure linéaire de données.....	49
III.7.4.1. Approche mathématique.....	49
III.7.4.2. Algorithme de résolution.....	52
III.8. Les organigrammes de solution de l'écoulement de puissance.....	52
III.8.1. Ligne en échelle.....	52
III.8.2. Ligne avec ramifications.....	54
III.9. Conclusion.....	56

Chapitre IV : Calcul de l'écoulement de puissance : simulation et résultats

IV.1. Introduction.....	57
IV.2. Définition de logiciel PSAT.....	57
IV.3. Utilisation logicielle PSAT.....	58
IV.4. Localisation optimale basée sur l'indice de sensibilité de la tension VSI...	58
IV.5. Localisation optimale basée sur la minimisation des pertes actives.....	59
IV.6. Résultats et simulation des réseaux tests.....	60
IV.6.1. Réseau de distributions de 33 jeux de barre.....	60
IV.6.2. Réseau de distributions de 33 jeux de barre avec l'insertion de l'éolienne.....	64
IV.6.3. Interprétation des Résultats pour le réseau test de 33 JDB avec l'injection de l'éolienne.....	70
IV.7. Conclusion.....	71
Conclusion générale.....	72

Introduction générale

Le 20ème siècle a vu peu à peu l'électricité s'imposer comme vecteur privilégié de l'énergie dans la quasi-totalité des domaines domestiques et industriels. Supports incontournables de cette énergie, les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique représentent aujourd'hui un enjeu économique et technologique considérable. Ils constituent une des composantes essentielles pour le développement et l'évolution des sociétés humaines que ce soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie que sur le développement des activités industrielles. Leur rôle est de fournir aux utilisateurs le produit électricité au moindre coût dans des conditions de qualité et de sécurité satisfaisantes [20].

Le problème majeur des gestionnaires des réseaux est de proposer une meilleure planification en vue d'une meilleure gestion du transit de puissance. Depuis les centres de production jusqu'au consommateur, les lignes de transport infligent de grandes pertes en énergie que ça soit active où réactive, beaucoup plus dans les réseaux de distribution où environs 14% de la puissance transitant par ces lignes est perdue [5].

L'ensemble de ces pertes influe sur la qualité de la tension délivrée aux clients. Pour cela L'étude de l'écoulement de puissance (Load flow) permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent.

L'analyse d'EP dans un réseau électrique composé d'un nombre de générateurs, lignes de transmission et des charges est très importante pour les études, la planification et l'exploitation d'un réseau électrique. Le planificateur de ce réseau peut facilement évaluer l'impact des différentes configurations de transmission et de génération pour n'importe quel niveau de charge désiré [28].

Cela permet de connaître les conditions de production et de charge et les niveaux des tensions du réseau [28].

et plusieurs techniques correctives sont misent en service afin de contourner ce problème. Parmi ces solutions, on cite les productions décentralisées qui sont de plus en plus présentes sur le marché. Les techniques conventionnelles utilisées dans la production décentralisée offrent au réseau une meilleure qualité d'énergie, d'une autre part leur besoin en matière première ainsi que leur impacts sur l'environnement font d'elles des moyens de production indésirables, en plus de ça leur temps et coût de réalisation sont excessifs [5].

Pour cela la production décentralisée à base d'énergie renouvelable constitue une alternative prometteuse, son coût de réalisation et de maintenance est beaucoup moins élevés que celles citées auparavant, leur temps de réalisation est de loin plus court. En plus de ça, les énergies renouvelables sont non polluantes. Cependant, ce ne sont pas des solutions magiques, car leurs impacts sur le réseau et sur la qualité d'énergie imposent l'insertion de moyens de filtrage, de régulation et de compensation [5].

L'objet de notre mémoire est d'étudier le comportement d'un réseau de distribution radial, vis-à-vis d'une insertion d'une production décentralisée de type éolienne, ainsi que l'influence de cette dernière sur la qualité d'énergie. Notre travail est divisé en quatre chapitres.

Le premier présente des généralités sur les réseaux électriques. En termes de types, de structure et de topologie, nous avons également introduit les méthodes de protection et de stabilité de ce réseau.

Dans Le second chapitre, présente des généralités sur les l'énergies renouvelable en ce qui concerne de types, et nous avons présenté une étude spécifiquement consacrée à l'énergie éolienne et à son potentiel en Algérie, en plus des avantages et inconvénients de cette dernière.

Dans Le troisième chapitre, nous allons proposer quelques méthodes simples et directes sur le calcul de l'écoulement de puissance dans les réseaux de distribution radiaux.

Finalement, et comme quatrième chapitre nous allons présenter une simulation de réseaux de distribution 33 nœud sur logiciel PSAT avec et sans l'injection de l'éolien, Et faire un comparaison sur les résultats.

CHAPITRE 1

I.1 Introduction:

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable, Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue.

Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il fallu inventer et construire Des usines (centrales électriques) capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une Fois le courant produit, il doit être amené jusqu'au consommateur.

Dans un pays, le transport et la distribution publique assurent le transit de l'énergie électrique entre les points de production et les points de consommation [1].

Dans ce chapitre nous allons présenter les notions générales sur les réseaux électriques, et les catégories des réseaux, et les différentes structures des réseaux. Cela va nous permettre, de connaître les parties essentielles à prendre en considération pour concrétiser notre objectif.

I.2 Définition d'un réseau électrique:

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 [2], est ceci résumé dans l'équation suivante:



Figure (I.1) L'équation résumé la gestion dynamique de réseaux électriques.

I.3 Les différents types de réseaux:

Suivant le trajet de l'énergie depuis sa production jusqu'à son utilisation, il y a successivement différents types de réseaux dont les missions sont parfaitement définies par [3]:

I.3.1 Production :

La production d'électricité se répartie sur deux bases principales : Les énergies non renouvelables, comprenant les énergies fossiles que sont le pétrole, le gaz naturel et le charbon, et l'énergie nucléaire pour les principales.

Les énergies renouvelables qui sont des énergies dites «vertes » à divers degrés. Ce sont : les énergies solaires photovoltaïques et thermiques, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la biomasse et l'énergie géothermique [4].

I.3.2 Transport :

Le transport de l'énergie électrique se fait en plusieurs étapes [5] :

Au départ de la centrale de production, la tension délivrée par l'alternateur est de 20 kV ; Cette tension subit une première transformation, il s'agit d'une élévation vers 400 kV ou 225 kV ; Avec cette valeur on assure un transport longue distance depuis des centrales de production vers le réseau de répartition.

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire. Ces réseaux sont, pour la plupart aériens. Ils sont étudiés pour un transit donné correspondant à la limite thermique de la ligne.

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou de dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence [5].

I.3.3 Réseaux de répartition :

Ces réseaux comprennent les lignes de transport et les postes de transformation intermédiaires entre le réseau de transport et le réseau de distribution. Ce sont des réseaux haute tension, dont le rôle est de répartir l'énergie électrique au niveau régional. Ils peuvent être aériens ou souterrains [6].

I.3.4 Réseaux de distribution [6]:

Ils ont pour rôle de fournir aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin. Ils utilisent deux tensions :

- Des lignes à moyenne tension (MT ou HTA) alimentées par des postes HT/MT et fournissant de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs importants soit aux différents postes MT/BT.
- Des lignes à basse tension qui alimentent les usagers soit en monophasé soit en triphasé. les réseaux MT font pratiquement partie, dans leur totalité des réseaux de distribution.

I.3.5 Réseau de livraison:

C'est le réseau qui nous est familier puisqu'il s'agit de la tension 400V/230V. La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution MT aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique [7].

La puissance à ce niveau est acheminée avec deux topologies suivant la localisation des charges [7]:

- Les réseaux urbains : la puissance transite par voie souterraine, ce type de réseau est caractérisé par une forte densité de charge, la topologie de ces réseaux sont réparties en trois groupes : les réseaux en dérivation multiples, les réseaux en coupure d'artère et les réseaux fortement bouclés.
- Les réseaux ruraux : la puissance est acheminée par voie aérienne, ils sont caractérisés par une faible densité de charge et un faible maillage avec des boucles entre les postes sources.

I.4 Structure générale d'un réseau électrique:

Le schéma se présente comme suit :

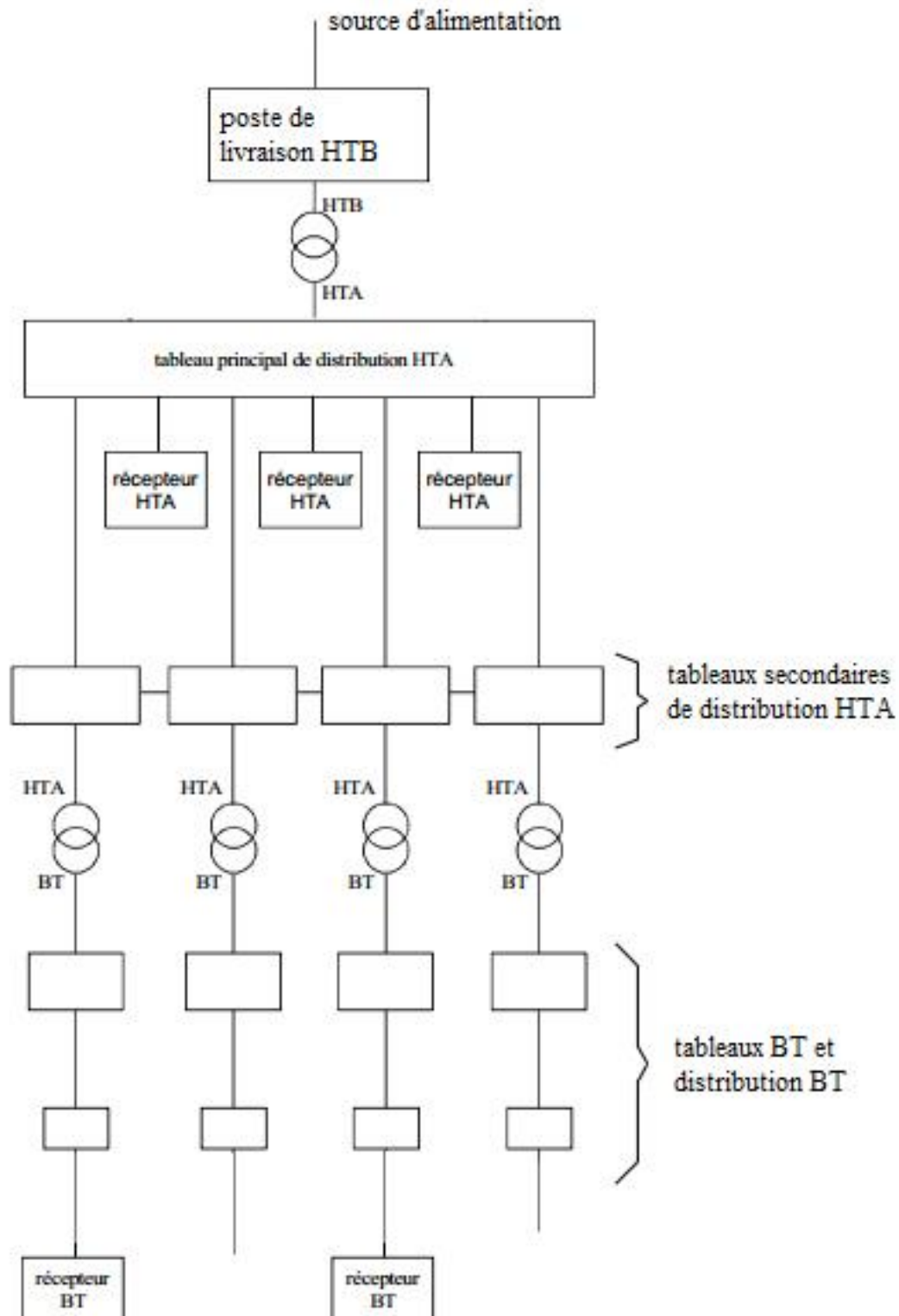


Figure (I.2) Structure générale d'un réseau électrique [8].

I.5 Les niveaux de tension:

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension alternative comme suit:

Domaines de Tension		Valeur de la tension composée nominale (Un en Volts)	
		Tension Alternative	Tension Continue
Très Basse Tension (TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse Tension (BT)	BTB	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension (HT)	HTA ou MT	$1000 < U_n \leq 50\,000$	$1500 < U_n \leq 75\,000$
	HTB	$U_n > 50\,000$	$U_n > 75\,000$

Tableau I-1 : Tableau des domaines de tension [9].

I.6 Les topologies des réseaux électriques:

I.6.1 Les réseaux radiaux :

Sont, à partir d'un poste d'alimentation, constituées de plusieurs artères (figure I.3). En pratique si l'on regarde une carte de tel réseau, on aperçoit des points communs. Mais ces réseaux sont en fait car en ces points est toujours placé un appareil de coupure, ouvert en exploitation normale. Cette disposition, permet en cas d'incident sur une artère de reprendre l'alimentation de certaines dérivations par les artères voisines [10].



Figure (I.3) Exemple d'une structure d'un réseau radial.

I.6.2 Les réseaux bouclés :

Sont alimentés à la fois par plusieurs sources (en général 2 ou 3 rarement plus). L'existence de plusieurs sources en parallèle (figure I.4) augmente la sécurité d'alimentation, en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateur) ou sur une boucle [10].

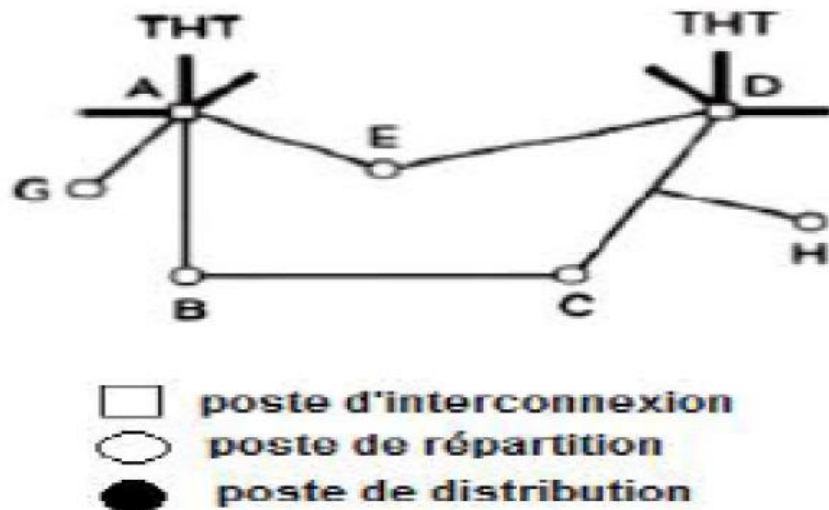


Figure (I.4) Exemple d'une structure d'un réseau bouclé

I.6.3 Les réseaux maillés :

Sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées. Cette structure (figure I.5) nécessite que tous les tronçons de lignes soient capables de surcharges permanentes, et qu'il soit muni, à leurs deux extrémités, d'appareils de coupure. On obtient ainsi la meilleure sécurité, mais au prix le plus élevé [10].

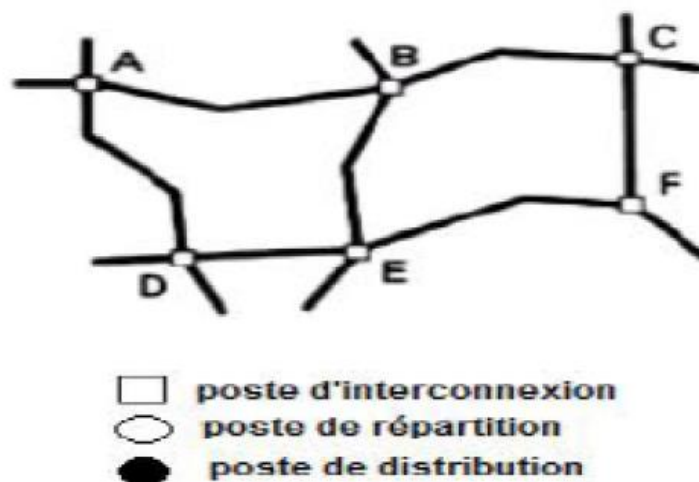


Figure (I.5) Exemple d'une structure d'un réseau maillé.

I.7 Protection de réseau électrique :

Tout réseau électrique possède des systèmes de protection pour déconnecter le système de production en cas de défaut sur la ligne. L'objectif est de protéger les 3 constituants d'un système électrique :

- les organes de production (alternateur) .
- les composants des réseaux de transport et de distribution (lignes aériennes et souterraines, transformateurs, jeux de barre) .
- les organes de consommation (clients finaux) [04].

I.8 Stabilité et réglage de réseau électrique :

I.8.1 Matériel de conduite et de surveillance :

La conduite s'effectue depuis des centres de conduite régionaux (dispatchings) ou nationaux. Ceux-ci disposent d'instruments de tél éconduit, notamment) comprenant des dispositifs permettant [04]:

- De commander les organes de coupure (disjoncteurs, sectionneurs),
- De connaître la position de ces organes,
- De mesurer un certain nombre de grandeurs (tension, intensité, fréquence),
- De signaler des dysfonctionnements (alarmes).

Outre les éléments ci dessus permettant la conduite à distance, on trouve également des dispositifs locaux, pouvant réaliser de façon automatique des manœuvres destinées à sauvegarder le fonctionnement du système électrique où à rétablir le service lorsque celui a été interrompu.

Un important réseau de voies de télécommunication fiables et sécurisées est nécessaire pour échanger ces informations entre le centre de conduite et les postes qu'il exploite.

Le matériel de surveillance est destiné à l'analyse a posteriori des incidents. Il comprend essentiellement des consignateurs d'état chargés de relever la position des organes de coupure, et des pétrographes qui, grâce à un système de mémoire, restituent l'évolution des tensions et des courants pendant le déroulement des incidents. Lorsque des clients sensibles se trouvent à proximité du poste, des qu'altimètres, destinés à mesurer les coupures brèves, peuvent aussi être installés. Les données fournies par ces équipements sont consultées sur place. Par commodité, elles peuvent être transmises à distance, mais la fiabilité demandée aux voies de transmission utilisées est moins importante que dans le cas précédent [04].

I.8.2 Équilibre production – consommation :

L'électricité est une des rares énergies non stockable à grande échelle (hormis via les batteries, ou les barrages considérés comme des réserves d'énergie électromécanique à faible inertie). En permanence, les opérateurs des réseaux doivent s'assurer de l'équilibre entre l'offre et la demande. En cas de déséquilibre, on observe principalement deux phénomènes : [04].

- Une consommation supérieure à la production : le risque de délestage fréquence métrique (perte rapide du synchronisme sur les alternateurs).
- Une production supérieure à la consommation : il peut y avoir dans ce cas une accélération des machines synchrones qui produisent l'électricité et un emballement pouvant conduire également à un blackout par l'intermédiaire de protections fréquence métriques.

I.8.3 Réglage de la tension :

La fréquence de rotation étant imposée, le réglage de la tension ne peut se faire qu'en agissant sur le courant d'excitation de la machine synchrone (alternateur). Le réglage de tension peut aussi se faire en insérant des bobines dans le réseau électrique ou des batteries de condensateurs ou en les débranchant suivant le cas : chute de tension ou élévation de tension, sachant qu'un réseau électrique chargé engendre une baisse de tension et qu'un réseau à vide engendre une surtension. Il existe aussi d'autres moyens de réglage tels que les plots des autotransformateurs [04].

I.9 Conclusion:

Dans ce chapitre on a fait une étude générale sur les réseaux électriques, nous avons présenté dans cette étude les différents types, structures et topologies des réseaux électriques.

L'énergie électrique ne sont pas stockées, il convient d'adapter en permanence la production aux besoins, et de disposer de lignes, pour faire transiter les puissances nécessaires, sans pour autant les sur dimensionner.

Le réseau doit être protégé, stable et capable de résister aux contingences les plus probables sans violation des plages de fréquence et de tension.

CHAPTER 2

II.1.Introduction

Dans nos jours, il nous semble que personne ne peut s'en douter sur l'importance de l'eau et de l'énergie pour les besoins humains. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie ne cesse d'augmenter. Ce problème d'énergie est encore plus sensible dans les sites isolés où l'utilisation des ressources classiques s'avère souvent très coûteuse. En effet, plusieurs contraintes, comme le transport du combustible et les entretiens périodiques des moteurs diesels, rendent la recherche d'une source d'énergie alternative indispensable pour ce type de sites. Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est mondialement convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement [11].

A partir de ce constat, il été nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de Remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie « verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles [11].

Pour autant, ces énergies ne couvrent encore que (20%) de la consommation mondiale d'électricité en notant que l'hydroélectricité représente (92,5%) de l'électricité issue des énergies renouvelables (biomasse 5,5%, éolien 1,5%, géothermie 0,5% et le solaire 0,05%). Ainsi, la capacité totale de production d'électricité issue d'énergies renouvelables (hors grande hydraulique) s'élève à (160 GW), soit (4%) de la capacité mondiale du secteur énergétique. Les pays en développement produisent (44%) de cette capacité, soit (70 G) [14].

L'éolien contribue de façon significative à la production de l'énergie électrique pour certains pays et ce grâce à sa maturité.

L'éolien pourrait jouer un rôle clef dans l'évolution de la production d'électricité à base d'En R œuvrant ainsi à la prévention du changement climatique vus qu'elles n'engendrent pas d'émissions de gaz à effet de serre lors de la production d'électricité.

Toute fois, ce déploiement de la filière éolienne ne va pas sans entrainer des problèmes techniques liés à l'insertion et à la gestion de l'éolien sur le réseau électrique.

Entre autres, les difficultés imposées par la variabilité de l'éolien compromettent l'équilibre production-consommation, la qualité de l'énergie et la sûreté des réseaux électriques.

II.2. Energies renouvelables:

Les énergies renouvelables (soleil, vent, eau, biomasse) sont des sources d'énergie qui se renouvellent assez rapidement pour être considérées comme inépuisables à l'échelle de l'homme. D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités, constituent un don divin, sont naturels et en général amis de la nature. On peut dire alors qu'une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes. Le solaire, l'éolien, l'eau, et la biomasse génèrent certains gaz polluants, mais en bien moindre quantité que des carburants fossiles [12].

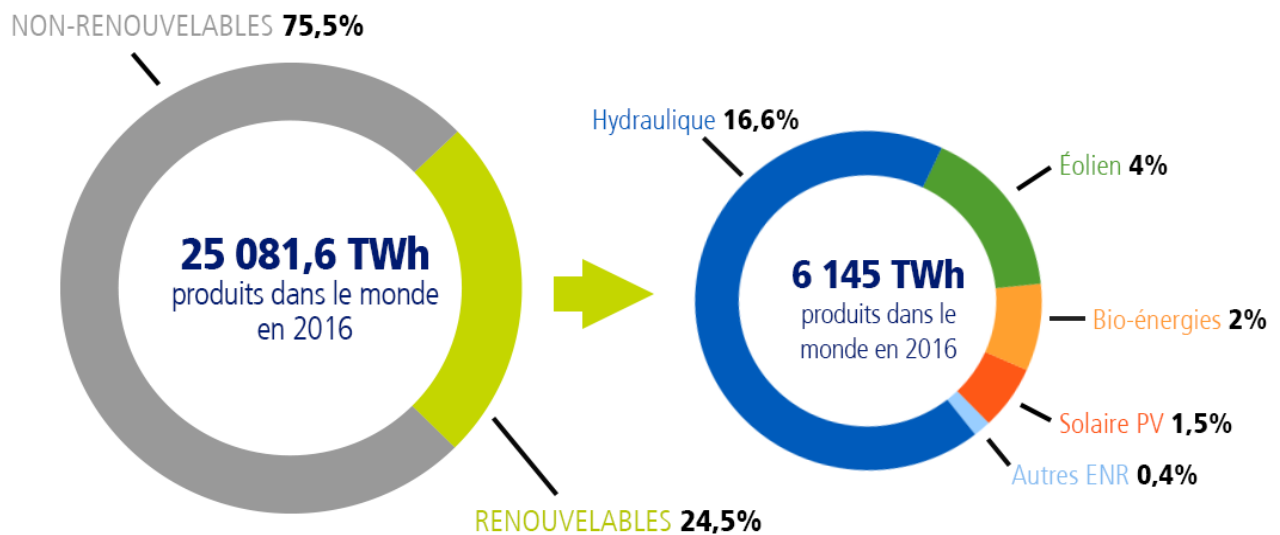


Figure (II.1) l'énergie renouvelable dans la production mondiale d'électricités 2016 EDF [13].

II.3. Les différents types d'énergies renouvelables:

II.3.1. Energie solaire:

L'énergie solaire est une énergie qui dépend du soleil, bien que cette dernière distante de plus de 150 millions de kilomètres de nous, demeure notre plus grande source d'énergie même si elle est intermittente [14].

Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil

captée par des panneaux solaires qui permet de récupérer l'énergie du soleil et de produire de l'électricité, sans pièces tournantes et sans bruit et elle n'émet aucun gaz à effet de serre. L'électricité produite peut être soit stockée dans des batteries pour les installations autonomes, soit injecté dans le réseau.

Par sa souplesse et sa facilité d'installation et de maintenance, l'énergie solaire est une solution technique et économique pour l'électrification des sites isolés.

On peut distinguer trois types d'énergie solaire : le solaire photovoltaïque, le solaire passif et le solaire thermique [14].

II.3.1.1. Energie solaire photovoltaïque:

L'effet photovoltaïque, décrit par le physicien français Antoine Becquerel (le grand père du découvreur de la radioactivité) en 1839, dont le principe est simple : La lumière du soleil (les photons) est transformée directement en électricité (les électrons) par des cellules photovoltaïque. Ces cellules sont reliées entre-elles sur un module solaire photovoltaïque [14].

Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire, qui alimente un réseau de distribution électrique.

L'énergie solaire photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où, y compris en centre ville, permettant d'économiser d'autant les besoins de fourniture par le réseau des bâtiments équipés. Elle est surtout utilisée pour la fourniture d'électricité dans les sites isolés, électrification rurale et pompage de l'eau (50%), télécommunications et signalisation (40%), applications domestiques (10%) [14].

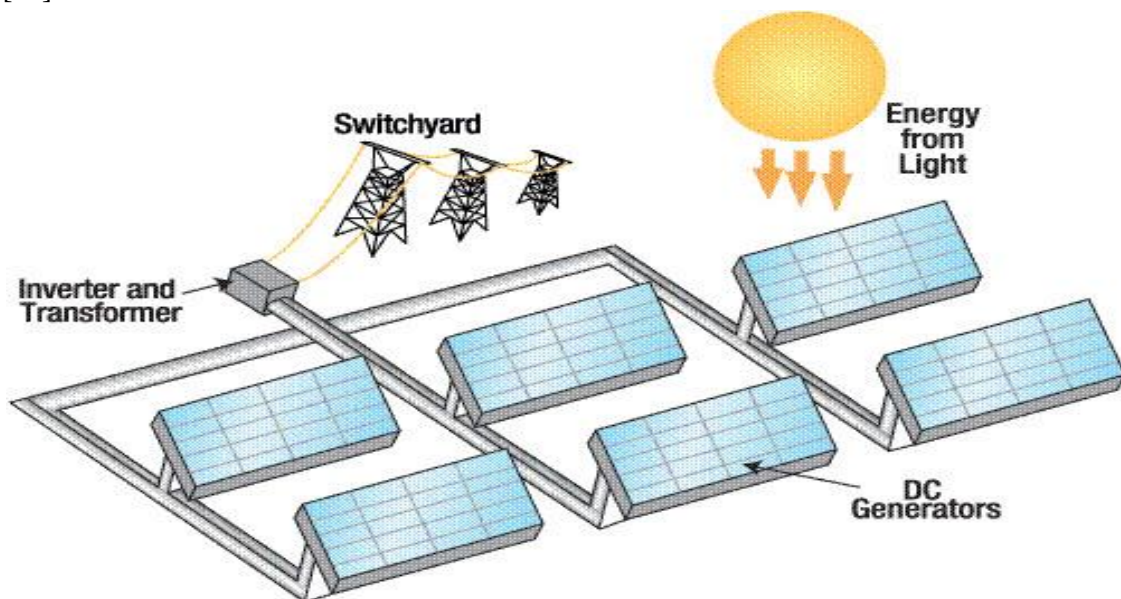


Figure (II.2) Centrale Solaire photovoltaïque.

II.3.1.2. Energie solaire thermique:

A la différence du solaire photovoltaïque, on désigne par énergie solaire thermique la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) où indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique). Le principe général est de concentrer les rayons solaires en un seul endroit. Le solaire thermique se décline de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau solaire, cuisinières et sècheurs solaires [14].

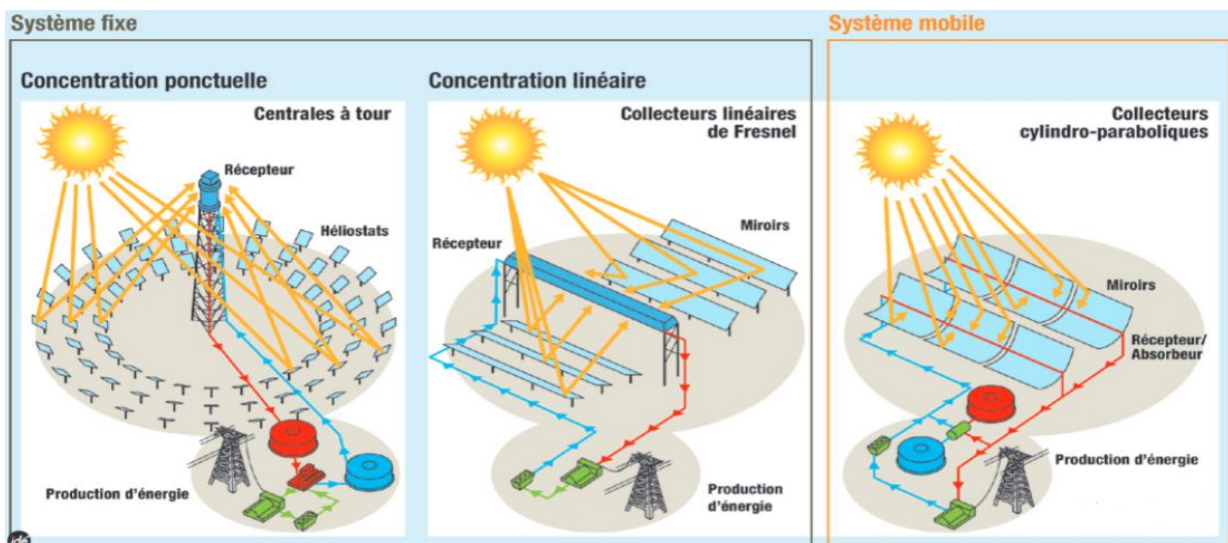


Figure (II.3) Centrale Solaire Thermodynamique à concentration EDF.

II.3.2. Energie de la biomasse:

L'énergie de la biomasse est la forme d'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme depuis la découverte du feu à la préhistoire, c'est l'ensemble de la matière organique d'origine biologique, qu'elle soit végétale ou animale par exemple, les plantes et les animaux sont de la biomasse, ainsi que les matériaux qu'ils produisent, tel le bois et les déchets. La biomasse est une énergie renouvelable tant que sa consommation ne dépasse pas l'accroissement biologique.

Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de ces matières (bois, végétaux, déchets agricoles, ordures ménagères organiques) ou du biogaz issu de la fermentation de ces matières, ou bien après de nouvelles transformations chimiques biocarburants. La biomasse est une énergie qui peut être polluante ; comme le biocarburant et le bois qui donne, quand on le brûle, des gaz à effet de serre [12].



Figure (II.4) Biomass centrale "California Biomass Energy Alliance".
CBEA: California Biomass Energy Alliance

II.3.3. Energie hydraulique:

De nombreuses civilisations se sont servies de la force de l'eau, qui représentait une des sources d'énergie les plus importantes avant l'ère de l'électricité. Un exemple connu est celui des moulins à eau, placés le long des rivières. Aujourd'hui, bien que de nombreux sites aient été parfaitement équipés, cela ne suffit plus à compenser l'augmentation vertigineuse de la consommation. De nos jours l'énergie hydraulique est utilisée au niveau des barrages et sert principalement à la production d'électricité.

Le principe en est simple : La force motrice de l'eau fait tourner une turbine qui entraîne un générateur électrique (système comparable à une dynamo). Ensuite, l'électricité obtenue peut être soit utilisée directement ou stockée en batteries, soit injectée dans le réseau de distribution. La puissance disponible dépend de deux facteurs la hauteur de la chute d'eau et le débit de l'eau [12].

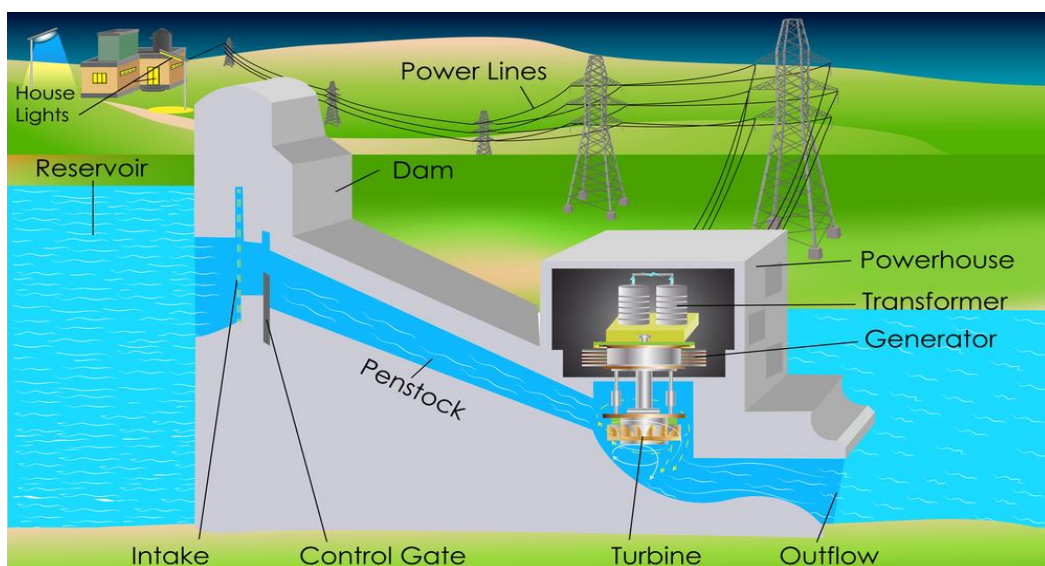


Figure (II.5) Centrale Energie hydraulique "Hydropower Plant"

II.3.4. Energie géothermie:

Du grec *Gé* (terre) et *thermos* (chaud) l'énergie géothermique est une source d'énergie qui dépend de la chaleur de la terre. Elle provient principalement de la désintégration des éléments radioactifs naturellement présents dans les roches du sous-sol. Dans certaines roches et à certaines profondeurs circule, sous forme de vapeur et d'eaux chaudes. La température des roches augmente en moyenne de 1°C tous les 30m de profondeur. En certains points du globe, en particulier dans les régions volcaniques, qui correspondent à des intrusions de magma dans la croûte terrestre, cela peut aller jusqu'à 100 °C par 100m. A la surface de la terre, cette énergie est en moyenne 10000 fois plus faible que l'énergie fournie par le soleil [14].

L'énergie géothermique n'est donc utilisable que dans des zones particulières où elle s'est accumulée [14].

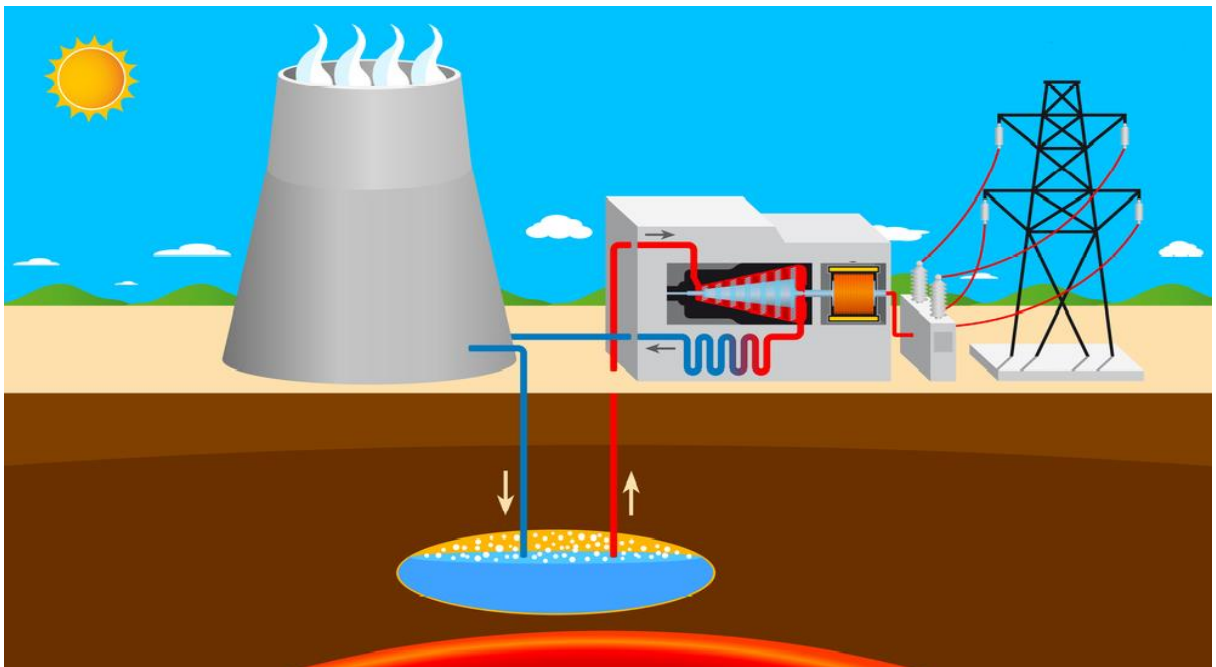


Figure (II.6) Centrale Energie géothermie

II.3.5 Energie Eolienne:

II.3.5.1 Définition de l'énergie éolienne:

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe et nécessitant des aérogénérateurs, plus

communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice, et cela se fait dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences [15].

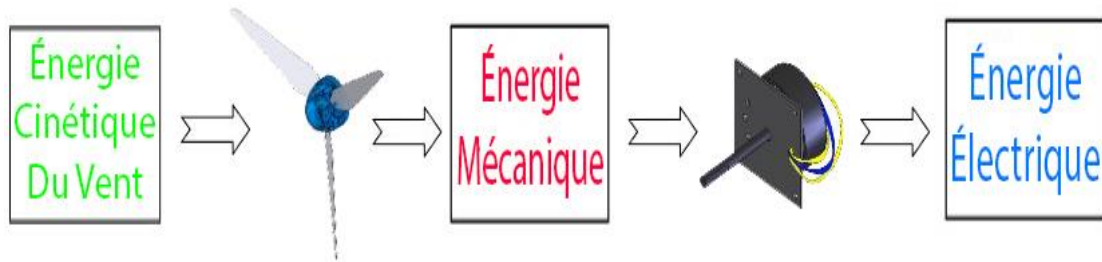


Figure (II.7) Conversion de l'énergie cinétique du vent.

II.3.5.2 Fonctionnement d'une éolienne:

Une éolienne produit de l'électricité grâce au vent qui met en mouvement un rotor, permettant sa transformation en énergie mécanique. La vitesse de rotation de l'arbre entraîné par le mouvement des pales est accélérée par un multiplicateur. Cette énergie mécanique est ensuite transmise au générateur [16].

Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur, pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau électrique.

Un parc éolien est constitué de plusieurs éoliennes espacées de plusieurs centaines de mètres et connectées entre elles par un réseau interne souterrain et raccordées au réseau public par l'intermédiaire d'un poste de livraison.

Pour pouvoir démarrer, une éolienne nécessite une vitesse de vent minimale d'environ 10 à 15 km/h. Pour des questions de sécurité, l'éolienne s'arrête automatiquement de fonctionner lorsque le vent dépasse 90 km/h. La vitesse optimale est de 50 km/h [16].

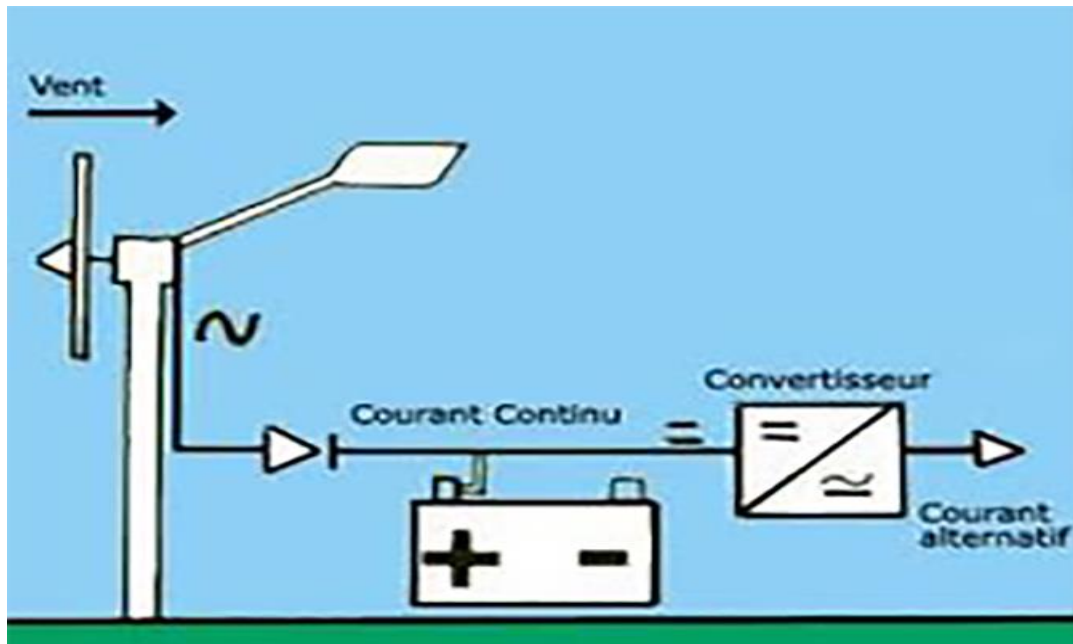


Figure (II.8) Fonctionnement d'une éolienne pour générer l'électricité

II.3.5.3. Composition de l'éolienne [16]:

a). La nacelle: Elle supporte:

- **Les pales:** le moyeu et le rotor : captent l'énergie produite par le vent et la transforme en énergie mécanique de rotation.
- **Le frein:** Permet à l'éolienne de fonctionner en cas de vitesses des vents trop importantes qui pourraient l'endommager ou la rendre incontrôlable en réduisant la vitesse de rotation du premier rotor.
- **Le multiplicateur:** Augmente la vitesse de rotation d'un second rotor avec un système d'engrenages pour la génératrice électrique.
- **La génératrice:** Transforme l'énergie mécanique de rotation disponible sur la second rotor en énergie électrique.
- **Le système de régulation électrique:** Ralenti le rotor du générateur en cas de surrégime.

b). Le système d'orientation: Il place la nacelle et donc les pales face au vent.

c).Le mat: Il Place l'éolienne à une certaine distance du sol, selon la configuration du terrain et les vents de ces lieux.

d).Armoire de couplage au réseau électrique: Elle rend compatible l'énergie produite avec celle du réseau ce qui consiste à transformer la tension produite par la génératrice à une grande tension et la réinjecte dans celui-ci.

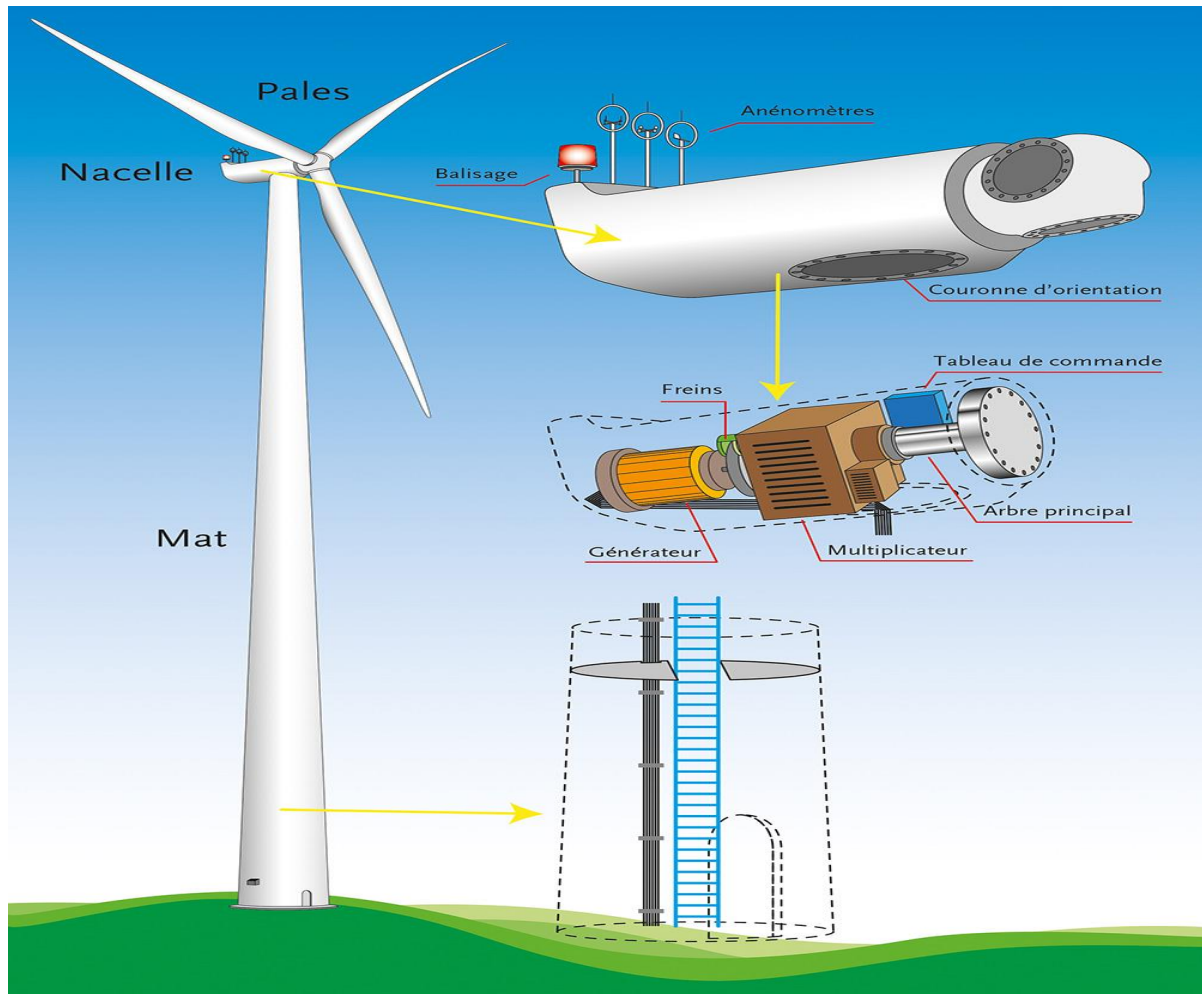


Figure (II.9) Eléments constituant une éolienne [16].

II.3.5.4 Différent type d'éoliennes:

Le vent a toujours excité l'imagination de l'inventeur qui ont enfanté sur le papier une foule de projets éoliens.

Les éoliennes se rangent en deux grandes familles, selon qu'elles tournent autour d'un axe horizontal ou vertical [12].

a)- Les éoliennes à axes horizontal:

Sont le plus connues car elles comprennent la quasi-totalité principalement en détail sur ces deux types d'appareils aux performances très différentes [12].

- le multiple est une machine adapté aux vents faibles et au pompage.
- l'hélice d'aérogénérateur tourne beaucoup plus vite ce qui est un avantage l'orque' il s'agit d'animer une génératrice, fournit du courant même par vents très forts, atteints les meilleurs rendements aérodynamiques de l'ordre de 80%).

b)- Les éoliennes à axes vertical:

Le caractère omni directionnel des éoliennes modernes à axe vertical constitue leur principal avantage sur capter le vent, quelle que soit sa direction.

Cette caractéristique permet d'obtenir des systèmes simples et d'éliminer le problème des forces gyroscopiques sur le rotor d'un éliminer classique lorsque celle – ci s'oriente en fonction du vent. L'axe verticale de rotation permet également d'installer le générateur et transissions sur niveau du sol.

Ce type d'éoliennes est très peu répandu et assez mal connue. Elles peuvent avoir un intérêt dans certains secteurs d'application. Il existe principalement trois technologies VAWT (Vertical Axis Wind turbine) : les turbines Darrieus classique ou à pales droites (H-type) et la turbine de type Savonius, comme montré à la figure (2.9), toutes ces voilures sont à deux ou plusieurs pales [12].

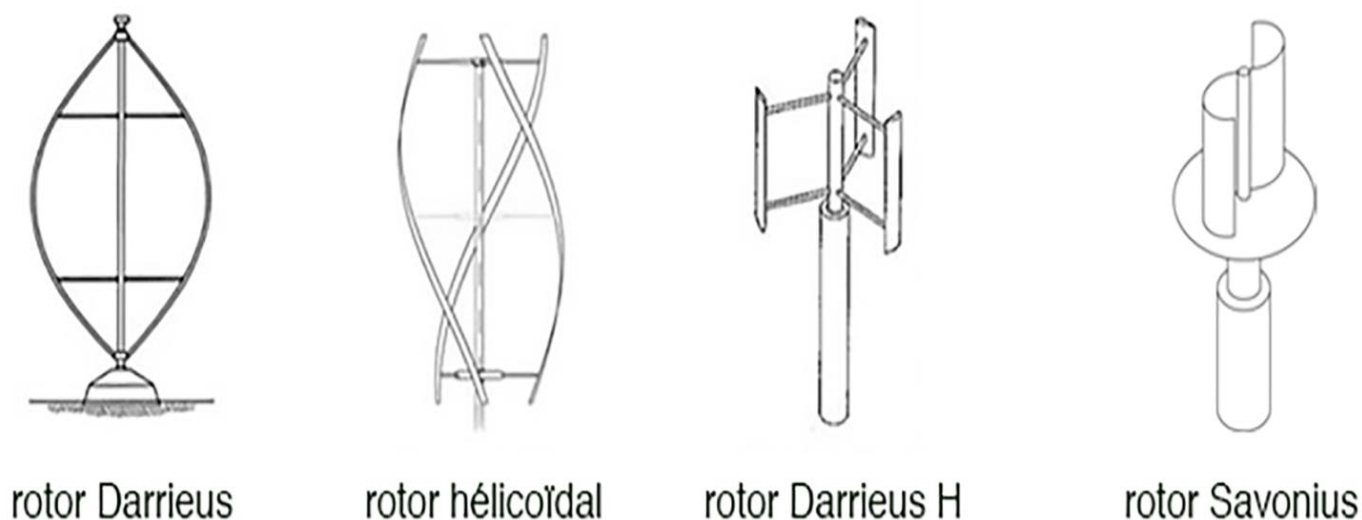
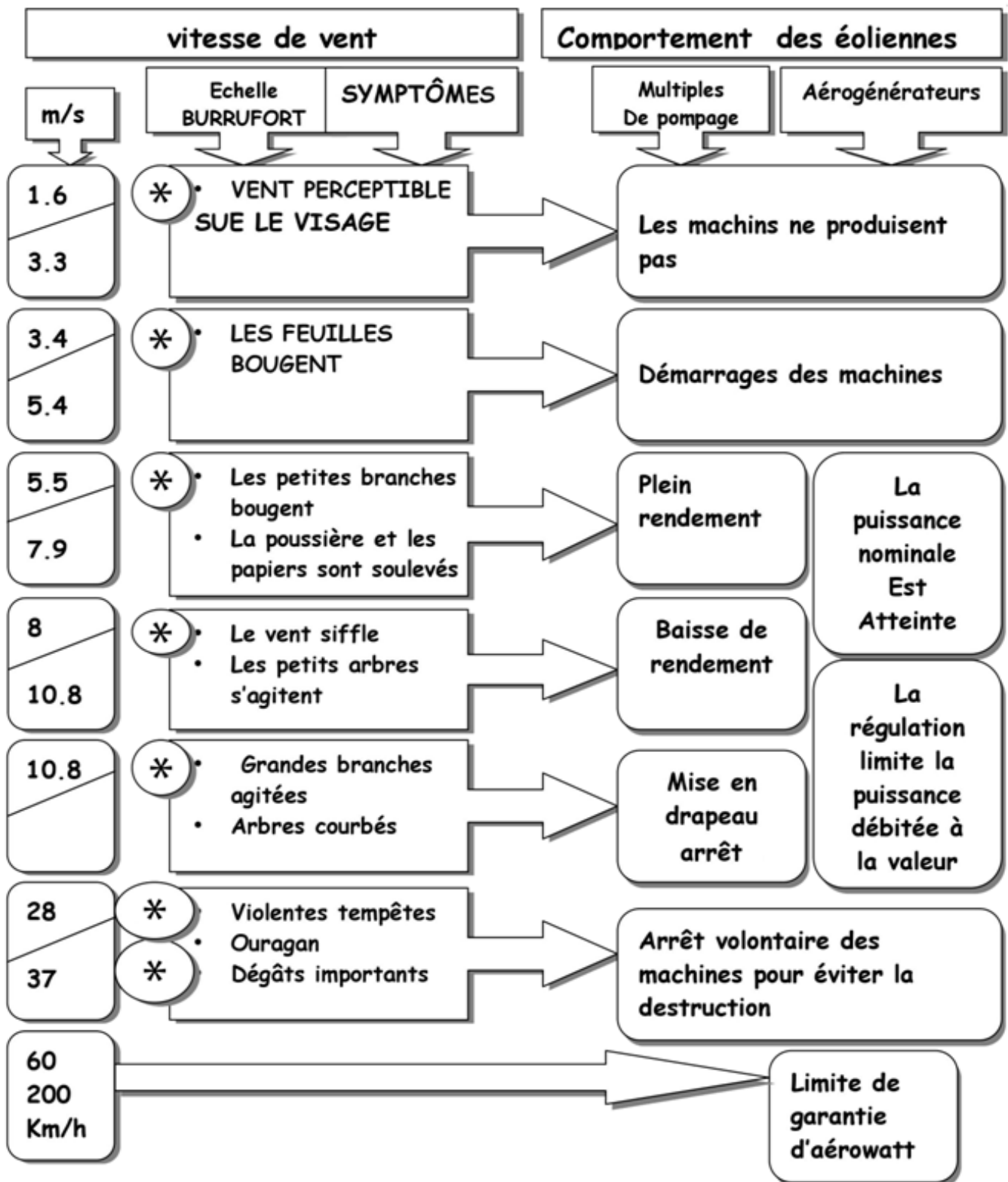


Figure (II.10) Types D'éoliennes Verticales.

II.3.5.5 Comportement des éoliennes selon la vitesse de vent [12]:



II.3.5.6 Potentiel de l'énergie éolien en Algérie :

En Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifié. En effet, l'Algérie, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes [17]:

- Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien. Des microclimats existent sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia, et Annaba, ainsi que sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'silla et El-Bayad (6 à 7 m/s).
- Le Sud (Sahara), se caractérise par un climat saharien et des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement le Grand Sud (Adrar, Tamanrasset, Tindouf et Illizi) avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar et la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel). Donc le Grand Sud présente toutes les caractéristiques de sites candidats à l'exploitation de cette énergie.

En plus du potentiel éolien appréciable existant, la tendance générale de la courbe de consommation des réseaux isolés du sud (corrélation entre la consommation et la production d'énergies renouvelable), facilite l'accueil des énergies renouvelables sans recours au stockage d'énergie produite.

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord [17].

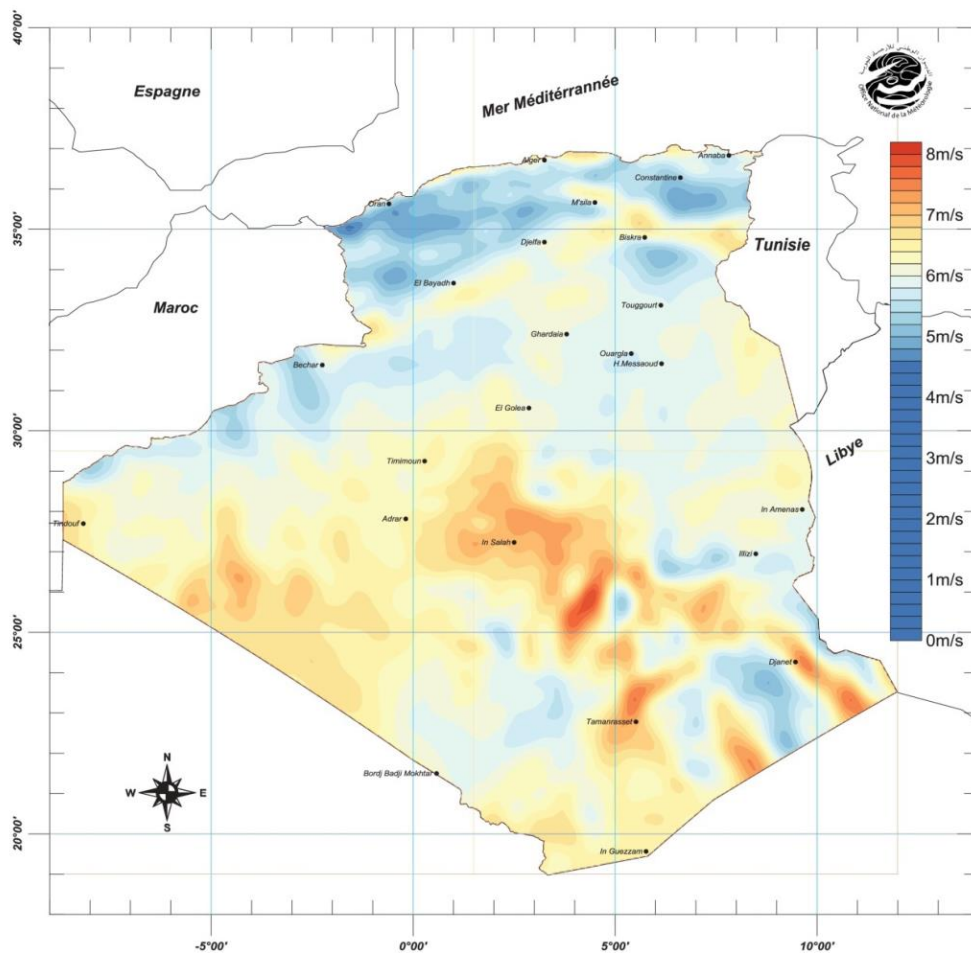


Figure (II.11) Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010).
Source : l'Office National de la Météorologie.

Toutefois, la vitesse du vent subit des variations en fonction des saisons qu'on ne doit pas négliger, en particulier, lorsqu'il s'agit d'installer des systèmes de conversion de l'énergie éolienne.

En utilisant la même gamme de couleurs, les atlas vents saisonniers de l'Algérie à une hauteur de dix mètres du sol sont représentés en figures "Figure (2.11)", (Eté et Printemps, Hiver et Automne). On Remarque qu'en général, les périodes estivales et printanières sont plus ventées que le reste de l'année [17].

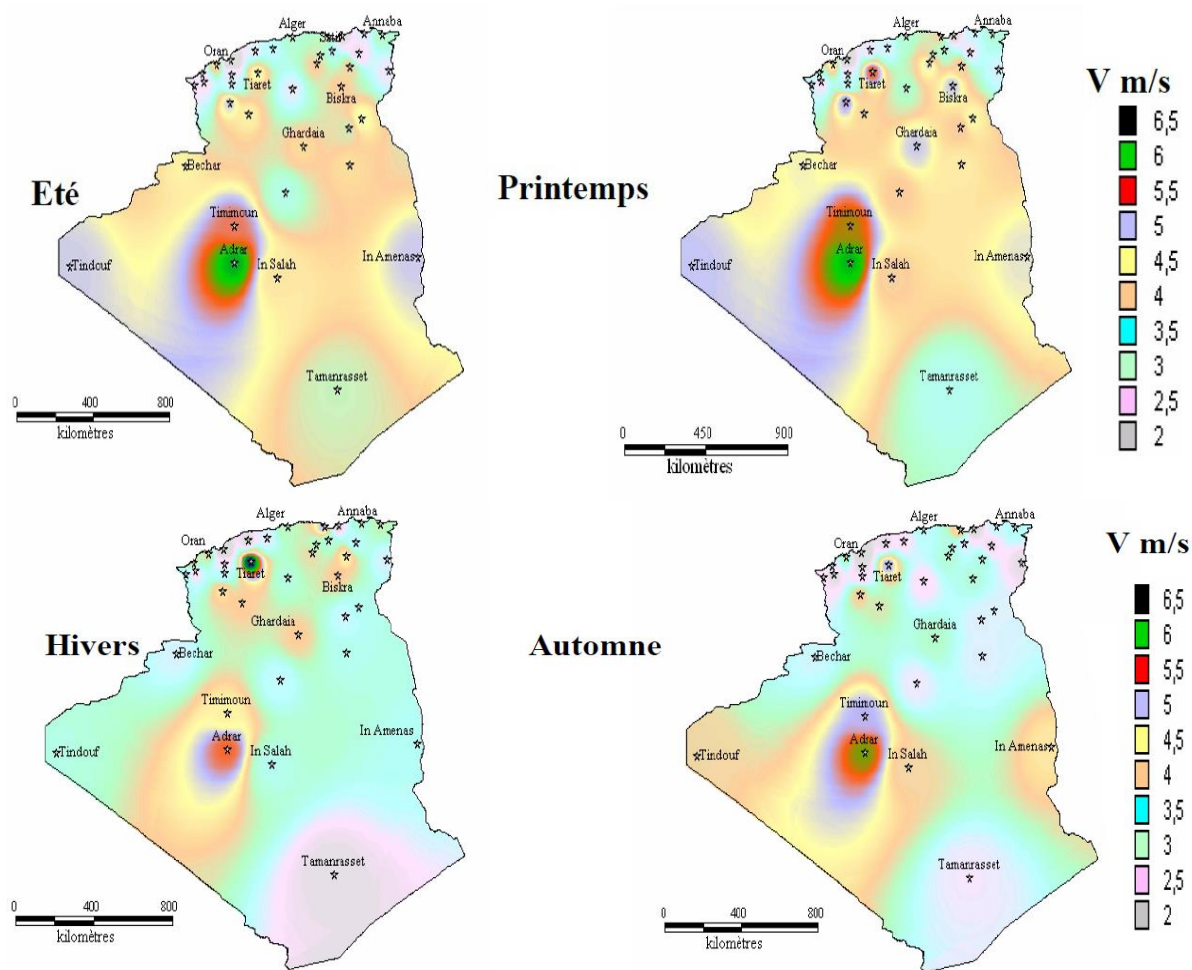


Figure (II.12) Carte du variations saisonnières de la vitesse du vent en Algérie

Source : l'Office National de la Météorologie

II.3.5.7 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne:

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 [18].

a)- LES AVANTAGES [18]:

- 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, 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.

b)- LES INCONVENIENTS [18]:

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, il a fallu plusieurs décennies pour réaliser des éoliennes silencieuses, esthétiques et résistantes aux conditions météorologiques très capricieuses.

II.4 Conclusion:

A travers ce chapitre, nous avons présenté, une description générale des énergies renouvelables dites décentralisées. On donne des généralités sur un système éolien en mettant en exergue les types des éoliennes utilisées, avec une étude du potentiel de l'énergie éolien en l'Algérie. Puis on cite les avantages et les inconvénients quant à l'exploitation de l'énergie éolienne.

CHAPITRE 3

III.1. Introduction:

Les réseaux de distribution constituent l'infrastructure la plus importante du système électrique car c'est l'interface finale qui mène à la plupart des clients. Ils sont exploités dans des gammes de tensions inférieures à 50 kV, soit le domaine de la HTA et de la BT. En Algérie, la tension nominale des réseaux de distribution HTA est de 10 kV et 30 kV. Ces niveaux de tension permettent un bon compromis pour limiter les chutes de tension, minimiser le nombre de postes source (poste de connexion HTB/HTA) et réduire les contraintes inhérentes aux hautes tensions (coûts des investissements, protection des biens et des personnes) [19].

Les réseaux de distribution sont, dans la très grande majorité des cas, exploités de manière radiale. Cette structure simplifie notamment le système de protections puisque le transit de puissance se fait de manière unilatérale du poste source (HTB/HTA) vers les postes HTA/BT et les consommateurs finaux pour la détection et l'élimination rapide des défauts et permet facilement d'assurer la maintenance du réseau, ainsi que le comptage de l'énergie aux postes sources. Des schémas d'exploitation de secours entre postes sources sont bien entendu prévus et permettent de minimiser le nombre de clients coupés en cas de défaillances [19].

Le problème d'écoulement de puissance de distribution consiste à trouver le point de fonctionnement des réseaux de distribution, à l'état stable dans des conditions données de charge et de génération. Cela implique, tout d'abord, de trouver toutes les tensions de bus. À partir de ces tensions, il est possible de calculer directement les courants, les transits de puissance, les pertes du système et d'autres quantités de l'état d'équilibre.

III.2. Objectif de l'écoulement de puissance :

Le calcul de l'écoulement de puissance est réalisé dans le but de [20] :

- **Définition de l'état du réseau:** L'objectif du calcul d'écoulement de puissance dans un réseau est de déterminer l'état du réseau selon les charges connectées et leur répartition sur tous les accès du réseau. Le calcul fournit une image précise du flux de puissance active et réactive dans chaque élément du réseau de transport, ainsi que les niveaux de tension en chaque nœud. Ce calcul est basé sur l'hypothèse que le réseau fonctionne à l'état d'équilibre et que les générateurs fournissent de l'énergie sous forme de courant alternatif (CA) sinusoïdale et de tensions triphasées équilibrées.
- **Calcul des flux de courant:** La valeur du courant circulant à travers chaque élément du réseau (ligne, un câble ou un transformateur) ne doit pas dépasser les valeurs nominales de courant de ces composants. Le calcul du flux de courant ne

doit pas dépasser ces valeurs. Des valeurs excessives du courant peuvent conduire à une surchauffe des composants et même à une rupture.

- **Calcul des pertes en ligne:** Le calcul d'écoulement de puissance permet à travers les flux de courant une évaluation des pertes de puissance dans les lignes et les transformateurs. Des Pertes excessives peuvent conduire à la reconfiguration du réseau afin de minimiser ces dernières sur l'ensemble du réseau.

- **Etablir une stratégie d'adaptation et de contrôle:** La détermination des tensions aux nœuds et de la puissance active et réactive que chaque générateur doit fournir pour assurer la livraison de puissance à chaque charge, permet de définir les instructions de commande pour la régulation de chaque machine connectée au réseau. Ce calcul est également utilisé dans l'analyse de stabilité.

- **Optimisation de la capacité de transit de puissance:** Enfin, il est possible d'optimiser le flux de puissance afin d'augmenter la capacité de transfert de puissance disponible dans le réseau en utilisant des algorithmes basés sur le concept de contraintes et de fonction objectif.

III.3. Ecoulement de puissance dans les réseaux de distribution :

Avec une croissance considérable du système de distribution, une méthode d'écoulement de puissance robuste et efficace pour déterminer les courants et les tensions de ligne est nécessaire. Presque dans tous les sujets liés à l'élargissement, le fonctionnement et la gestion de système de distribution, Tel que la minimisation des pertes, régulateur de tension,... la planification , le dimensionnement et l'emplacement des condensateurs shunt, l'estimation d'état , l'analyse de la sécurité, il est très important à résoudre l'algorithme d'écoulement de puissance le plus efficace que possible. Un système de distribution électrique a des caractéristiques spéciales telles que des charges triphasées déséquilibrées, structure radiale et les ratios R/X élevées. Les algorithmes d'écoulement de puissance n'ont pas convenable pour les systèmes de distribution. Pour résoudre les problèmes de système de distribution L'analyse de base d'écoulement de puissance doit être robuste et efficace en termes de temps [21].

La distribution ou la livraison de l'écoulement de puissance doit contenir [21]:

- Des données d'entrée ordonnée, des données de sortie ordonnée.
- Circuits Radial a faiblement maille sur la charge.
- Amplitude de tension et l'angle de phase.
- les pertes de puissance et les demandes des charges.
- Variation de tension pour les différentes composantes possibles.

III.3.1. Utilisation des grandeurs relatives:

La normalisation de la résistance de la ligne est obtenue en la rapportant à une résistance de base calculée moyennant la tension (V_{base}) et la puissance (S_{base}). Si la tension de base est donnée en **kV** et la puissance en **kVA** alors, cette résistance est donnée par [21]:

$$R_B = \frac{10^3 V_{Base}^2}{S_{Base}} \quad (3.1)$$

$$R = \frac{r}{R_B} \quad (3.2)$$

$$\begin{cases} P_l = \frac{P_L}{S_{Base}} \\ Q_l = \frac{Q_L}{S_{Base}} \end{cases} \quad (3.3)$$

III.4. Modélisation des éléments du réseau électrique :

Un réseau de distribution d'énergie électrique contient un ensemble de composants qu'il faut modéliser pour pouvoir établir les équations qui régissent le comportement de l'ensemble [22].

III.4.1. Le Générateur de puissance :

Cet élément doit fournir une certaine puissance donnée à une tension fixe. Les puissances active et réactive sont maintenues dans certaines limites pour respecter les contraintes [22].

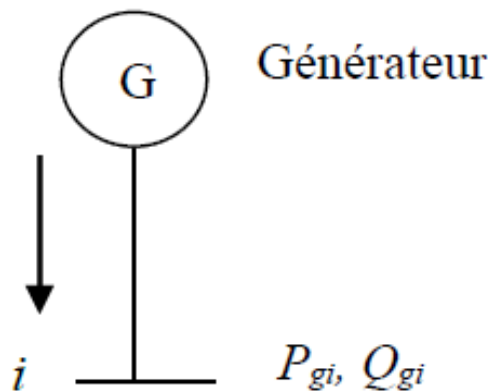


Figure (III.1) Représentation schématique d'un Générateur.

III.4.2. La Charge :

Elle est modélisée par une impédance constante calculée à partir des puissances actives et réactives consommées.

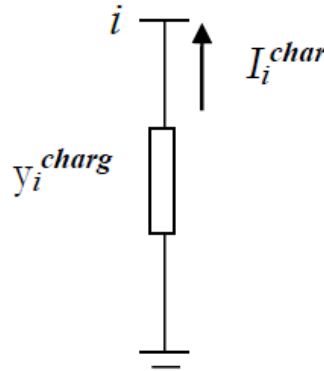


Figure (III.2) Représentation schématique d'une charge.

Cette admittance est définie par l'expression suivante :

$$y_i = \frac{P_i - jQ_i}{|V_i|^2} \quad (3.4)$$

III.4.3. La Ligne de transport :

La transmission de l'énergie électrique des centrales de production vers les centrales de consommation est assurée par la ligne de transport. Elle est représentée par un modèle en π donnée par la Figure 3.3. [22].

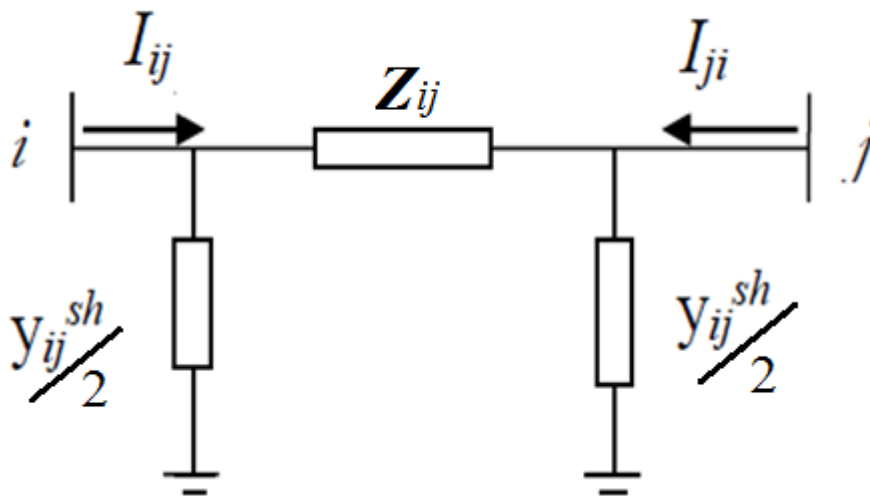


Figure (III.3) Modèle d'une ligne en π .

$$y_{ij} = z_{ij}^{-1} = g_{ij} + jb_{ij} \quad (3.5)$$

$$g_{ij} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (3.6)$$

$$y_{ijt} = \frac{1}{R_{ijt} + jX_{ijt}} = y_{jit} \quad (3.7)$$

$$b_{ij} = \frac{-X_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (3.8)$$

III.4.4. Le Transformateur :

Pour modéliser les transformateurs, généralement on suppose que la réactance magnétique est infinie, ainsi un transformateur peut être considéré alors comme une admittance égale à son admittance en court-circuit placée derrière un transformateur idéal de rapport de transformation normalisé ($a : 1$). Le transformateur est représenté par un modèle équivalent [22]:

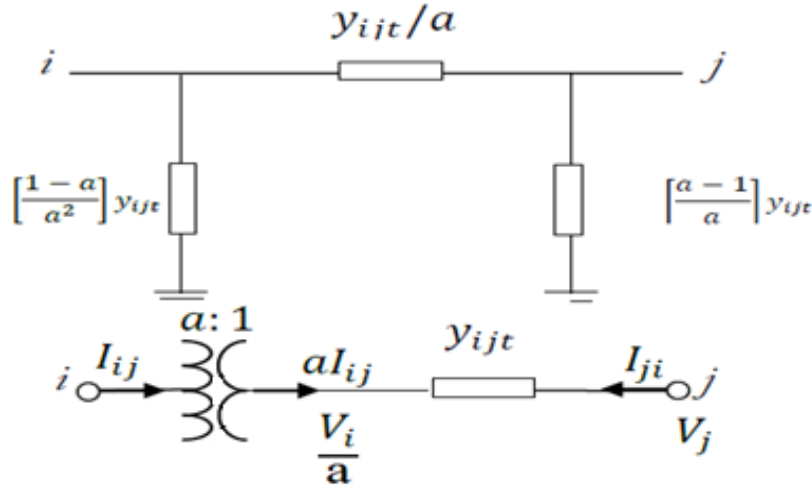


Figure (III.4) Modèle du transformateur avec régulateur en charge.

L'admittance du transformateur est exprimée par :

$$y_{ijt} = \frac{1}{R_{ijt} + jX_{ijt}} = y_{jit} \quad (3.9)$$

III.5. Classification des jeux de barres:

Dans le réseau électrique, les jeux de barres sont caractérisés par un ensemble de quatre variables; les puissances active et réactive **P** et **Q**, la tension **V** et son angle de phase **δ** généralement, deux sont connues et les deux autres sont à déterminer.

Nous avons généralement à faire à trois types de nœuds [5] :

*** Nœud de charge:**

C'est un jeu de barres où uniquement une ou plusieurs charges sont connectées.

Dans ce jeu de barres les puissances active et réactive sont les deux variables connues, les deux autres sont à déterminer.

*** Nœud Générateur:**

Dans ces jeux de barres, les variables connues sont la puissance active et l'amplitude de la tension $|V|$, les deux autres sont aussi à déterminer. Dans ce nœud les limites de la puissance réactive sont spécifiées.

*** Nœud Bilan:**

Dans le réseau, l'écoulement de puissance nous impose des pertes dans les lignes, le bilan des puissances nous donne :

$$\begin{cases} P_g - P_c - P_p = 0 \\ Q_g - Q_c - Q_p = 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

P_g, Q_g : Puissances active et réactive générées.

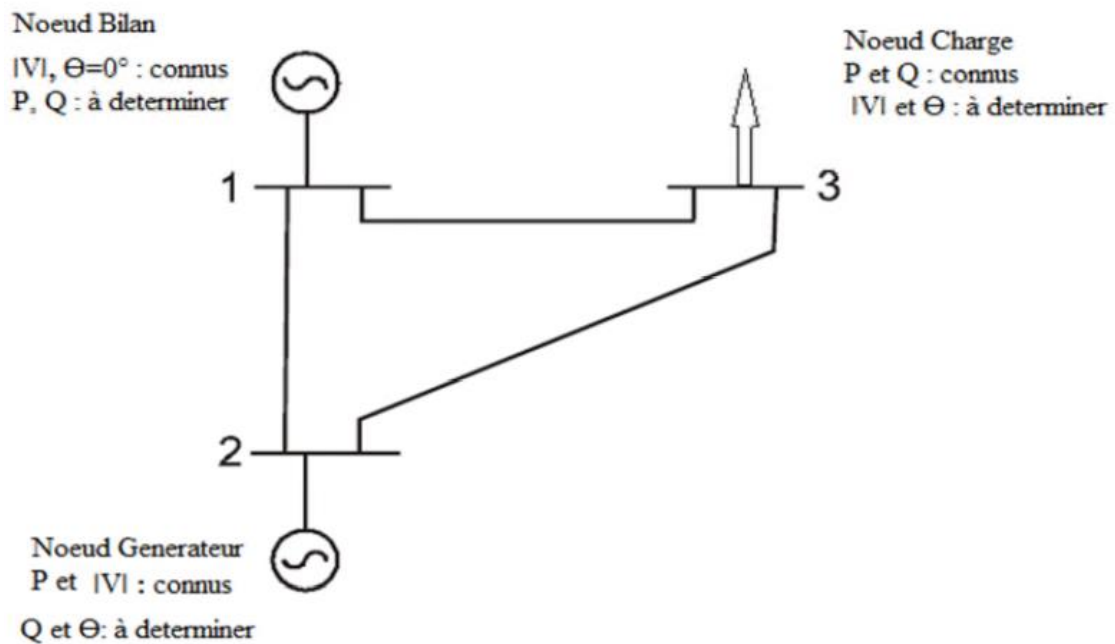
P_c, Q_c : Puissances active et réactive des charges.

P_p, Q_p : Pertes de puissances active et réactive dans les lignes.

Ce nœud est aussi appelé nœud de référence, l'amplitude de la tension ainsi que son angle de phase sont imposées, ce dernier est choisi généralement égal à zéro. Tous les autres nœuds sont comparés à celui-ci pour déterminer leur angle de phase. En plus des puissances exigées par les charges il fournit une puissance qui sera perdue dans les lignes [5].

Nœud	Variables spécifiés	Variables à calculer
Nœud de charge	P et Q	Module de V et δ
Nœud générateur (Nœud à tension contrôlée)	Module de V et P	δ et Q
Nœud Bilan	Module de V et δ	P et Q

Tableau III.1 Propriétés des Nœuds.

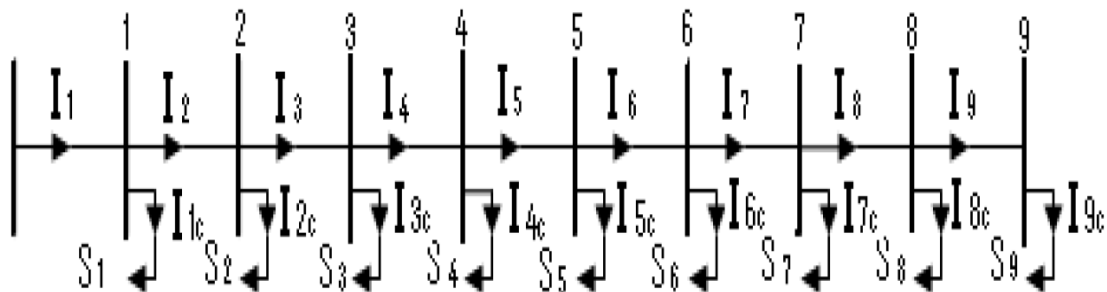


III.6. Modélisation de l'écoulement de puissance:

Notre étude commencera par les réseaux de distribution qui sont caractérisées par une configuration radiale. Deux types de réseaux de distribution de configuration radiale peuvent être considérés. Il s'agit des réseaux en échelle et des réseaux présentant des ramifications [21].

III.6.1. Réseaux en échelle:

On considère le cas simple d'une branche principale radiale constituée de n tronçons ou branches dont le réseau de la figure Fig3.6. est un parfait exemple.



Modéliser l'écoulement de puissance revient à déterminer l'expression des puissances en fin et en début de branches, les pertes de puissance dans ces dernières, les courants qui y circulent ainsi que les tensions des nœuds et leurs phases à l'origine [21].

Le calcul des puissances est un préalable à la détermination des tensions des nœuds. Ces puissances sont les puissances en fin de branches, les pertes de puissance dans ces dernières et les puissances en début de branches et les courants dans les branches.

III.6.2. Ligne avec ramifications:

Les réseaux de distribution les plus fréquents sont les réseaux ramifiés. Ils sont constitués d'une ligne principale à laquelle viennent se greffer des ramifications ayant chacune plusieurs nœuds. La ligne de 33 jeux de barres donnée par la figure (Fig.3.7) en est un parfait exemple [21].

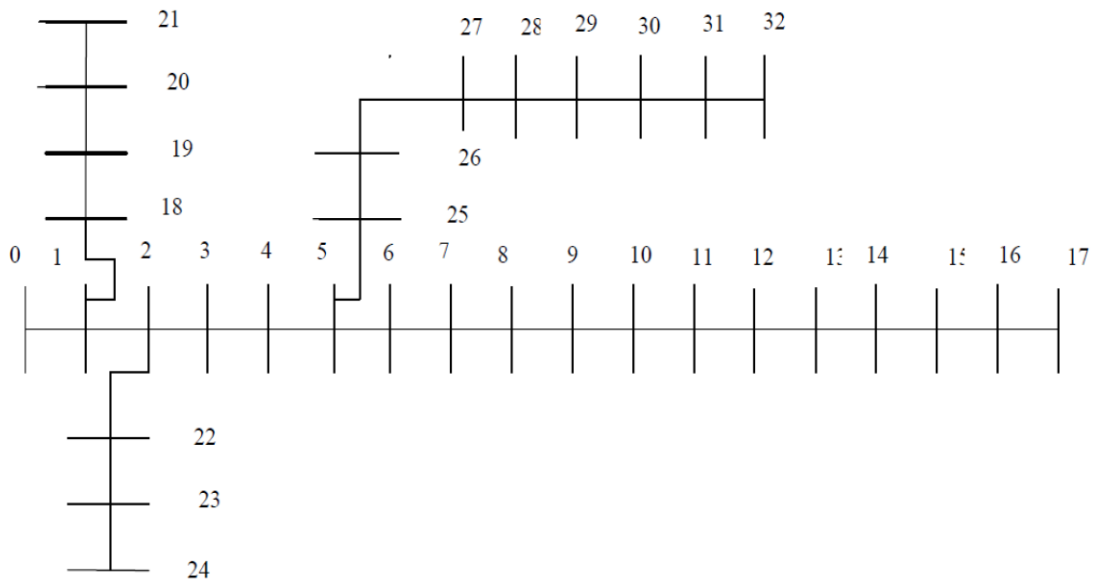


Figure (III.7) Schéma unifilaire d'un réseau ramifié à 33 jeux de barres.

Pour pouvoir calculer l'écoulement de puissance qui se produit dans ce type de lignes, il faut déterminer la configuration de la ligne et les puissances et courants dans les branches et la tension d'un nœud [21].

III.7. Méthode simple pour le calcul de l'écoulement de puissances dans un réseau radial [5]:

III.7.1. Méthode simple pour le calcul de l'écoulement de puissances avec des charges variables:

Cette méthode est proposée par Ulas Eminoglu, M. Hakan Hocaoglu [23]. Elle a pour objectif la résolution du problème de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radial. Elle est simple, efficace et elle a comme avantages des caractéristiques de convergence améliorées.

Cette approche prend en considération l'influence du type de charges sur la tension en utilisant un facteur de correction, ainsi que l'effet capacitif des lignes. Elle se base sur la résolution de l'équation polynomiale de tension obtenue à partir de l'équation de l'écoulement de puissance entre deux jeux de barre. La tension dans chaque jeu de barre s'obtient en utilisant la tension calculée dans le jeu de barre précédant. Les valeurs des tensions sont corrigées en prenant en considération les chutes de tension causées par l'impédance des lignes.

Cette méthode présente une meilleure convergence quel que soit le type de charges utilisées.

III.7.1.1. Approche Mathématique:

Le schéma suivant montre un simple réseau à deux jeux de barre : [23]

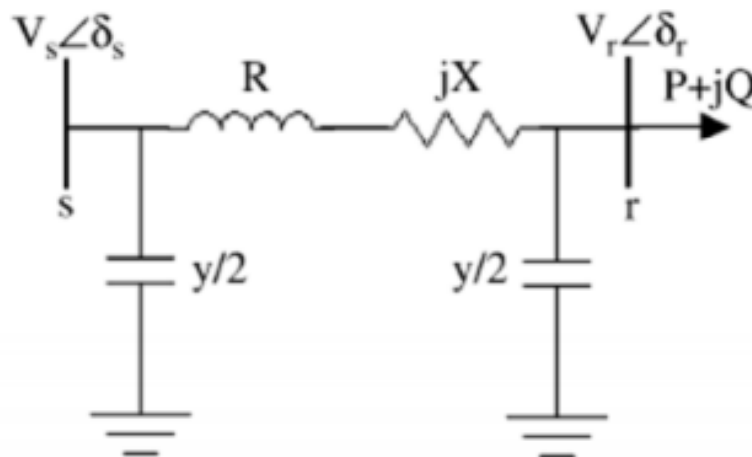


Figure (III.8) exemple d'une branche en Π

Avec :

- P : Puissance active transportée par la ligne.
- Q : Puissance réactive transportée par la ligne.
- V_s : Tension à la source.
- V_r : Tension à la charge.
- δ_s : Déphasage de la tension V_s.
- δ_r : Déphasage de la tension V_r.
- R, X : Résistance et inductance de la ligne.
- Y : Admittance de la ligne.

Dans cette méthode on fait appel aux équations de l'écoulement de puissances qui sont les suivantes :

$$P = \frac{|V_r||V_s|}{|Z|} \cos(\theta_z - \delta_s) - \frac{|A||V_r|^2}{|Z|} \cos(\theta_z - \delta_A) \quad (3.11)$$

$$Q = \frac{|V_r||V_s|}{|Z|} \sin(\theta_z - \delta_s) - \frac{|A||V_r|^2}{|Z|} \sin(\theta_z - \delta_A) \quad (3.12)$$

Où : $A = \cosh(\gamma)$ et $\gamma = \sqrt{zy}$

- Z: Impédance de la ligne.
- θ_z: Déphasage de la ligne.
- δ_s: Déphasage du paramètre A de la ligne.

A partir des équations (3.11) et (3.12) en fait extraire les équations (3.13) et (3.14):

$$\cos(\theta_z - \delta_s) = \frac{P|z|}{|V_r||V_s|} + \frac{|A||V_r|}{|V_s|} \cos(\theta_z - \delta_A) \quad (3.13)$$

$$\sin(\theta_z - \delta_s) = \frac{Q|z|}{|V_r||V_s|} + \frac{|A||V_r|}{|V_s|} \sin(\theta_z - \delta_A) \quad (3.14)$$

On peut aussi exprimer les expressions de puissances active et réactive par les expressions (3.15) et (3.16) :

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{np} \quad (3.15)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{nq} \quad (3.16)$$

- Où **np** et **nq** : paramètres variables suivant le type de charges.
- P₀ et Q₀ : puissances active et réactive nominales des charges.

Dans cette méthode les valeurs de $V_\square$ sont fixées à 1pu donc les équations (3.15) et (3.16) deviennent plus simple à exprimer tel que :

$$P = P_0 V^{np} \quad (3.17)$$

$$Q = Q_0 V^{nq} \quad (3.18)$$

L'étape qui suit se fait en remplaçant les expressions (3.17) et (3.18) dans (3.13) et (3.14) :

$$\cos(\theta_z - \delta_s) = \frac{P_0 |V|^{np} |Z|}{|V_r| |V_s|} + \frac{|A| |V_r|}{|V_s|} \cos(\theta_z - \delta_A) \quad (3.19)$$

$$\sin(\theta_z - \delta_s) = \frac{Q_0 |V|^{nq} |Z|}{|V_r| |V_s|} + \frac{|A| |V_r|}{|V_s|} \sin(\theta_z - \delta_A) \quad (3.20)$$

Maintenant, on va développer les expressions de $\cos^2(\theta_z - \delta_s)$ et de $\sin^2(\theta_z - \delta_s)$
Telle que:

$$\cos^2(\theta_z - \delta_s) = \frac{P_0^2 |V|^{2np} |Z|^2}{|V_r|^2 |V_s|^2} + \frac{|A|^2 |V_r|^2}{|V_s|^2} \cos^2(\theta_z - \delta_A) + 2 \frac{P_0 |V|^{np} |Z| |A|}{|V_s|^2} \cos(\theta_z - \delta_A) \quad (3.21)$$

$$\sin^2(\theta_z - \delta_s) = \frac{Q_0^2 |V|^{2nq} |Z|^2}{|V_r|^2 |V_s|^2} + \frac{|A|^2 |V_r|^2}{|V_s|^2} \sin^2(\theta_z - \delta_A) + 2 \frac{Q_0 |V|^{nq} |Z| |A|}{|V_s|^2} \sin(\theta_z - \delta_A) \quad (3.22)$$

On a aussi l'équation trigonométrique suivante :

$$\cos^2(\theta_z - \delta_s) + \sin^2(\theta_z - \delta_s) = 1 \quad (3.23)$$

On remplace les équations (3.21) et (3.22) dans l'équation (3.23) puis on simplifie l'équation finale et on obtient la relation (3.24) :

$$\frac{P_0^2 |V|^{2np} |Z|^2}{|V_r|^2 |V_s|^2} + \frac{|A|^2 |V_r|^2}{|V_s|^2} + 2 \frac{P_0 |V|^{np} |Z| |A|}{|V_s|^2} \cos(\theta_z - \delta_A) + \frac{Q_0^2 |V|^{2nq} |Z|^2}{|V_r|^2 |V_s|^2} + 2 \frac{Q_0 |V|^{nq} |Z| |A|}{|V_s|^2} \sin(\theta_z - \delta_A) = 1 \quad (3.24)$$

Dans l'étape suivante on va multiplier l'équation (3.24) par $|V_s|^2|V_r|^2$ et on aura :

$$P_0^2|V|^{2np}|Z|^2 + |A|^2|V_r|^4 + 2P_0|V|^{np}|Z||A||V_r|^2\cos(\theta_z - \delta_A) + Q_0^2|V|^{2np}|Z|^2 + 2Q_0|V|^{np}|Z||A|\sin(\theta_z - \delta_A) = |V_r|^2|V_s|^2 \quad (3.25)$$

D'où :

$$|A|^2|V_r|^4 + 2|V_r|^2|Z||A|(P_0|V_r|^{np}\cos(\theta_z - \delta_A) + Q_0|V_r|^{np}\sin(\theta_z - \delta_A)) + |Z|^2(P_0^2|V_r|^{2np} + Q_0^2|V_r|^{2np}) = 0 \quad (3.26)$$

$$V_s = V_n + I_t \sum_{k=1}^n Z_k - \sum_{k=1}^{n-1} I_k (\sum_{i=k+1}^n Z_i) \quad (3.27)$$

Avec :

$$I_k = \left(\frac{S_k}{V_k} \right)^* \quad (3.28)$$

S_k : Puissance apparente au nœud k.

V_k : Tension au nœud K.

$$V_{s,r} = \frac{V_s^{new}}{V_s} \quad (3.29)$$

$$V_k^{Adjust} = \frac{V_k^{new}}{V_{s,r}} \quad (3.30)$$

L'équation (3.29) représente le rapport entre la tension après correction des puissances et celle d'avant.

L'équation (3.30) représente la correction effectuée sur la tension V_k .

III.7.1.2. Algorithme de Résolution:

Etape 1 : initialiser toutes les valeurs de tensions de telle manière à avoir toutes les tensions aux nœuds égales à 1pu.

Etape 2 : Utiliser un balayage en aval pour le calcul des tensions à l'aide de l'équation (3.20), en démarrant du premier nœud, et ce en calculant toutes les puissances qui sortent du jeu de barre en question. La méthode se basant sur un principe itératif, la tension trouvée à chaque niveau doit être utilisée pour le calcul de la tension suivante.

Dans le cas d'une ramification, il faut préciser le nœud duquel cette dernière est issue.

Etape 3 : corriger les valeurs des puissances P et Q en utilisant les nouvelles tensions à l'aide des équations (3.15 et 3.16). Ensuite recalculer les nouveaux courants des charges.

Etape 4 : commencer un balayage en amont pour calculer les nouvelles tensions en utilisant l'équation (3.27) partant du n^{eme} nœud jusqu'à la source [23].

III.7.2. Méthode simple et directe pour les calculs dans les réseaux de distribution [5]:

La méthode suivante a été proposée par Manuel A. Matos [24], elle ne diffère pas énormément des autres méthodes, elle se base sur un calcul itératif appliqué à une équation obtenue à partir de l'équation de puissance transitant entre deux jeux de barres successifs. Les valeurs des tensions, impédances et puissances dans les équations sont écrites sous forme rectangulaire, ce qui va nous permettre par la suite de calculer au même temps que le module de la tension, son angle de phase.

Dans un premier temps l'effet capacitif n'est pas pris en considération, il s'agit des lignes aériennes, il sera introduit uniquement pour les lignes sous terraines où cette effet ne peut être négligé.

III.7.2.1. Développement mathématique:

a)- Cas générale:

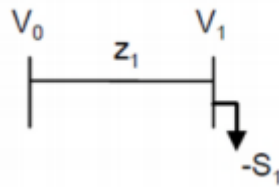


Figure (III.9) Exemple d'une branche.

Premièrement, à partir de la (Fig. 3.9) on peut écrire l'équation (3.31)

$$V_0 - V_1 = Z_1 * \left(-\frac{S_1}{V_1}\right)^* \quad (3.31)$$

On multiplie l'équation (3.31) par V_1 et on calcule son conjuguée, on obtient l'équation (3.32) :

$$V_0^* \cdot V_1 - |V_1|^2 + z_1^* \cdot S_1 = 0 \quad (3.32)$$

Maintenant, et pour faciliter les calculs, on remplace les éléments de l'équation (3.32) par leurs formes triangulaires respectives comme suit :

- On suppose que l'angle $V_0^* = e_0$ et que $\theta_0 = 0$
- $V_1 = e_1 + jf_1$; $z_i = r_i + jX_i$ et $S_i = P_i + jQ_i$

On obtient l'équations (3.33):

$$e_0(e_1 + jf_1) - (e_1^2 + f_1^2) + (r_1 - jX_1)(P_1 + jQ_1) = 0 \quad (3.33)$$

et après développement et séparation de l'équations (3.33) en parties réelle et imaginaire, on obtient les équations (3.34) et (3.35) :

$$e_0e_1 - (e_1^2 + f_1^2) + (r_1 \cdot P_1 + X_1 \cdot Q_1) = 0 \quad (3.34)$$

$$e_0f_1 + (r_1 \cdot Q_1 - X_1 \cdot P_1) = 0 \quad (3.35)$$

Nous avons un système d'équations à deux inconnues à résoudre (3.34) et (3.35), il suffit de tirer f_1 de la l'équation (3.35) et de le remplacer dans l'équation (3.34) pour trouver e_1 .

cela ne peut s'appliquer qu'à un système à deux jeux de barres, ce qui n'est pas d'une grande utilité dans le domaine pratique [24].

Pour un système à « n » jeux de barres, on se base sur le même principe et l'équation (3.31) devient :

$$V_0 - V_1 = z_1 \cdot \left(- \sum_{k=1}^n \frac{S_k}{V_k} \right)^* \quad (3.36)$$

on multiplie l'équation (3.36) par V_1 et on calcule son conjuguée :

$$e_0 \cdot V_1 - |V_1|^2 + z_1^* \cdot \sum_{k=1}^n S_k \cdot \left(\frac{V_1}{V_k} \right) = 0 \quad (3.37)$$

On utilise cette même équation pour calculer les tensions au niveau des différents accès en utilisant à chaque fois la tension trouvée à l'accès précédent. L'expression générale est donnée par :

$$V_{\text{prec}(i)}^* \cdot V_i - |V_i|^2 + z_i^* \cdot \left(S_i + \sum_{k \in \text{succ}(i)} S_k \cdot \left(\frac{V_i}{V_k} \right) \right) = 0 \quad (3.38)$$

Pour atteindre une certaine précision ε , il faut dérouler l'équation (3.38) en utilisant plusieurs itérations, l'écriture correcte dans ce cas est donnée par l'équation (3.39) :

$$V_{\text{prec}(i)}^{*(p)} \cdot V_i - |V_i|^2 + z_i^* \cdot \left(S_i + \sum_{k \in \text{succ}(i)} S_k \cdot \left(\frac{V_i^{(p-1)}}{V_k^{(p-1)}} \right) \right) = 0 \quad (3.39)$$

Où $\text{succ}(i)$: est la succession des jeux de barres.

Où (P) est l'itération à laquelle on est arrivé, et $P-1$ sera l'itération précédente, et

$$\varepsilon = |V_i^{(P)} - V_i^{P-1}|$$

L'équation (3.39) peut être écrite d'une manière simplifiée tel que :

$$V_{\text{prec}(i)}^* \cdot V_i - |V_i|^2 + z_i^* \cdot S_i' = 0 \quad (3.40)$$

L'utilisation de l'équation (3.40) ne nécessite pas de valeurs initiales pour V_i , il faut juste considérer que :

$$V_k^{(0)} = V_i^{(0)} \text{ avec } k \in \text{succ}(i)$$

On peut alors écrire pour la première itération :

$$V_{\text{prec}(i)}^* \cdot V_o - |V_i|^2 + z_i^* \cdot (S_i + \sum_{k \in \text{succ}(i)} S_k) = 0 \quad (3.41)$$

b)- Cas de liaisons sous-terraines:

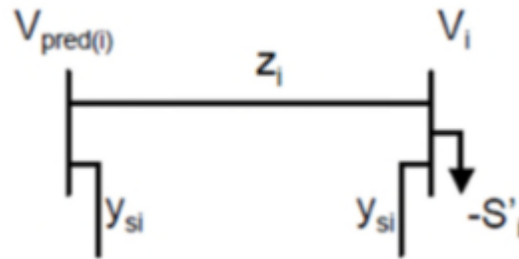


Figure (III.10) exemple d'une branche sous-terrainne en Π

La (Fig. 3.10) représente le mode en Π d'une ligne entre deux jeux de barres, elle n'a de plus que la (Fig. 3.9), les semi-admittance y_{si} .

Parce qu'un nœud peut être en liaison avec plusieurs autres nœuds, on peut définir pour chaque nœud i , une admittance totale telle que :

$$Y_{si} = y_{si} + \sum_{k \in \text{scon}(i)} y_{sk} \quad (3.42)$$

Où $\text{scon}(i)$ sont les nœuds connectés au nœud (i) . (Avec k différent de i) Dans ce cas, la somme des courants passant a travers le jeu de barre (i) va changer, et donc l'équation (3.31) va s'écrire :

$$V_{prec(i)} - V_i = z_i \cdot \left(\left(-\frac{S'_i}{V_i} \right)^* + Y_{si} \cdot V_i + \sum_{k \in succ(i)} Y_{sk} \cdot V_k \right) \quad (3.43)$$

Et après calcul du conjugué et multiplication par V_i , l'équation (3.40) va maintenant s'écrire :

$$(V_{prec(i)}^* - z_i^* \cdot \sum_{k \in succ(i)} Y_{sk}^* \cdot V_k^*) \cdot V_i - (1 + z_i^* \cdot Y_{si}^*) \cdot |V_i|^2 + z_i^* \cdot S'_i = 0 \quad (3.44)$$

Pour avoir l'équation (3.44) sous forme quadratique avec un coefficient de 1 Pour on l'a divisé par son coefficient actuel et on obtient :

$$\frac{V_{prec(i)}^* - z_i^* \cdot \sum_{k \in succ(i)} Y_{sk}^* \cdot V_k^*}{1 + z_i^* \cdot Y_{si}^*} \cdot V_i - |V_i|^2 + \frac{z_i^*}{1 + z_i^* \cdot Y_{si}^*} \cdot S'_i = 0 \quad (3.45)$$

c)- présence de condensateurs ou de bobines:

Il est facile d'introduire une charge inductive ou capacitive aux calculs, il suffit de modifier l'équation (3.42) en ajoutant un paramètre Y_i correspondant à cette charge tel que : [24]

$$Y_{si} = y_{si} + \sum_{k \in scon(i)} y_{sk} + Y_i \quad (3.46)$$

Dans ce cas l'équation (3.42) sera remplacée par l'équation (3.46)

d)- cas de nœud générateur (Ou nœud PV):

$$V_{prec(i)}^* \cdot V_i + z_i^* \cdot S_i \cdot |V_i|^2 + z_i^* \cdot \sum_{k \in succ(i)} S_k \cdot \left(\frac{V_i}{V_k} \right) = 0 \quad (3.47)$$

$$V_{prec(i)}^* \cdot V_i + z_i^* \cdot jQ_i + z_i^* \cdot P_i - |V_i|^2 + z_i^* \cdot \sum_{k \in succ(i)} S_k \cdot \left(\frac{V_i}{V_k} \right) = 0 \quad (3.48)$$

$$V_{prec(i)}^* \cdot V_i + z_i^* \cdot jQ_i + C = 0 \quad (3.49)$$

III.7.2.2. Algorithme de résolution:

Etape 1 : initialiser toutes les valeurs de tension de telle manière à avoir toutes les tensions égales à 1pu.

Etape 2 : Utiliser un balayage en aval pour le calcul des tensions à l'aide de l'équation (3.39), en démarrant du jeu de barre 1, et ce en calculant toutes les puissances qui sortent du jeu de barre en question. La méthode se basant sur un principe itératif, la tension trouvée à chaque niveau doit être utilisée pour le calcul de la tension suivante.

Dans le cas d'une ramification, il faut préciser le nœud duquel cette dernière est issue.

Etape 3 : dans le cas de nœuds PV, on utilise l'équation (3.47) et on garde la valeur de Q pour les nœuds suivants.

Etape 4 : une fois arriver au dernier nœud, on refait toutes les itérations avec les nouvelles tensions obtenues jusqu'à atteindre la précision désirée. [8]

III.7.3. Méthode matricielle pour la résolution des équations d'écoulement de puissance en réseau radial [5]:

Comme déjà cité auparavant, il y a plusieurs méthodes qui s'intéressent au calcul de l'écoulement de puissance dans le réseau radial. La méthode présentée dans ce qui suit s'appuie sur l'analyse matricielle des équations de puissance et tension dans le but de déterminer les valeurs des grandeurs suivantes : Tension, Courant, Pertes en puissances active et réactive. Cette méthode est proposée par Smarajit Ghosh, Karma Sonam Sherpa [25].

Le réseau radial n'est pas complètement arborescent car, dans certains cas, on le trouve bouclé pour diverses raisons, ce qui complique la tâche de résolution des équations de l'écoulement de puissance et pour y remédier, on utilise l'analyse matricielle qui nous garantit une résolution facile et plus rapide.

L'application de cette méthode passe par deux étapes essentielles qui sont :

- Déterminer la valeur du courant dans chaque branche.
- Déterminer l'amplitude de la tension ainsi que son déphasage à chaque nœud.

III.7.3.1. Détermination de la valeur du courant dans chaque branche:

Pour déterminer la valeur du courant dans chaque branche du réseau, on doit procéder comme suit :

La figure suivante représente un réseau de neuf jeux de barres et huit avec une ramification au niveau du 3^{ème} nœud incluant les nœuds 6, 7, 8 et 9. [25]

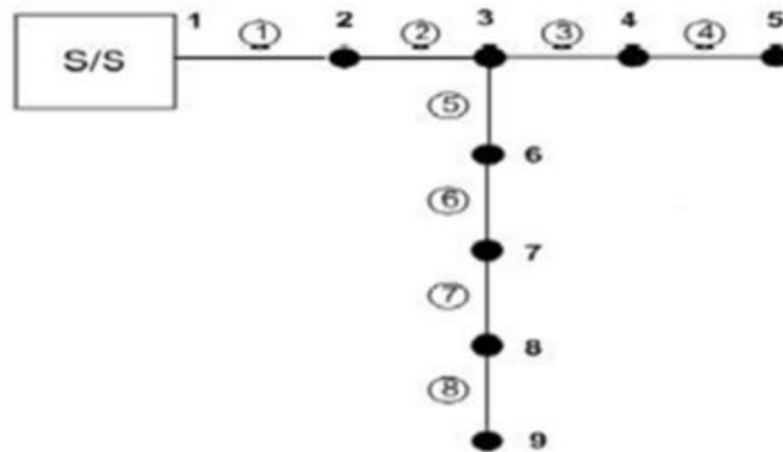


Figure (III.11) réseau radial

1. Créer la matrice suivante qui représente l'ensemble des nœuds qui se situe après chaque branche

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 4 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \end{pmatrix} \quad (3.50)$$

Dans cette matrice les lignes représentent les numéros de branche, et les éléments des colonnes représentent les numéros des nœuds qui se situent après la branche.

2. Connecter les charges aux nœuds qui lui correspondent dans la matrice précédente. Par exemple le premier élément de la matrice correspond à 2, on place la charge qui est connectée au nœud 2 à cette position, procéder de la même manière pour le reste des charges.

La nouvelle matrice obtenue $S(K1)$; (Matrice des puissances apparentes) est la matrice de base qui est utilisée pour le calcul des courants de branche. [25]

$$S(k1) = \begin{vmatrix} s2 & s3 & s4 & s5 & s6 & s7 & s8 & s9 \\ 0 & s3 & s4 & s5 & s6 & s7 & s8 & s9 \\ 0 & 0 & s4 & s5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s6 & s7 & s8 & s9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s8 & s9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s8 & s9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s9 \end{vmatrix} \quad (3.51)$$

3. Créer la matrice S(K2) qui représente la matrice conjuguée des puissances apparentes

$$S_{(K2)} = \text{conj}(S_{(K1)}) \quad (3.52)$$

4. Calculer les courants de charges avec l'équation (3.53) :

$$I_{L(K)} = \frac{(P_{L(K)} - jQ_{L(K)})}{\text{conj}(V_{(K)})} \quad (3.53)$$

Où :

$I_{L(K)}$: Courant de charge au nœud K.

$P_{L(K)}$ et $Q_{L(K)}$: Puissances active et réactive de la charge au nœud K.

$V_{L(K)}$: Tension au nœud K.

Pour effectuer le calcul des courants de charges, on doit d'abord fixer la tension dans chaque nœud à $V_{(K)} = 1 \text{ p.u.}$

5. Les courants dans les branches sont calculés en additionnant les courants de charges de tous les nœuds suivants.

$$I_{jj} = \sum_{nb_{jj}} I_{LK} \quad (3.54)$$

Où :

I_{jj} : Courant dans la branche.

I_{LK} : Courant dans la charge connectée au nœud K.

nb_{jj} : Nombre de nœud qui se situent après la branche.

Les courants de branche sont résumés dans le vecteur suivant :

$$I_J = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_5 \\ I_7 \\ I_8 \end{pmatrix} \quad (3.55)$$

III.7.3.2. Détermination l'amplitude de la tension ainsi que son déphasage à chaque nœud:

Pour déterminer l'amplitude de la tension ainsi que son déphasage on va en premier lieu créer la matrice diagonale des impédances de branches, elle est du même ordre que la matrice des nœuds créée auparavant. Les éléments de la diagonale représentent les impédances dans chaque branche [25]:

$$Z(J) = \begin{pmatrix} Z(1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z(2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z(3) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z(4) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z(5) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z(6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z(7) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z(8) \end{pmatrix} \quad (3.56)$$

Le produit de cette matrice avec le vecteur des courants des branches nous donne les valeurs des chutes de tensions dans les lignes, elles sont illustrées dans l'équation (3.57)

$$\Delta U = Z(J) * I(D) \quad (3.57)$$

Donc :

$$\Delta U = \begin{pmatrix} Z(1) * I(1) \\ Z(2) * I(2) \\ Z(3) * I(3) \\ Z(4) * I(4) \\ Z(5) * I(4) \\ Z(6) * I(5) \\ Z(6) * I(6) \\ Z(8) * I(7) \\ Z(8) * I(8) \end{pmatrix}$$

Pour finaliser le calcul des tensions, on va procéder comme suit :

1. On prend la matrice des chutes de tensions et on la partage en deux matrices D1 et D2.

$$D1 = \begin{pmatrix} Z(1) * I(1) \\ Z(2) * I(2) \\ Z(3) * I(3) \\ Z(4) * I(4) \end{pmatrix}$$

$$D2 = \begin{pmatrix} Z(1) * I(1) \\ Z(2) * I(2) \\ Z(5) * I(5) \\ Z(6) * I(6) \\ Z(7) * I(7) \\ Z(8) * I(8) \end{pmatrix}$$

Les éléments de ces deux matrices sont les chutes de tensions dans les branches qui se suivent sur le même sentier, par exemple dans notre réseau on a deux chemins différents, le premier relie les branches (1, 2, 3, 4) et le deuxième les branches (1, 2, 5, 6, 7, 8).

2. On calcule les tensions dans tous les nœuds avec les deux équations (3.58) et (3.59) :
Sachant que la tension au premier nœud est fixée à 1pu. le vecteur de tension initial est donné comme suite :

$$V0 = \begin{pmatrix} V(2) \\ V(3) \\ V(4) \\ V(5) \\ V(5) \\ V(6) \\ V(7) \\ V(8) \\ V(9) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$V1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Z(1) * I(1) \\ Z(1) * I(1) - Z(2) * I(2) \\ Z(1) * I(1) * I(2) * I(2) - Z(3) * I(3) \\ Z(1) * I(1) * I(2) * I(2) - Z(3) * I(3) - Z(4) * I(4) \end{pmatrix} \quad (3.58)$$

Et :

$$V2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Z(1) * I(1) \\ Z(1) * I(1) - Z(2) * I(2) \\ Z(1) * I(1) - Z(2) * I(2) - Z(5) * I(5) \\ Z(1) * I(1) - Z(2) * I(2) - Z(5) * I(5) - Z(6) * I(6) \\ Z(1) * I(1) - Z(2) * I(2) - Z(5) * I(5) - Z(6) * I(6) - Z(7) * I(7) \\ Z(1) * I(1) * I(2) - Z(5) * I(5) * I(6) * I(6) - Z(7) * I(7) - Z(8) * I(8) \end{pmatrix} \quad (3.59)$$

L'ensemble des résultats de ces deux équations nous donne les valeurs de toutes les tensions dans le réseau. Les valeurs sont résumées dans le vecteur tension suivant :

$$V1 = \begin{pmatrix} V(2) \\ V(3) \\ V(4) \\ V(5) \\ V(5) \\ V(7) \\ V(g) \\ V(9) \end{pmatrix}$$

III.7.3.3. Algorithme de la méthode:

Etape 1 : Introduire le nombre de branches et nœuds ainsi que les données du réseau.

Etape 2 : Créer la matrice 'A'.

Etape 3 : Calculer les courants de charges puis les courants dans les branches avec les équations (3.54) et (3.55).

Etape 4 : Créer la matrice impédance du réseau.

Etape 5 : Calculer les chutes de tensions dans chaque branche.

Etape 6 : Calculer les tensions dans les différents nœuds.

Etape 7 : Vérifier la convergence à partir l'équation [25]

$$abc (V1 - V0) > \varepsilon$$

III.7.4. Calcul de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radiale en utilisant une structure linéaire de données [5]:

L'article présenté par Ritu Parasher [26], présente une méthode rapide et efficace pour le calcul de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radial. Elle est basée sur une structure de donnée linéaire, c'est-à-dire que les données sont introduites en forme de vecteurs ainsi que les résultats obtenus.

Cette méthode requière très peu d'itérations pour converger vers un bon résultat.

III.7.4.1. Approche mathématique:

Les équations développées dans la suite de ce titre se basent sur le schéma de la figure (fig3.12)

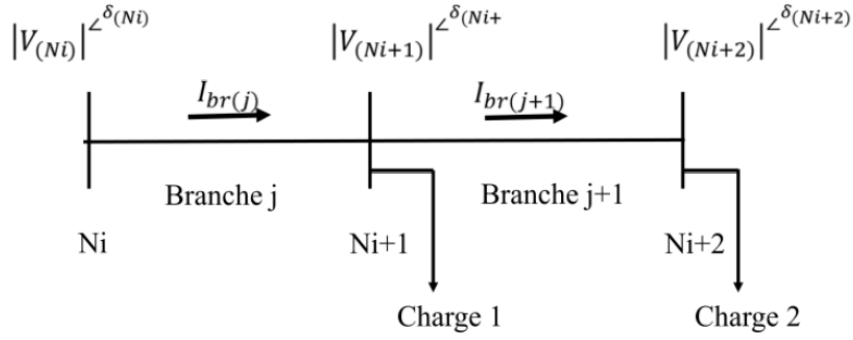


Figure (III.12) Exemple d'une branche en réseau radial

Tel que :

N_i : Numéro du nœud.

j : Numéro de branche

$V_{(i)}$: Tension au nœud i

θ_{vi} : Déphasage de la Tension au nœud i .

$I_{br(j)}$: Courant dans la branche j .

Nous avons l'équation de la puissance apparente au niveau d'une charge :

$$S_i = V_i(LI)_i^* = P_i + jQ_i \quad (3.60)$$

S_i étant la puissance apparente de la charge i .

P_i et Q_i sont respectivement la puissance active et réactive de la charge i .

$(LI)_i^*$: Le conjugué du courant de la charge i .

Cela nous donne l'équation (3.61) :

$$(LI)_i = \left(\frac{S_i}{V_i} \right)^* = \frac{P_i + jQ_i}{V_i^*} \quad (3.61)$$

On séparant le module de l'argument nous auront :

$$(LI)_i = \frac{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{Q_i}{P_i}\right)}{|V_i| \angle -\theta_{vi}} \quad (3.62)$$

On peut simplifier l'équation (3.62)

$$(LI)_i = |LI_i| \angle \theta_i$$

θ_i : est le déphasage du courant de la charge i .

Qui peut être aussi écrite :

$$(LI)_i = |LI_i| \cos \theta_i + j |LI_i| \sin \theta_i \quad (3.63)$$

Les équations du module du courant de charge et de son argument sont données par (3.64) et (3.65) :

$$|LI_i| = \frac{[P_i^2 + Q_i^2]^{1/2}}{|V_i|} \quad (3.64)$$

$$\theta_i = \theta_{vi} - \tan^{-1} \left(\frac{Q_i}{P_i} \right) \quad (3.65)$$

Pour les courants de branche on additionne les courants des charges se trouvant en aval de la branche où on se trouve :

$$I_{brj} = \sum_{i=1}^n |LI_i| \cos \theta_i + j \sum_{i=1}^n |LI_i| \sin \theta_i \quad (3.66)$$

n est le nombre de nœuds du réseau.

Pour « s » et « r » deux nœuds successifs, la tension dans « r » est obtenue par l'équation (3.67) :

$$V_r = V_s - I_{br} \cdot Z_{br} \quad (3.67)$$

Z_{br} : est l'impédance de la ligne entre « s » et « r » et son argument.

Une forme plus contractée de l'équation (3.67) nous donne :

$$|V_r| \angle \theta_{Vr} = |V_s| \angle \theta_{Vs} - |I_{br}| \angle \theta_{Ibr} \cdot |Z_{br}| \angle \theta_{Zbr} \quad (3.68)$$

En développant l'équation précédente on arrive à (3.69)

$$|V_r| \angle \theta_{Vr} = |V_s| \angle \theta_{Vs} - |I_{br}| |Z_{br}| \angle (\theta_{Ibr} + \theta_{Zbr}) = V_s \angle \theta_{Vs} - |I_{br}| \cdot |Z_{br}| \angle \emptyset \quad (3.69)$$

A partir des courants des branches calculés dans l'équation (3.66), on déduit les équations des pertes actives et réactive en fonction de l'impédance de la ligne :

$$LP_j = |I_{brj}|^2 \cdot R_{brj} \quad (3.70)$$

$$LQ_j = |I_{brj}|^2 \cdot X_{brj} \quad (3.71)$$

LP_j et LQ_j : sont les pertes active et réactive dans la branche j.
 R_{brj} et X_{brj} : résistance et inductance de la branche j.

III.7.4.2. Algorithme de résolution:

Etape 01 : lire les données du réseau (Puissances, Impédances des lignes, tension nominale...) et initialiser toutes les tensions dans les nœuds à 1 p.u et les courants de branche à 0 p.u.

Etape 2 : calculer tous les courants des charges et ensuite déduire les courants des branches.

Etape 3 : corriger les valeurs des nouvelles tensions en utilisant les courants des lignes.

Etape 4 : calculer l'erreur absolue entre deux valeurs de tension dans un même jeu de barre et dans deux itérations successives à une valeur d'Epsilon proche à (0.0001). Si l'erreur est supérieure, retour à l'étape 2 pour calculer les nouvelles valeurs des courants.

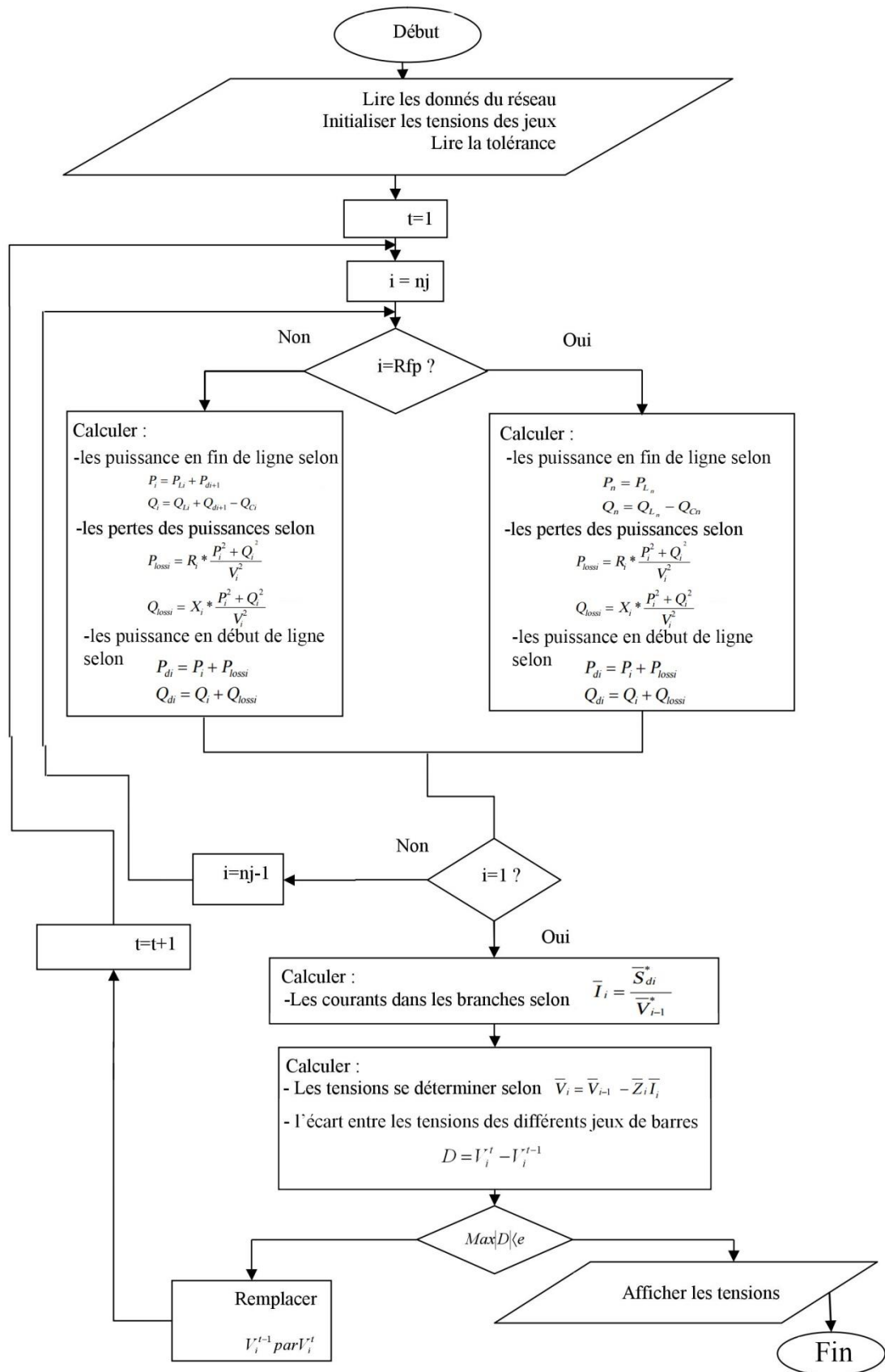
Etape 5: une fois le critère de convergence est vérifié on procède au calcul des pertes de puissances active et réactive, ainsi que les chutes de tensions dans les lignes.

III.8. Les organigrammes de solution de l'écoulement de puissance [27]:

Du fait qu'il existe deux types de ligne à savoir, les lignes en échelle et les lignes ramifiées, nous avons alors prévu un organigramme pour chacune d'elles:

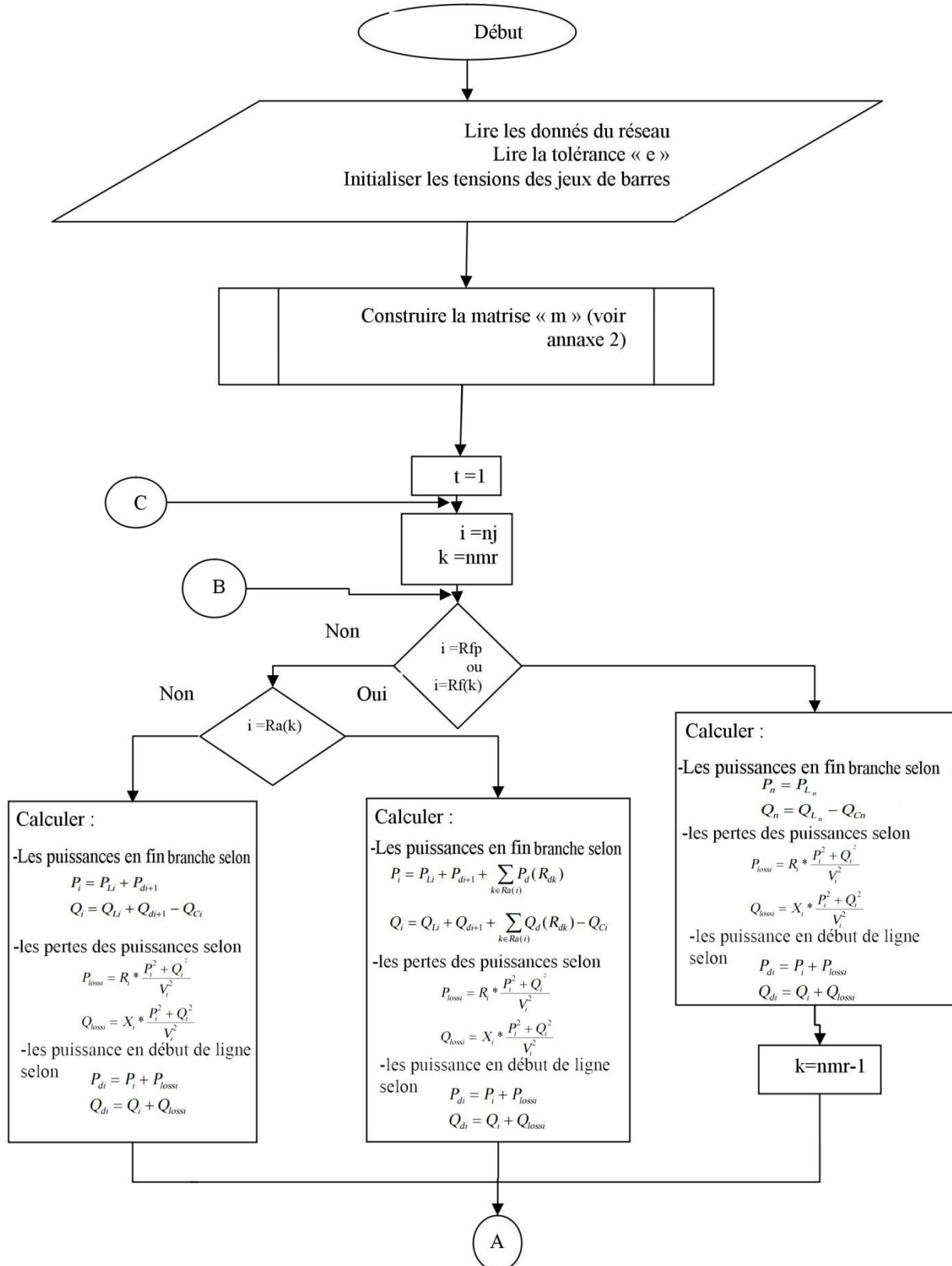
III.8.1. Ligne en échelle :

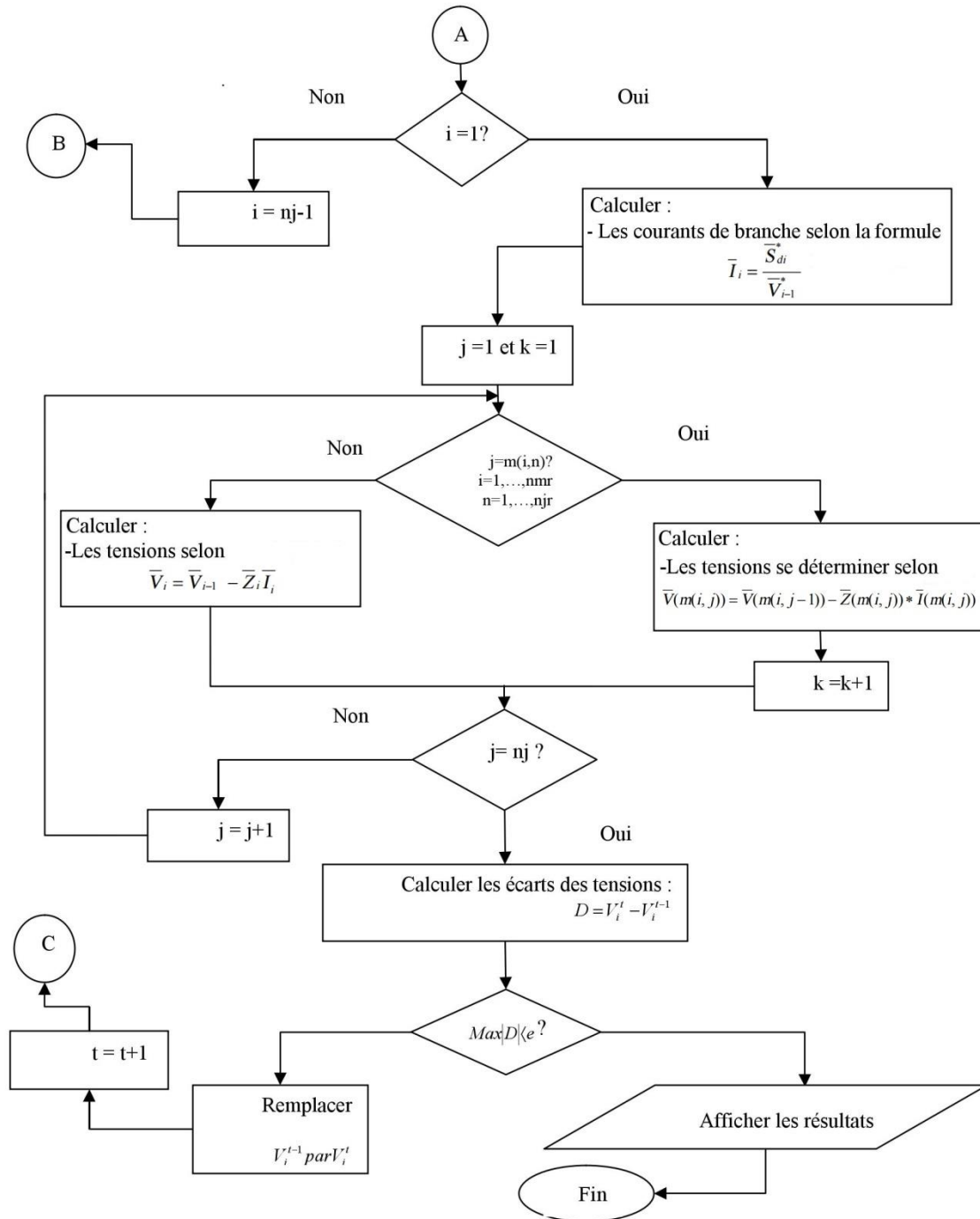
L'organigramme de solution de l'écoulement de puissance dans une ligne en échelle est le suivant [27]:



III.8.2. Ligne avec ramifications :

Pour les lignes avec ramification l'organigramme de solution est le suivant [27]:





III.8. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons défini l'intérêt du calcul de l'écoulement de puissance et sa contribution dans la planification, en outre, nous avons abordé la modélisation du réseau électrique et l'écoulement de puissance.

Par la suite nous avons dans ce chapitre, traité quatre méthodes dans le cadre de la résolution du problème de l'écoulement de puissance dans un réseau radial. L'ensemble de ces méthodes présentent une approche simple pour calculer les tensions au niveau des nœuds d'un réseau en calculant les courants dans les charges, puis dans les branches. Ces tensions sont corrigées à chaque itération jusqu'à atteindre la précision désirée. Nous avons à la fin de chaque méthode, donné un algorithme qui résume les différentes étapes pour la résolution des équations données auparavant.

CHAPITRE 4

IV.1. Introduction

Pour concrétiser notre étude, nous avons procédé dans ce quatrième chapitre l'analyse le réseau électrique de distributions pour voir leurs influences sur le profil de tension et sur les pertes réactives, et nous avons fait à une simulation sur PSAT ayant comme objet l'injection ou raccordement d'un éolien dans un réseau de distributions (33 jeux de barres).

L'objectif de ce chapitre est de déterminer le meilleur emplacement du éolien dans ces réseaux de distribution.

La détermination du meilleur emplacement sera réalisée en s'appuyant deux critères [19]:

- l'indice de sensibilité de tension VSI (voltage sensitivity index).
- Minimisation des pertes actives.

Si les deux critères donnent des résultats différents, on va appliquer la méthode des poids normalisé.

Des simulations par le logiciel PSAT de ce réseau testes seront effectués pour calculer les pertes en puissance active et réactive et le VSI pour deux valeurs du facteur de puissance (1 et 0.9) de éolien.

IV.2. Définition de logiciel PSAT [29] , [30]:

PSAT (**P**ower **S**ystem **A**nalysis **T**oolbox) est un logiciel destiné à l'analyse et l'étude des réseaux électriques,. Il est développé sous MATLAB par Mr. Federico Milano ; Professeur Docteur à l'université de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, Spain.

PSAT bénéficie largement des remarques et observations des chercheurs spécialisés dans le réseau électrique PSAT est un logiciel, simple, intéressant, qui englobe plusieurs domaines de recherche dans l'étude et l'analyse des réseaux électriques.

La manipulation de PSAT peut être effectuée, soit par l'interface graphique, soit par la programmation en ligne en utilisant leurs fonctions prédéfinies.

Le PSAT inclut l'écoulement de puissance base sur la méthode de NEWTON RAPHSON, l'écoulement de puissance optimal.

IV.3. Utilisation logicielle PSAT [29] , [30]:

PSAT est basé sur le concept des structures afin d'enregistrer les paramètres du réseau ainsi que les résultats de simulations.

Chaque structure, englobe plusieurs champs des informations qui assurent une description détaillée du système.

Les étapes d'utilisation de PSAT se résument comme suit :

- Ouvrir un nouveau fichier.
- Créer du réseau électrique à étudier.
- Lancer le model de la bibliothèque de simulation.
- Introduire les données numériques des éléments (générateurs, lignes, transfos, FACTS...) Exécuter l'écoulement de puissances..

IV.4. Localisation optimale basée sur l'indice de sensibilité de la tension VSI [19]:

La recherche de VSI est de trouver le nœud le plus sensible du système de point de vue sensibilité en tension. L'indice de sensibilité de tension est une solution numérique qui aide l'opérateur à guider de proximité le système comment s'effondrer ou réinitialiser automatiquement les plans d'actions correctives pour éviter l'effondrement de la tension. La tension d'effondrement débute du nœud le plus sensible en s'étalant ensuite sur d'autres nœuds sensibles.

Le VSI de tous les nœuds du réseau de distribution est calculé à un facteur de puissance unitaire. Les nœuds ayant un VSI minimal seront sélectionnés en premier, ensuite, les nœuds ayant une valeur minimale de l'indice de stabilité de tension sont déclarés comme étant les nœuds moins plus sensibles.

Les nœuds sensibles à la tension sont d'abord identifiés par la pénétration du GED avec 25% de la capacité totale pour chaque nœud à la fois, en suite, on calcule l'indice de sensibilité de la tension (VSI).

Lorsque l'éolien est connecté au *JDBI*, leur **VSI** est définie comme:

$$VSI_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{n-1} (1-V_k)^2}{n}} \quad (4.1)$$

Où V_k est une tension au nœud k , et n est le nombre de nœuds.

Le nœud avec la valeur de VSI minimale sera choisi comme la meilleure localisation pour placer le GED.

IV.5. Localisation optimale basée sur la minimisation des pertes actives [19]:

Cette méthode sert à choisir le jeu de barre d'injection de GED qui donne les pertes en puissance actives minimales.

La méthode de poids normalisé, nous permet de déterminer le jeu de barre candidat pour l'emplacement de GED par la minimisation d'une fonction qui rassemble les deux critères précédents par des poids:

$$f(j) = w_1 \frac{Pertes_j}{Pertes_{MAX}} + w_2 \frac{VSI_j}{VSI_{MAX}} \quad (4.2)$$

Où :

- sont les poids de la fonction à minimisé f (on choisi $w_1=w_2=0.5$ les deux critères ont la même importance)

- **Pertes_j** pertes actives si le GED est connecté au JDBj

- **Pertes_{MAX}** la valeur maximale de toutes les pertes

$$Pertes_{MAX} = \max(Pertes_j) \text{ pour } j = 0.1 \dots (n - 1) \quad (4.3)$$

- **VSI_j** est la valeur VSI si le GED est connecté au JDBj

La valeur maximale de tous les VSI :

$$VSI_{MAX} = \max(VSI_j) \text{ pour } j = 0.1 \dots (n - 1) \quad (4.4)$$

IV.6. Résultats et simulation de réseau tests :

IV.6.1. Réseau de distributions de 33 jeux de barre :

La fig.(4.1) suivante représenté un réseau de distribution de 33 JDB. Les paramètres et le schéma complet de ce réseau sont donnés dans l'annexe.

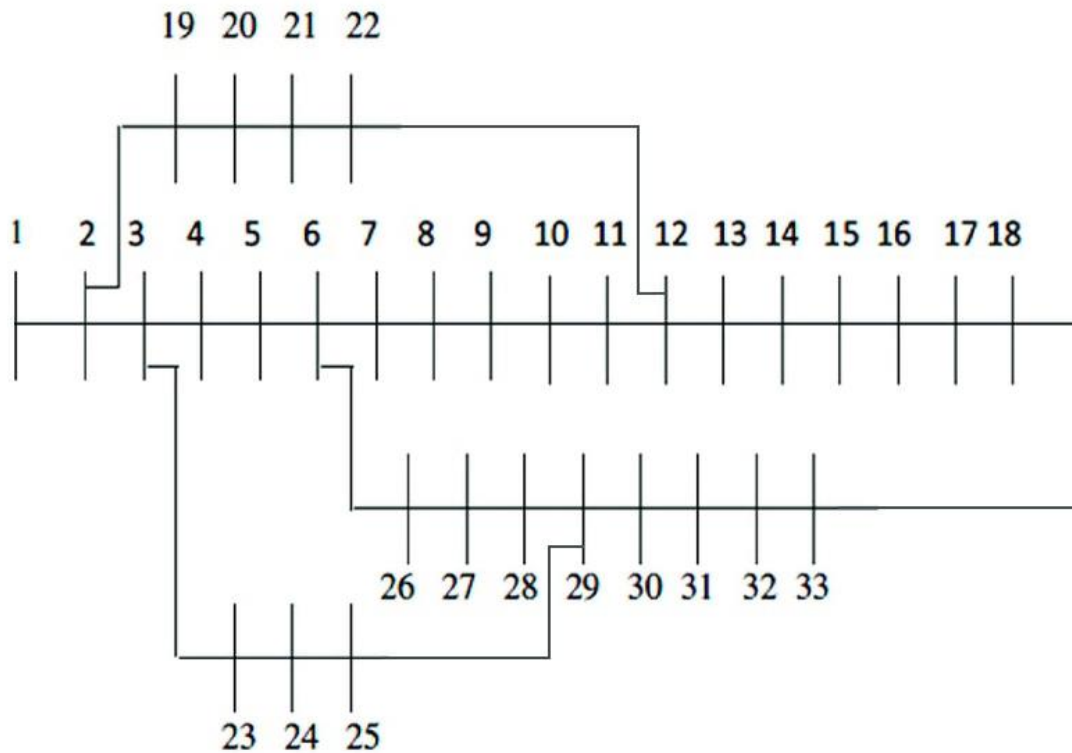


Figure (IV.1) Réseau IEEE 33 JDB.

Après la simulation par **PSAT**, on a obtenu les résultats suivants :

Le tableau (4.1) ci-après illustre les valeurs des tensions et puissance actives et réactives du les générateur et charge et ainsi que pour tout les différents jeux de barre du réseau de 33 JDB.

BUS	V [kV]	phase [rad]	P Générée [MW]	Q Générée [MVar]	P load [MW]	Q load [MVar]
Bus 01	33	0	3,8196	1,8747	0	0
Bus 02	12,6252	-0,00004	0	0	0,1	0,06
Bus 03	12,4971	-0,00058	0	0	0,09	0,04
Bus 04	12,4532	-0,00085	0	0	0,12	0,08
Bus 05	12,4125	-0,00118	0	0	0,06	0,03
Bus 06	12,3207	-0,00388	0	0	0,06	0,02
Bus 07	12,3074	-0,0055	0	0	0,2	0,1
Bus 08	12,293	-0,00571	0	0	0,2	0,1
Bus 09	12,2533	-0,00648	0	0	0,06	0,02

Bus 10	12,2476	-0,00682	0	0	0,06	0,02
Bus 11	12,2476	-0,00685	0	0	0,045	0,03
Bus 12	12,2493	-0,00694	0	0	0,06	0,035
Bus 13	12,2095	-0,00737	0	0	0,06	0,035
Bus 14	12,1964	-0,00781	0	0	0,12	0,08
Bus 15	12,1934	-0,00789	0	0	0,06	0,01
Bus 16	12,1737	-0,00801	0	0	0,06	0,02
Bus 17	12,1399	-0,00885	0	0	0,06	0,02
Bus 18	12,1293	-0,00876	0	0	0,09	0,04
Bus 19	12,6042	-0,00042	0	0	0,09	0,04
Bus 20	12,4298	-0,00303	0	0	0,09	0,04
Bus 21	12,3819	-0,00424	0	0	0,09	0,04
Bus 22	12,3381	-0,00558	0	0	0,09	0,04
Bus 23	12,4338	-0,00139	0	0	0,09	0,05
Bus 24	12,3126	-0,00374	0	0	0,42	0,2
Bus 25	12,2338	-0,00534	0	0	0,42	0,2
Bus 26	12,3098	-0,00393	0	0	0,06	0,025
Bus 27	12,2961	-0,00399	0	0	0,06	0,025
Bus 28	12,2454	-0,00527	0	0	0,06	0,02
Bus 29	12,2121	-0,00606	0	0	0,12	0,07
Bus 30	12,1812	-0,00625	0	0	0,2	0,1
Bus 31	12,1362	-0,00792	0	0	0,15	0,07
Bus 32	12,1271	-0,00838	0	0	0,21	0,1
Bus 33	12,1265	-0,0086	0	0	0,06	0,04

Tableau (IV.1) : Les tensions et les puissances actives et réactives dans les 33 JDB.

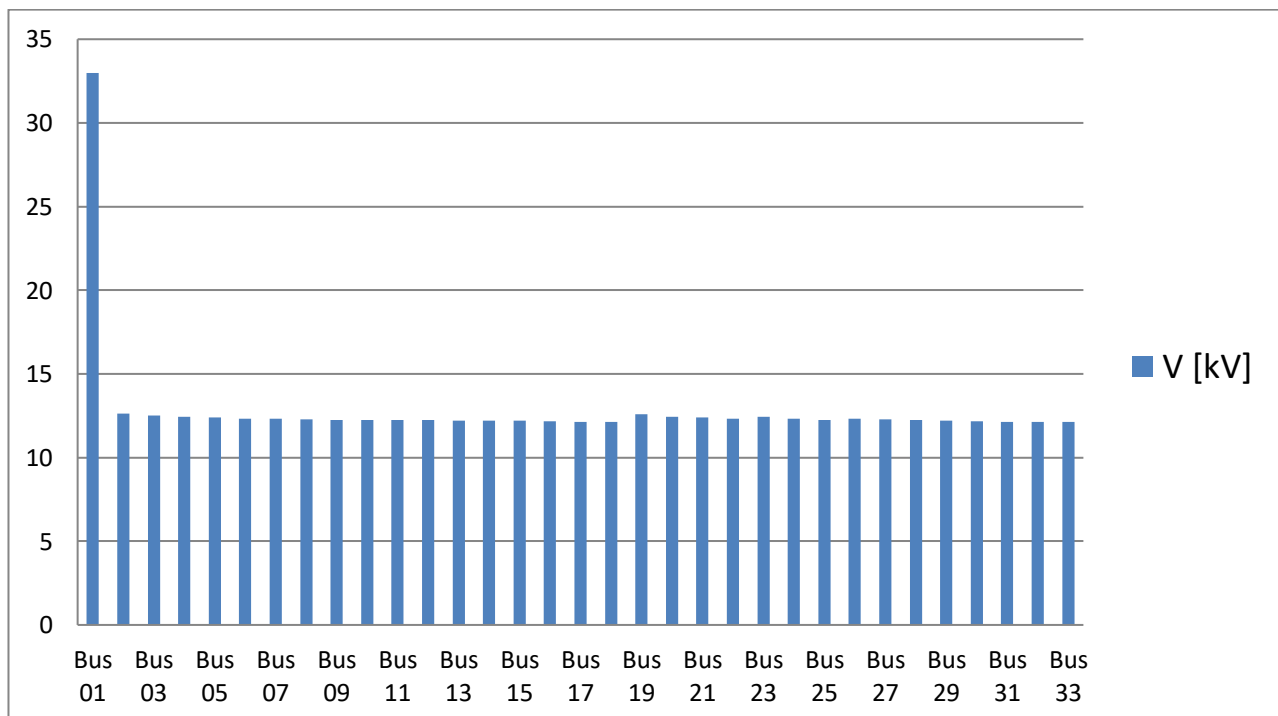


Figure (IV.2) Les Tension dans le réseau 33 JB [kV].

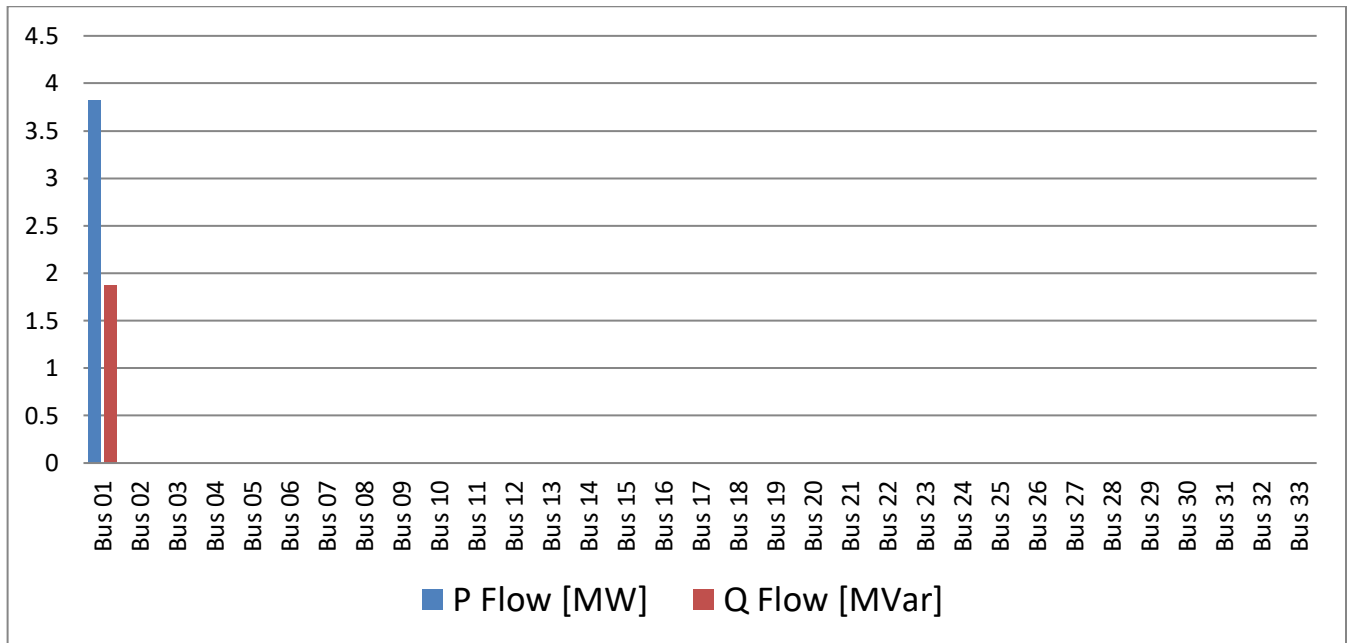


Figure (IV.3) les puissances actives et réactives du les générateurs dans les 33 nœuds.

Le tableau (4.2) ci-après illustre les valeurs des puissances actives et réactives et les pertes actives et réactives dans les lignes.

From Bus	To Bus	Line	P transité [MW]	Q transité [MVar]	P Loss [MW]	Q Loss [MVar]
Bus02	Bus03	1	2,676	1,1914	0,02654	0,01352
Bus07	Bus08	2	0,23698	0,03329	0,00027	0,00009
Bus08	Bus09	3	0,36555	0,15053	0,00107	0,00077
Bus09	Bus10	4	0,06783	-0,00096	0,00003	0,00002
Bus10	Bus11	5	0,0078	-0,02099	0	0
Bus13	Bus14	6	0,16564	0,09874	0,00014	0,00018
Bus12	Bus13	7	0,22632	0,13427	0,00068	0,00053
Bus17	Bus18	8	0,10049	0,09759	0,0001	0,00008
Bus14	Bus15	9	0,04551	0,01856	0,00001	0,00001
Bus16	Bus17	10	0,16084	0,11806	0,00035	0,00046
Bus20	Bus21	11	0,8402	0,52621	0,00261	0,00304
Bus21	Bus22	12	0,41669	0,26379	0,00112	0,00149
Bus15	Bus16	13	0,22118	0,1383	0,00034	0,00025
Bus19	Bus20	14	0,94175	0,57662	0,01155	0,0104
Bus33	Bus18	15	-0,01038	-0,05751	0,00001	0,00001
Bus02	Bus19	16	1,0332	0,61804	0,00149	0,00142
Bus24	Bus25	17	0,79793	0,36159	0,00454	0,00358
Bus25	Bus29	18	0,37339	0,15801	0,00055	0,00055
Bus23	Bus24	19	1,2286	0,57	0,01066	0,00841
Bus27	Bus28	20	0,42205	0,1893	0,0015	0,00132
Bus28	Bus29	21	0,36055	0,16798	0,00085	0,00074

Bus03	Bus04	22	1,2346	0,51363	0,00419	0,00213
Bus26	Bus27	23	0,48257	0,21457	0,00052	0,00027
Bus31	Bus32	24	0,25978	0,08269	0,00016	0,00018
Bus32	Bus33	25	0,04962	-0,0175	0,00001	0,00001
Bus30	Bus31	26	0,41105	0,15394	0,00127	0,00125
Bus29	Bus30	27	0,61254	0,2547	0,0015	0,00076
Bus23	Bus03	28	-1,3186	-0,62	0,0062	0,00423
Bus21	Bus08	29	0,3309	0,21938	0,00206	0,00206
Bus22	Bus12	30	0,32557	0,2223	0,00204	0,00204
Bus26	Bus06	31	-0,54257	-0,23957	0,00047	0,00024
Bus04	Bus05	32	1,1104	0,4315	0,00349	0,00178
Bus05	Bus06	33	1,047	0,39972	0,00668	0,00576
Bus09	Bus15	34	0,23666	0,13073	0,00097	0,00097
Bus11	Bus12	35	-0,0372	-0,05099	0,00001	0
Bus06	Bus07	36	0,43724	0,13415	0,00026	0,00085
Bus01	Bus02	37	3,8196	1,8747	0,01041	0,0053

Tableau (IV.2) Les puissances transités et les pertes actives et réactives dans les lignes.

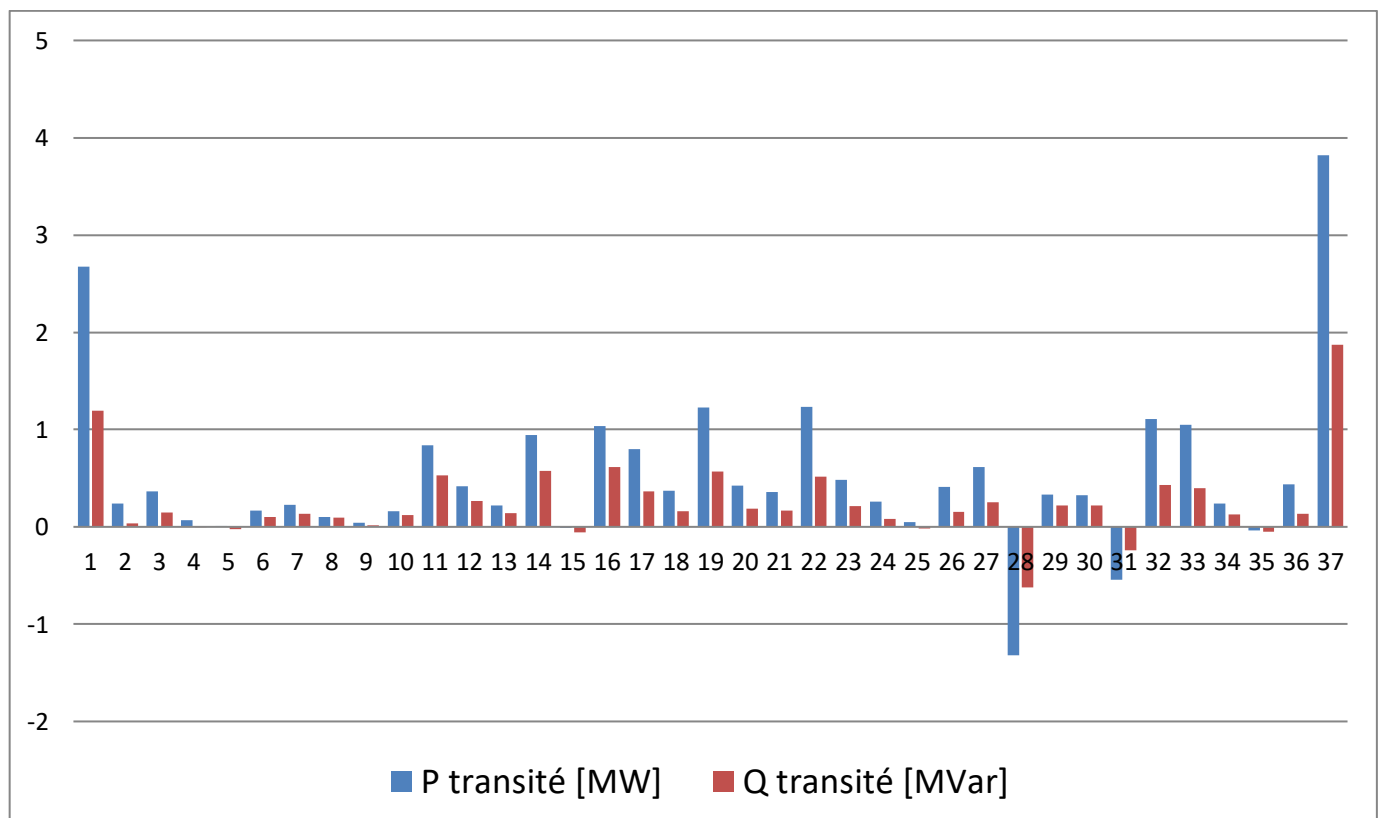


Figure (IV.4) les puissances actives et réactives transité dans les lignes.

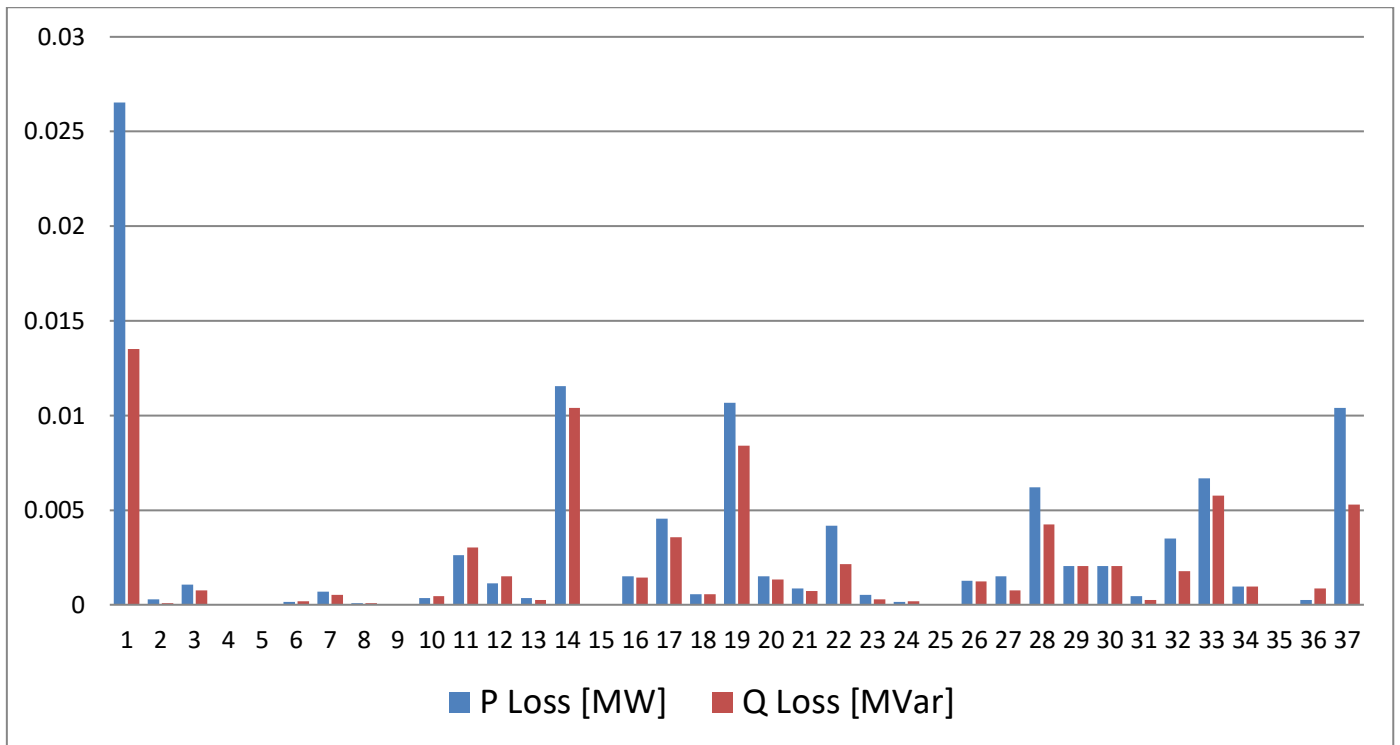


Figure (IV.5) les pertes actives et réactives dans les lignes.

IV.6.2. Réseau de distributions de 33 jeux de barre avec l'insertion de l'éolienne :

La figure 4.6 représente d'index de stabilité de chaque jeu de barre du réseau on constate que le JDB le plus sensible du système est le JDB 18.

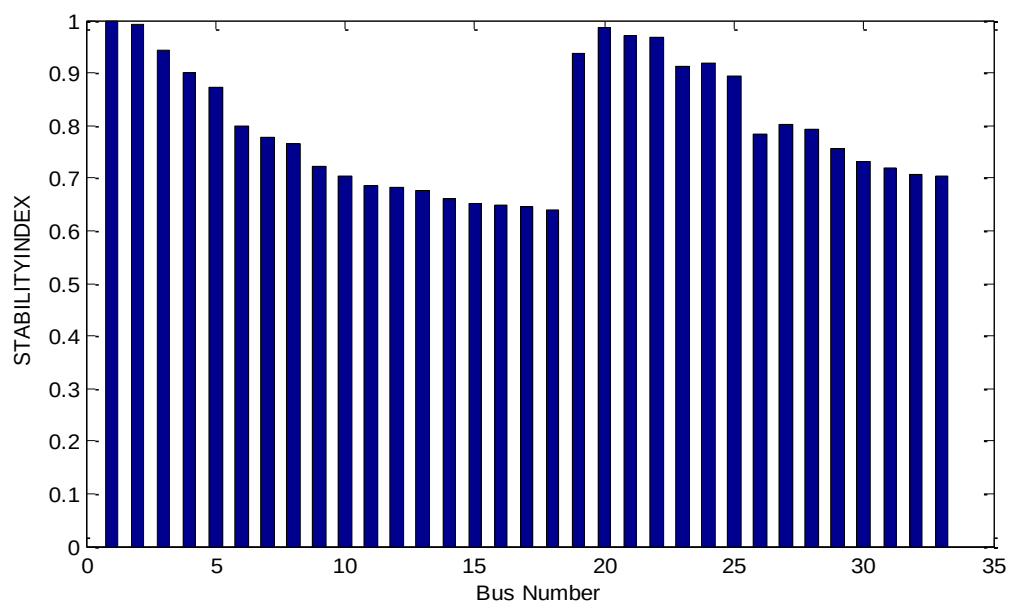


Figure (IV.6) Indice d'index de sensibilité.

Donc on a intérêt de placer une ferme éoliennes dans le JDB 18 avec les paramètres suivant $S = 2$ MVA, Vitesse du vent = 17 m/s, et ferme de 10 éoliennes :

La fig. (4.7), représenté un réseau de distribution de 33 JDB avec l'insertion de l'éolienne, Les paramètres et le schéma complet de ce réseau sont donnés dans l'annexe:

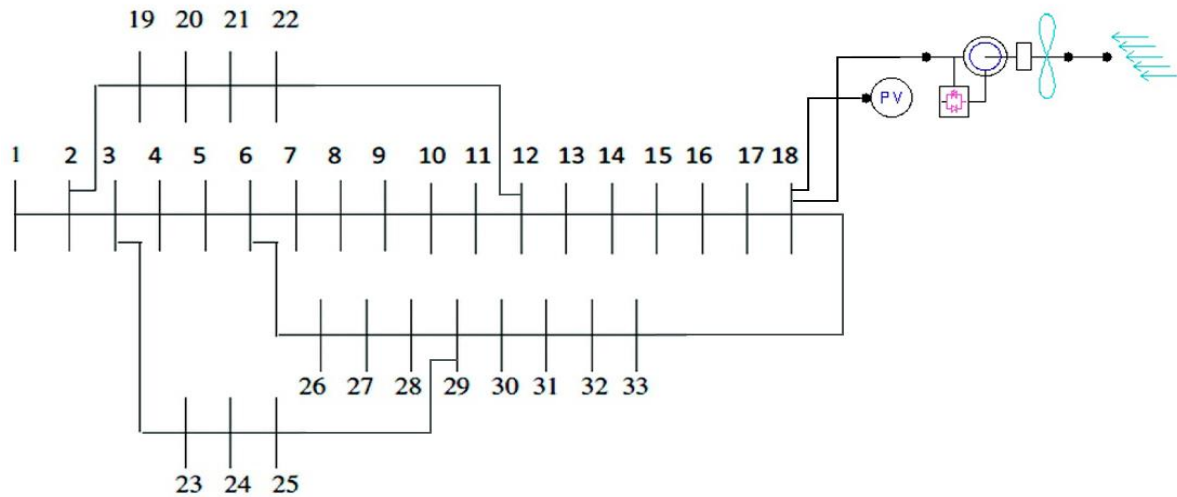


Figure (IV.7) Réseau IEEE 33 JDB avec l'éolienne.

Après la simulation, on a obtenu les résultats suivants :

Le tableau (4.3) ci-après illustre les valeurs des tensions et puissance actives et réactives du les générateur et les charge et ainsi que pour tout les différents jeux de barre du réseau de 33 JDB.

BUS	V [kV]	phase [rad]	P Générée [MW]	Q Générée [MVar]	P load [MW]	Q load [MVar]
Bus 01	33	0	2,1551	1,1195	0	0
Bus 02	12,6402	0,00001	0	0	0,1	0,06
Bus 03	12,5684	-0,00012	0	0	0,09	0,04
Bus 04	12,5446	-0,00018	0	0	0,12	0,08
Bus 05	12,5248	-0,0003	0	0	0,06	0,03
Bus 06	12,4825	-0,00142	0	0	0,06	0,02
Bus 07	12,4752	-0,0022	0	0	0,2	0,1
Bus 08	12,4745	-0,00231	0	0	0,2	0,1
Bus 09	12,4781	-0,00218	0	0	0,06	0,02
Bus 10	12,4739	-0,00225	0	0	0,06	0,02
Bus 11	12,4742	-0,00225	0	0	0,045	0,03
Bus 12	12,4766	-0,00227	0	0	0,06	0,035
Bus 13	12,4836	-0,0018	0	0	0,06	0,035
Bus 14	12,4908	-0,00136	0	0	0,12	0,08
Bus 15	12,507	-0,00098	0	0	0,06	0,01
Bus 16	12,5405	-0,00025	0	0	0,06	0,02
Bus 17	12,6178	0,00365	0	0	0,06	0,02
Bus 18	12,66	0,00471	1,6	0,71354	0,09	0,04
Bus 19	12,6284	-0,00019	0	0	0,09	0,04

Bus 20	12,5381	-0,00141	0	0	0,09	0,04
Bus 21	12,5154	-0,00191	0	0	0,09	0,04
Bus 22	12,4983	-0,00234	0	0	0,09	0,04
Bus 23	12,5336	-0,0005	0	0	0,09	0,05
Bus 24	12,4711	-0,00159	0	0	0,42	0,2
Bus 25	12,4502	-0,00192	0	0	0,42	0,2
Bus 26	12,4786	-0,00143	0	0	0,06	0,025
Bus 27	12,4747	-0,00143	0	0	0,06	0,025
Bus 28	12,4649	-0,00159	0	0	0,06	0,02
Bus 29	12,4625	-0,00154	0	0	0,12	0,07
Bus 30	12,4784	-0,00147	0	0	0,2	0,1
Bus 31	12,5374	0,00021	0	0	0,15	0,07
Bus 32	12,563	0,00113	0	0	0,21	0,1
Bus 33	12,6044	0,00319	0	0	0,06	0,04

Tableau (IV.3) : Les tensions et les puissances actives et réactives dans le réseau à 33 JDB avec insertion l'éolienne.

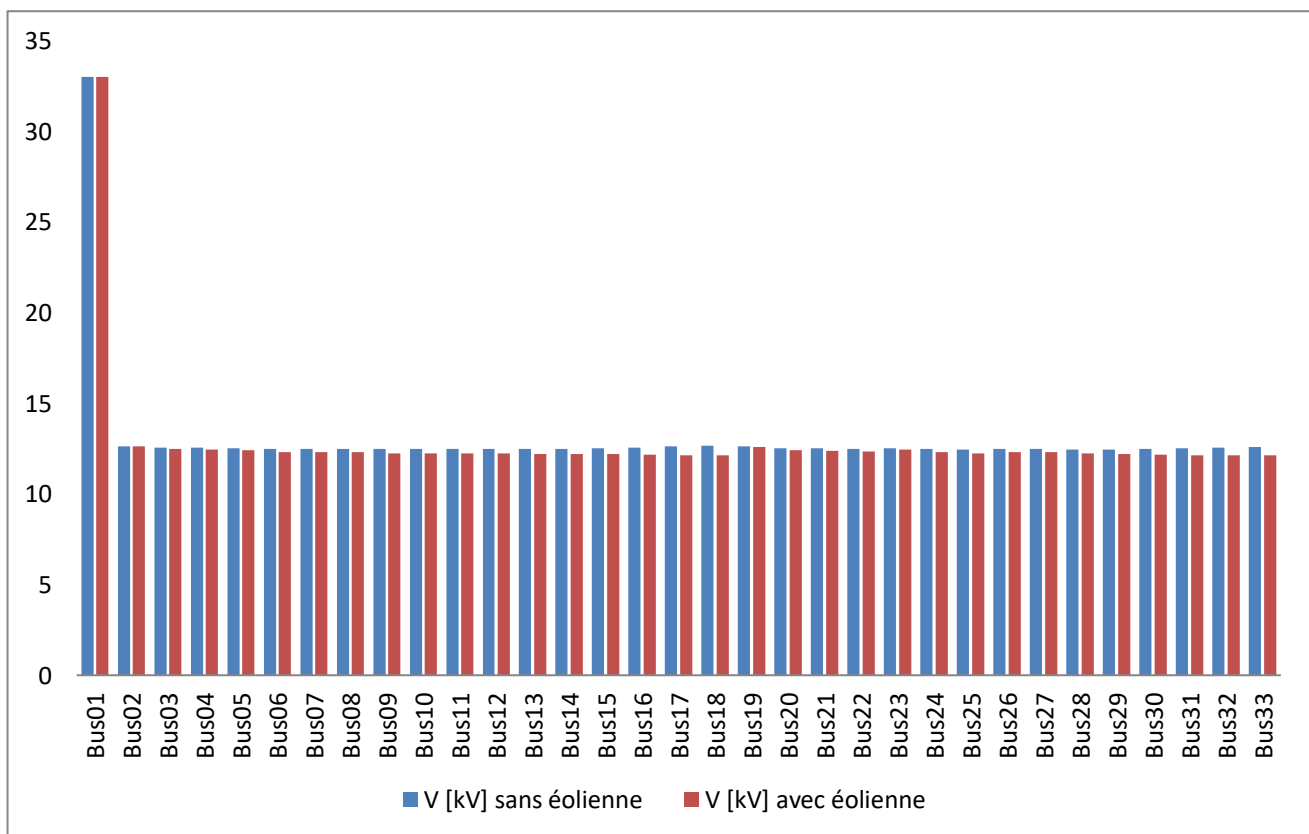


Figure (IV.8) les Tension dans les 33 nœuds sans et avec l'injection l'éolienne.

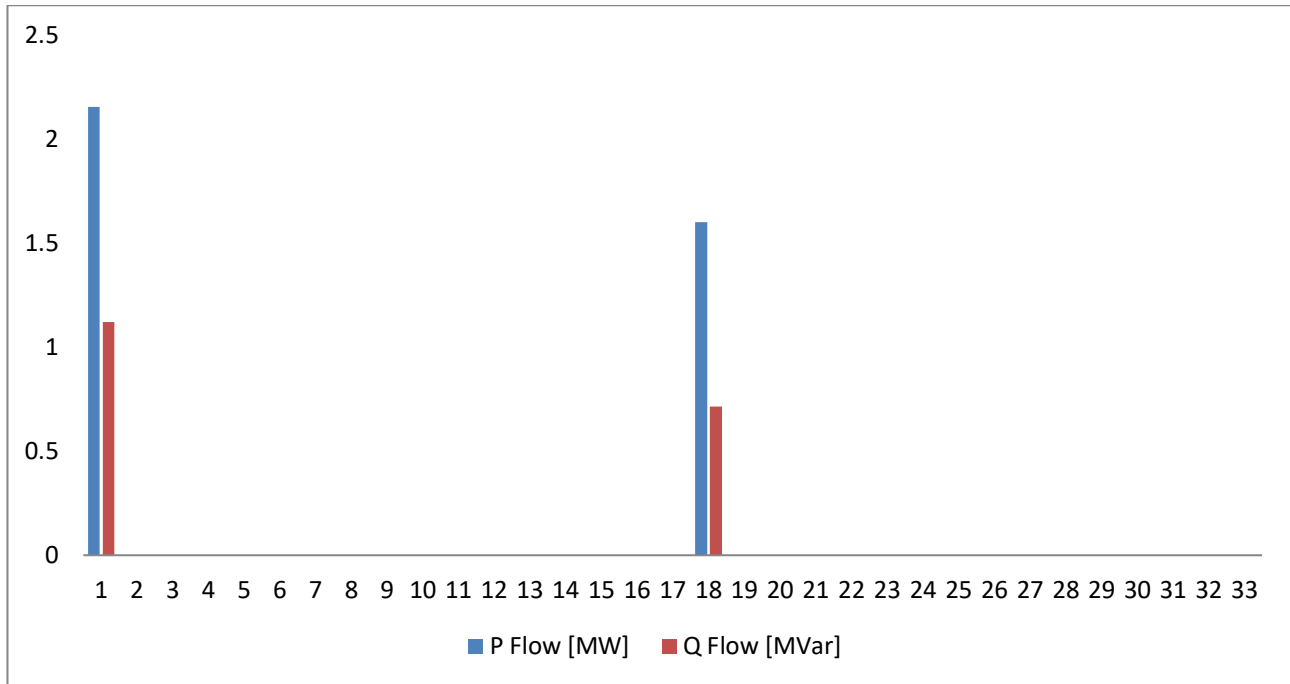


Figure (IV.9) les puissances actives et réactives du générateur dans le réseau à 33 nœuds avec l'injection l'éolienne.

Le tableau (4.4) ci-après illustre les valeurs des puissances actives et réactives et les pertes actives et réactives dans les lignes avec l'injection l'éolienne.

From Bus	To Bus	Line	P transité [MW]	Q transité [MVar]	P Loss [MW]	Q Loss [MVar]
Bus02	Bus03	1	1,4789	0,71098	0,00831	0,00423
Bus07	Bus08	2	0,01882	-0,01887	0	0
Bus08	Bus09	3	-0,0382	-0,00709	0,00001	0,00001
Bus09	Bus10	4	0,03869	0,01635	0,00001	0,00001
Bus10	Bus11	5	-0,02132	-0,00366	0	0
Bus13	Bus14	6	-0,12135	-0,03335	0,00006	0,00007
Bus12	Bus13	7	-0,06131	0,00168	0,00004	0,00003
Bus17	Bus18	8	-0,56223	-0,21127	0,00166	0,0013
Bus14	Bus15	9	-0,2414	-0,11342	0,00027	0,00024
Bus16	Bus17	10	-0,49989	-0,18814	0,00234	0,00312
Bus20	Bus21	11	0,38928	0,26355	0,00058	0,00067
Bus21	Bus22	12	0,1553	0,11068	0,00016	0,00022
Bus15	Bus16	13	-0,43884	-0,16738	0,00105	0,00077
Bus19	Bus20	14	0,48236	0,30632	0,00308	0,00278
Bus33	Bus18	15	-0,94265	-0,45751	0,00346	0,00346
Bus02	Bus19	16	0,57282	0,34676	0,00046	0,00044
Bus24	Bus25	17	0,20723	0,10581	0,00031	0,00025
Bus25	Bus29	18	-0,21308	-0,09443	0,00018	0,00018
Bus23	Bus24	19	0,63004	0,30803	0,00281	0,00222
Bus27	Bus28	20	0,07622	0,0438	0,00005	0,00005

Bus28	Bus29	21	0,01617	0,02375	0	0
Bus03	Bus04	22	0,65865	0,30744	0,00122	0,00062
Bus26	Bus27	23	0,13626	0,06882	0,00004	0,00002
Bus31	Bus32	24	-0,66953	-0,31308	0,00108	0,00126
Bus32	Bus33	25	-0,88061	-0,41433	0,00205	0,00318
Bus30	Bus31	26	-0,51749	-0,24106	0,00204	0,00202
Bus29	Bus30	27	-0,3171	-0,14086	0,00039	0,0002
Bus23	Bus03	28	-0,72004	-0,35803	0,00186	0,00127
Bus21	Bus08	29	0,1434	0,1122	0,00042	0,00042
Bus22	Bus12	30	0,06514	0,07046	0,00012	0,00012
Bus26	Bus06	31	-0,19626	-0,09382	0,00006	0,00003
Bus04	Bus05	32	0,53743	0,22682	0,00082	0,00042
Bus05	Bus06	33	0,4766	0,1964	0,00139	0,0012
Bus09	Bus15	34	-0,1369	-0,04345	0,00027	0,00027
Bus11	Bus12	35	-0,06632	-0,03366	0,00001	0
Bus06	Bus07	36	0,21889	0,08135	0,00007	0,00022
Bus01	Bus02	37	2,1551	1,1195	0,00339	0,00173

Tableau (IV.2) Les puissances et les pertes actives et réactives dans les lignes avec l'injection l'éolienne.

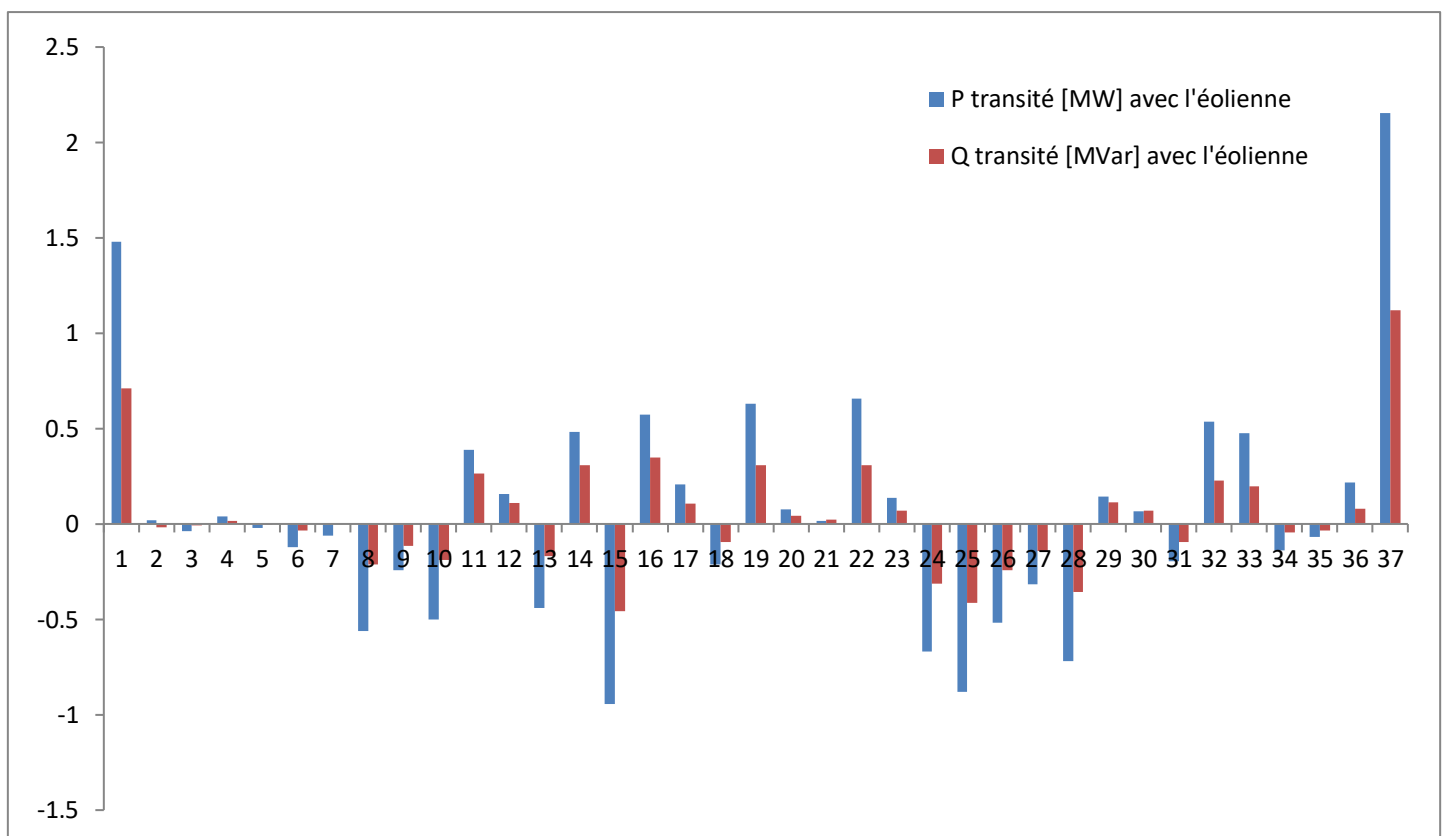


Figure (IV.10) les puissances actives et réactives transité dans les lignes avec l'injection de l'éolienne.

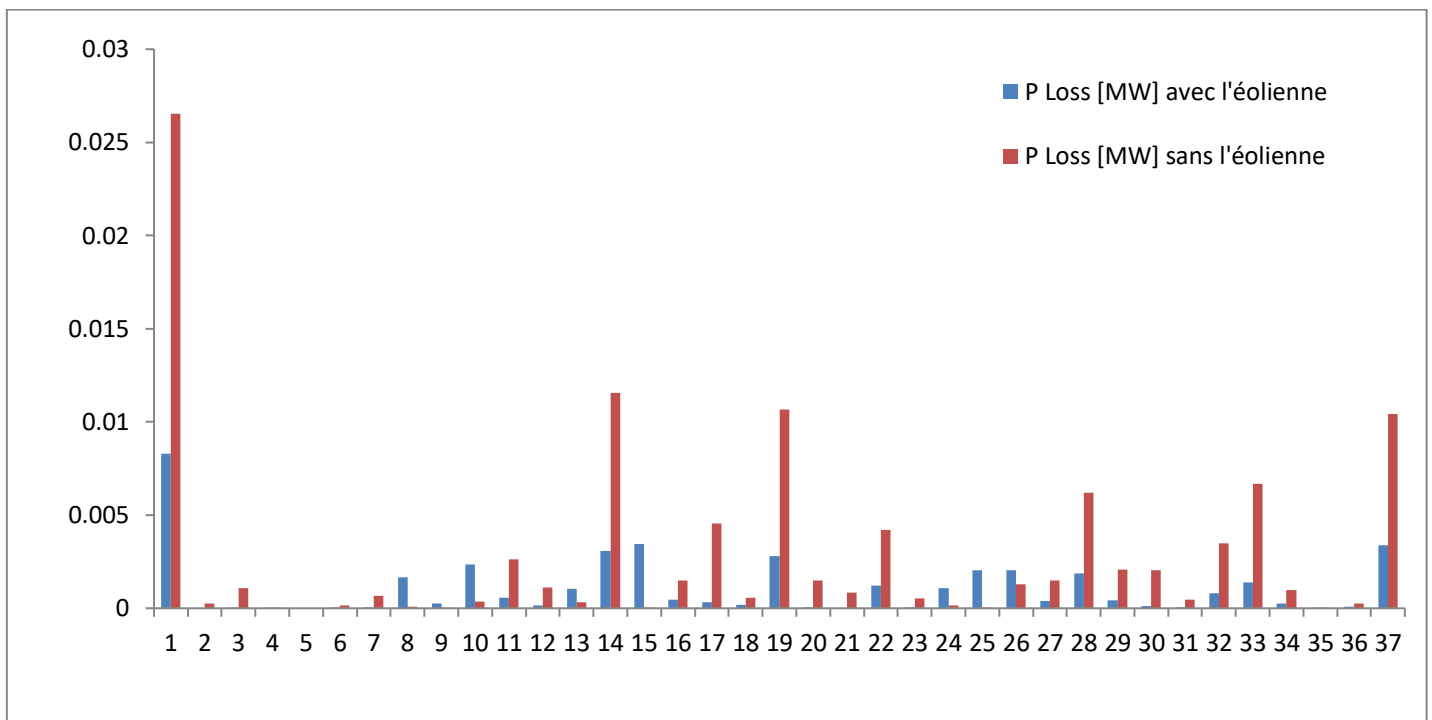


Figure (IV.11) les pertes actives dans les lignes avec et sans l'injection de l'éolienne.

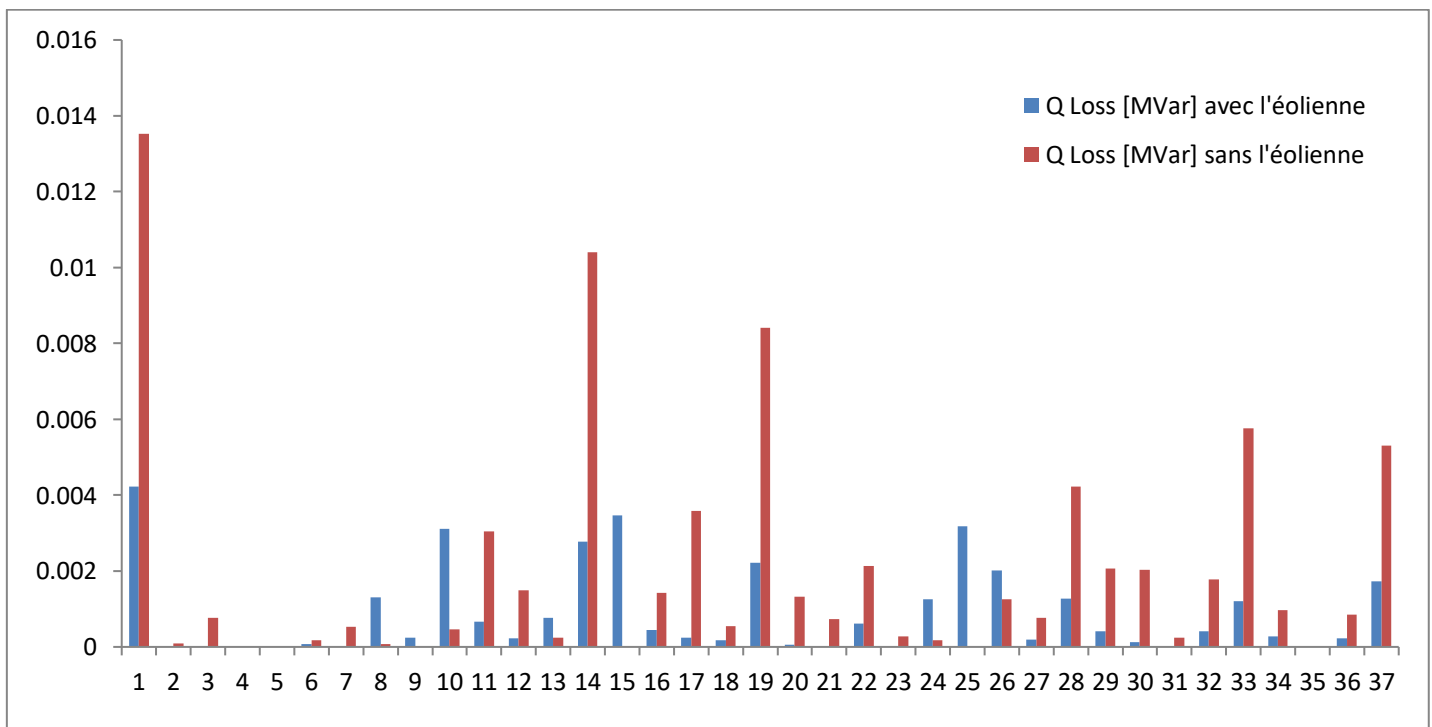


Figure (IV.12) les pertes réactives dans les 37 lignes avec et sans l'injection de l'éolienne.

IV.6.3. Interprétation des Résultats pour le réseau test de 33 JDB avec l'injection de l'éolienne:

- D'après l'analyse des résultats obtenus dans le tableau (4.1), (4.3) représenté par les figures (4.2), (4.8) on peut remarque qu'en absence et en présence l'éolienne, les tensions dans les nœuds en limite admissible.
- par comparaison entre les tableaux (4.2) et (4.4) représenté par les figures (4.11) et (4.12) et les résultats donnés de les pertes total dans le réseau, que représenté par:

	Sans éolienne	Avec éolienne	Réduction (%)
Pertes Active (MW)	0.1046	0.04007	38
Pertes réactive (MVAR)	0.74373	0.3301	44

On remarque qu'il ya une diminution des pertes active d'ordre de 38% et 44% pour les pertes réactives.

IV.7. Conclusion:

Ce chapitre est divisé en deux parties essentielles. La première consiste à évaluer les différentes grandeurs caractérisant le réseau de distribution radial à 33 JDB (Tensions, puissances et pertes) dans son état initial.

En deuxième partie, nous avons inséré un générateur éolien d'après l'utilisation de La méthode de l'index "VSI" qui permet de déterminé le JDB le moins sensible en tension où on peut raccorder le éolienne.

Nous pouvons conclure que :

- insertion de l'éolienne améliore le profil de tension et diminue les pertes de puissance active et réactive.

On peut conclure que l'emplacement meilleur de l'éolienne se trouve généralement au voisinage des JDB terminaux pour améliorer le profile de tension et diminue les pertes actives par rapport au calcul de base.

Conclusion générale

La demande en électricité continue à augmenter à un taux élevé, ce qui pose de nombreux défis, et à cette fin, plusieurs techniques ont été mis au point, la première solution est de réaliser un réseau de transport qui va relier l'ensemble des centrales de production afin de répartir la charge demandée. Mais cela n'a pas suffi à cause de l'apparition de nouvelles extensions et l'augmentation exponentielle de la consommation de l'énergie électrique. Pour compenser ce manque, on a introduit dans le réseau de nouvelles sources d'énergie moins puissantes que les premières, appelées sources de production décentralisée n'est-ce pas une chose nouvelle, mais elle n'est plus uniquement limitée à fournir de l'énergie dans les zones difficiles d'accès, elle permet de répondre à des besoins très divers, et couvre à ce titre une large plage de puissances. Cependant, et malgré leur apport positif, quelques unes de ces énergies renouvelables ont une influence négative sur les paramètres du réseau électrique, notamment la tension.

Notre travail s'est porté sur l'influence de l'insertion de production décentralisée "éolienne" dans le réseau de distribution, ainsi que la solution adoptée afin d'améliorer la qualité de cette insertion, y compris une énergie améliorée dans le réseau. Afin d'arriver à cet objectif, nous avons partagé notre mémoire en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, on a fait une étude générale sur les réseaux électriques, nous avons présenté dans cette étude les différents types, structures et topologies des réseaux électriques et leurs fonctionnements.

Dans le second chapitre, nous avons présenté une description générale des énergies renouvelables dites décentralisées. On donne des généralités sur un système éolien en mettant en exergue les types des éoliennes utilisées. Puis on cite les avantages et les inconvénients quant à l'exploitation de l'énergie éolienne.

Dans le troisième chapitre, nous avons défini l'intérêt du calcul de l'écoulement de puissance et sa contribution dans la planification, et nous avons abordé la modélisation du réseau électrique et l'écoulement de puissance. Par la suite nous avons dans ce chapitre, traité des méthodes dans le cadre de la résolution du problème de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radial.

Pour finaliser cette étude, nous avons consacré le dernier chapitre de ce mémoire pour concrétiser la partie théorique par une simulation sur PSAT en réseau distribution radial 33 JDB.

L'objectif principal de cette étude est de trouver le meilleur emplacement de l'éolienne dans un réseau de distribution.

Comme nous avons vu auparavant ; le choix du meilleur emplacement pour le éolienne se faite selon deux critères, à savoir, VSI ou minimisation de perte en puissance actives. Et nous avons combiné entre les deux critères cités au-dessus pour déterminer le meilleur emplacement.

On peut conclure que l'emplacement meilleur de l'éolienne ce trouve généralement au voisinage des JDB terminaux afin d'améliore le profile de tension et diminue les pertes actives

Finalement, on donne comme perspectives de faire ces calculs avec des programmes d'optimisation heuristique.

Bibliographie

- [1]. Zerguine Bilal. Thème modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque. Université badji mokhtar annaba faculté des sciences de l'ingénieur département d'électrotechnique.2010.
- [2].Des reseaux electriques a haute tension janvier 2014 (version finale)
- [3].C. Puret, « les réseaux de distribution publique MT dans le monde », Cahier Technique Merlin Gerin 155, septembre1991.
- [4].Benhasna Mekkia / Fahem Mama. Thème étude de l'écoulement de puissance sécuritaire d'un réseau de transport électrique. Université abdelhamid ibn badis de mostaganem, Faculté Electrotechnique.2018
- [5].Saadi Ferhat / Tenboukti Hanafi. Thème calcul de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution radial avec insertion d'un générateur éolien. Université A.MIRA de Bejaia, Département de Génie Electrique, Option Réseaux Electriques.2016
- [6]. BEN DERRADJI Selsabil.Thème calcul des protections d'un départ HTA (30 KV). Université kasdi merbah ouargla, faculté électrotechnique.2014
- [7].Egor Gladkikh. Thèse Doctorat Optimisation de l'architecture des réseaux de distribution de l'énergie électrique, Docteur de l'Université Grenoble Alpes, Spécialité Génie Electrique. 2006
- [8].Schneider Electric, « Les architectures de réseaux »
- [9].Sonelgaz, «Les niveaux de tension»
- [10].Bellaredj Amina / Gaouar Youcef. Thème Conception et simulation d'une ligne aérienne de transport électrique 220KV, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, Faculté Electrotechnique.2016
- [11].Mohamed Lakhdar Louazene. Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla, Université el hadj lakhdar - batna, 2008.
- [12].Douadi Tarek. Thème étude et commande d'un système éolien à base d'une génératrice asynchrone, Université De Batna, Département d'Electrotechnique, Année 2011.
- [13].Source REN21 -2017 EDF.
- [14].Gaagaa Aïssa. Thème Commande D'une Eolienne Par Backstepping Avec Action Intégrale, Université Larbi Ben M'hidi D'Oum El Bouaghi, Filière De Génie Electrique, Année 2012

- [15].Frédéric Poitiers. Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne-Machine asynchrone à cage autonome-Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau, Thèse de Doctorat Université de Nantes, 2003.
- [16].Source :M-A Guichard Observ' ER, <http://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/le-fonctionnement-d-une-eolienne>.
- [17].Fichier PDF, « Programme National des Energies Nouvelles et Renouvelables » publier sur le site de Ministère de l'énergie /www.energie.gov.dz.
- [18].Khaled Ferkous. Thème Étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, Département D'électrotechnique, Année 2009.
- [19].Laribi Hamza / Djabbour Abd Elhakem. Thème Etude d'intégration d'une production décentralisée dans un réseau de distribution électrique, Université Kasdi Merbah Ouargla, Département Electrotechnique, Année 2017.
- [20].Mr. Athmane BOUZIDI, Cours De Modélisation Et Simulation Des Réseaux Electriques, Département De Electrotechnique, Année 2015.
- [21].<https://www.scribd.com/doc/294669419/ch2-METHODE-D-ECOULEMENT-DE-PUISSANCE-DANS-LES-RESEAUX-DE-DISTRIBUTION>.
- [22].F.Palacios-Gomez, "Nonlinear optimization by successive linear programming", Management Science, Vol. 28, No. 10, p. 1106-1112,USA, Octobre 1982.
- [23].Ulas Eminoglu, M. Hakan Hocaoglu. « A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models ».Electric Power Systems Research 76 106–114. 2005.
- [24].Manuel A. Matos. «A new power flow method for radial networks ».
- [25].Smarajit Ghosh, Karma Sonam Sherpa. « An Efficient Method for Load Flow Solution of Radial Distribution Networks »2008. International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol: 2, No:9
- [26].Ritu Parasher. «Load flow analysis of radial distribution network using linear data structure » Department of Computer Science & Engineering, Yagyavalkya Institute of Technology, Jaipur Rajasthan Technical University, Kota.October, 2013.
- [27].Wissame Tebani / Abdellatif Hamouda. Thème Compensation optimale de l'énergie réactive dans les réseaux de distribution, Université Ferhat Abbas-Sétif, 2012.
- [28].<https://www.scribd.com/doc/294668823/ch1-METHODE-D-ECOULEMENT-DE-PUISSANCE-DANS-LES-RESEAUX-DE-DISTRIBUTION>.
- [29].Federico Milano, Manuel pour PSAT version 2.0.0, Année 2008.

[30].Rouagat Mohamed. Thème Analyse de réseau électrique algérien de transport d'électricité, Université Mohamed Khider Biskra, Département Génie Electrique, Année 2014.

Annexe.1

1-Les données du réseau 33 jeux de barres:

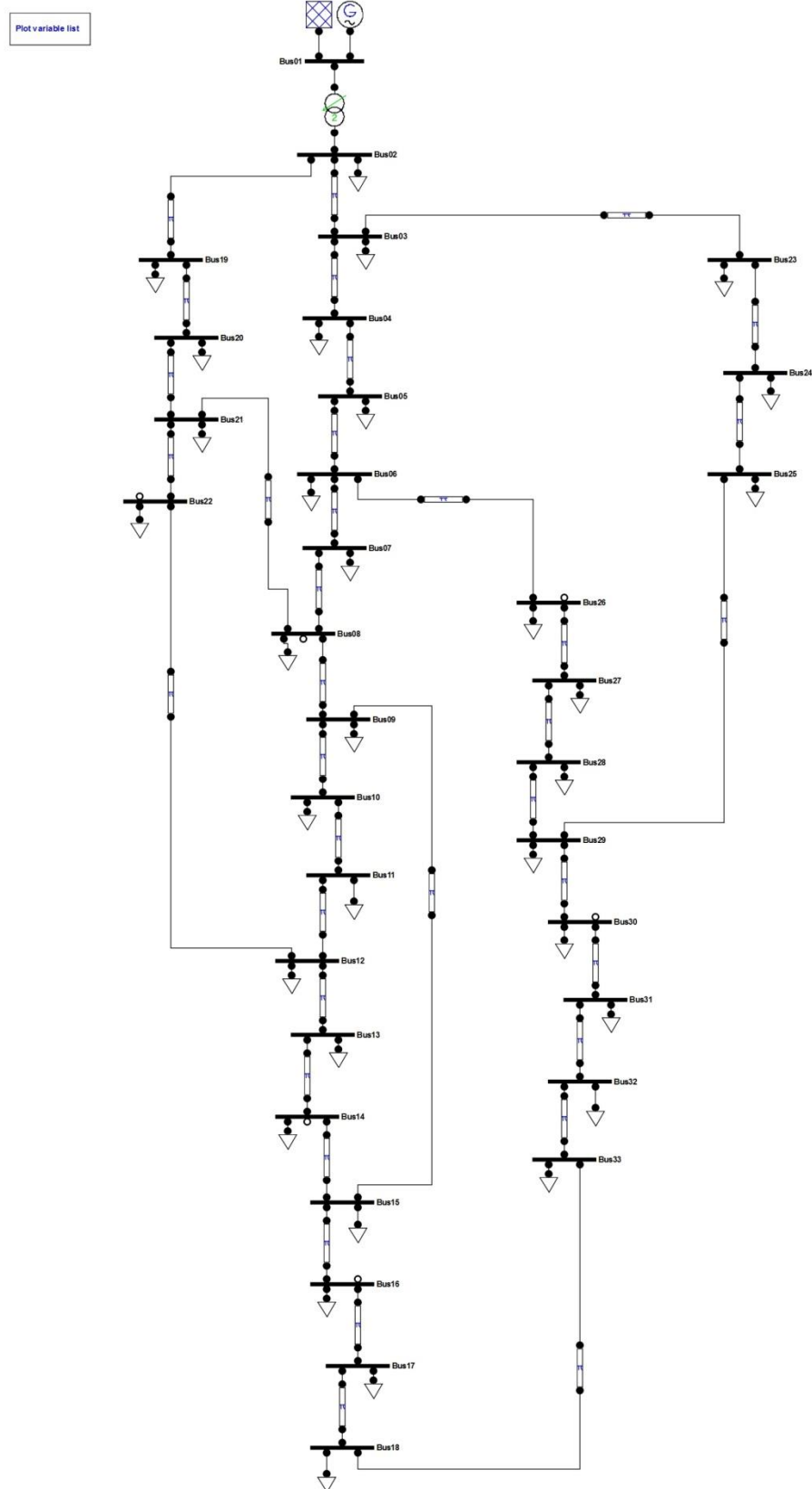
Les données du réseau de distribution radial à branche principale avec des ramifications contiennent 33 jeux de barres sont consignées dans le tableau.: La tension de base à " $U_b = 33/12.66 \text{ kV}$ ", la puissance de base est de " $S_b = 100 \text{ MVA}$ " et fréquence " $f = 50 \text{ Hz}$ ".

Branche N°.	Jeu de barres de départ	Jeu de barres d'arrivées	Résistance (Ω)	Réactance (X)
1	Bus02	Bus03	0.3076	0.1567
2	Bus07	Bus08	0.4439	0.1467
3	Bus08	Bus09	0.6426	0.4617
4	Bus09	Bus10	0.6514	0.4617
5	Bus10	Bus11	0.1227	0.0406
6	Bus13	Bus14	0.3379	0.4448
7	Bus12	Bus13	0.9159	0.7206
8	Bus17	Bus18	0.4567	0.3581
9	Bus14	Bus15	0.3687	0.3282
10	Bus16	Bus17	0.8042	1.0738
11	Bus20	Bus21	0.2555	0.2985
12	Bus21	Bus22	0.4423	0.5848
13	Bus15	Bus16	0.4656	0.34
14	Bus19	Bus20	0.9385	0.8457
15	Bus33	Bus18	0.312	0.312
16	Bus02	Bus19	0.1023	0.0976
17	Bus24	Bus25	0.559	0.4412
18	Bus25	Bus29	0.312	0.312
19	Bus23	Bus24	0.5603	0.4424
20	Bus27	Bus28	0.6607	0.5826
21	Bus28	Bus29	0.5018	0.4371
22	Bus03	Bus04	0.2284	0.1163
23	Bus26	Bus27	0.1773	0.0903
24	Bus31	Bus32	0.1937	0.2258
25	Bus32	Bus33	0.2128	0.3308
26	Bus30	Bus31	0.608	0.6008
27	Bus29	Bus30	0.3166	0.1613
28	Bus23	Bus03	0.2815	0.1924
29	Bus21	Bus08	1.2479	1.2479

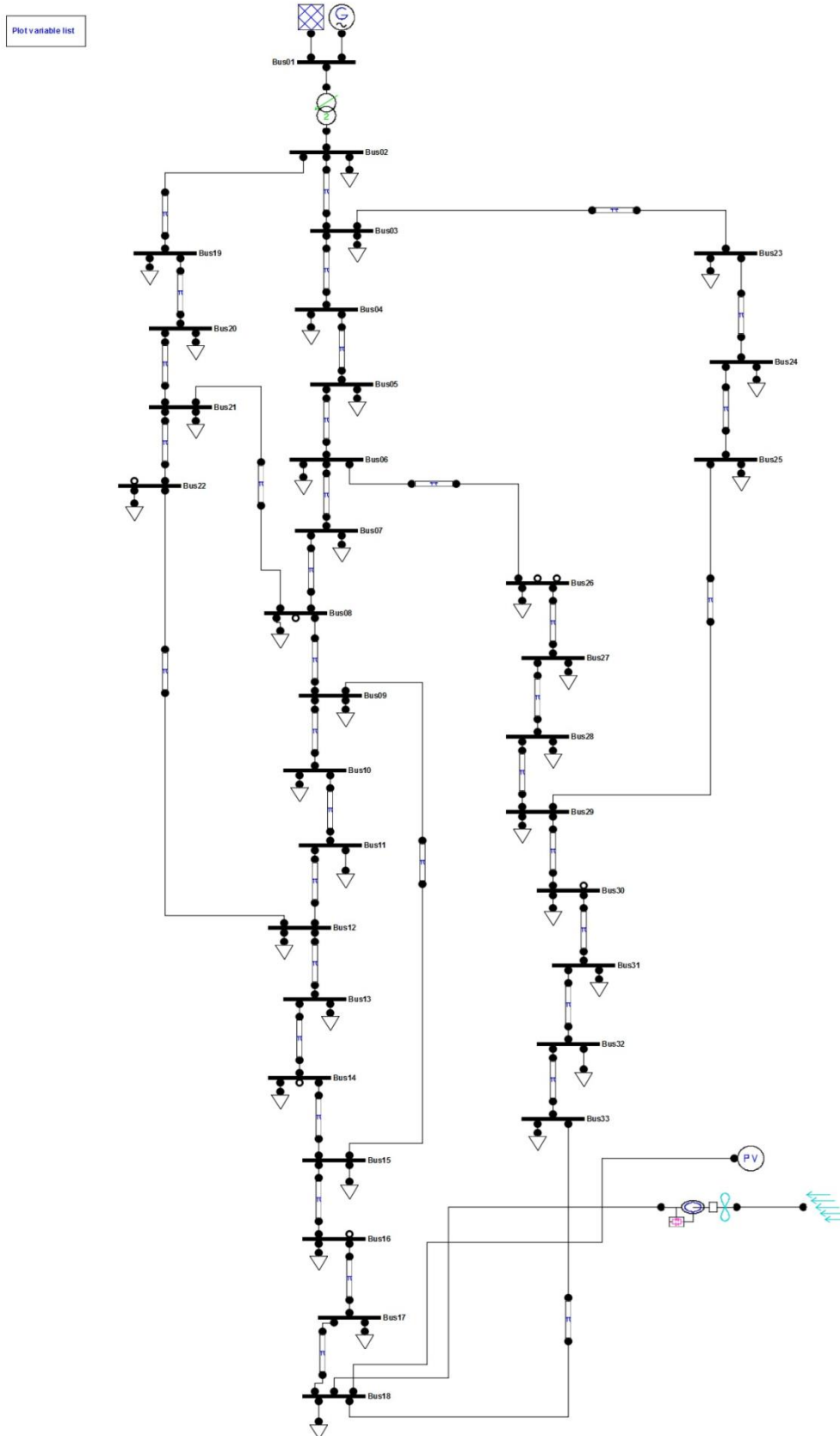
30	Bus22	Bus12	1.2479	1.2479
31	Bus26	Bus06	0.1267	0.0645
32	Bus04	Bus05	0.2378	0.1211
33	Bus05	Bus06	0.511	0.4411
34	Bus09	Bus15	1.2479	1.2479
35	Bus11	Bus12	0.2336	0.081
36	Bus06	Bus07	0.1168	0.3861
37	Bus01	Bus02	0.0575	0.0293

Tableau: Données de la ligne de 33 jeux de barres.

2-Réseau de distributions de 33 jeux de barre:



3- Réseau de distributions de 33 jeux de barre avec l'insertion de l'éolienne :



Annexe.2

L'organigramme permettant de former la matrice « m » expression de la configuration des lignes de ramification est le suivant :

