



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



Université Amar THELIDJI - Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Bounoua Sajeda.

Chettouhi Fatima Zohra.

DOMAINE : Sciences et Technologies.

FILIERE : électrotechnique.

OPTION : Réseaux électrique.

Thème

Gestion Intelligente de l'Énergie d'une Centrale Hybride

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Mr. Arif Salem	Professeur	Président
Mr. Oubbati Youcef	M.C.V	Examineur
Mme. Chetih Saliha	Professeur	Rapporteur
Mr. Terbeh Hocine	DR	Co-rapporteur

Saison: Juin 2022.

Remerciements

En premier lieu, nous prenons le droit de remercier notre Dieu bien-aimé, le Miséricordieux, pour notre inclusion parmi les constantes que nous avons reçues et pour nous avoir permis d'atteindre ce niveau de science et de technologie tout au long du programme d'études et lui demandons d'être le protecteur de notre pays dans le monde du travail en mettant l'accent sur la santé. Succès et bonheur dans la vie.

Comme nous présentons également nos sincères remerciements à tous ceux qui nous aidés à réaliser ce travail et qui sont, entre autre :

Notre encadreur **Mme CHETTIH Saliha** qui nous a été d'une grande utilité en me prodiguant ses conseils et tout son savoir dans la réalisation de notre mémoire. Nous le remercions également de m'avoir accordé assez de temps pour nous conseiller judicieusement sur la méthode dont nous avons besoin pour élaborer notre travail.

On adresse chaleureusement toute notre gratitude à notre co-encadreur **Mme BOUCHIBA Oumelkhier** et **Mr. TERBEH Hocine** pour son aide précieux.

Notre gratitude à nos professeurs scolaires et universitaires qui nous ont apportés leurs précieux conseils et qui nous ont orientés, assistés et aidés pour y arriver.

Enfin, on remercie toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail.

Sadjida et Fatima Zohra.

DEDICACES

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour vous exprimer
ma Profonde gratitude.*

*À Ma mère je te dédie ce modeste travail les fruits de tes longues
années de sacrifices, tu t'étais toujours investie et soucieuse de ma
réussite dans les études ainsi que mon bonheur, je t'exprime plus que
jamais mes profondes reconnaissances.*

*À Ma tante Khadra qui est la deuxième maman qui
m'encouragé à aller de l'avant et qui m'as donné tout son amour pour
repandre mes études.*

*À Mon père toi qui a fait de moi ce que je suis
maintenant tu t'es privé de tellement de choses afin de me satisfaire,
aucune dédicace ne saurait exprimer le respect que j'ai pour toi.*

À mes frères Chamssi, Fakhri.

*À Mon adorable frère docteur Saïfo qui es mon cadeau de ciel ces
quelques lignes, ne sauraient traduire le profond amour que je te porte
e trouve en toi le conseil du frère et le soutien de l'ami. Que ce travail
soit l'expression de mon estime pour toi et que Dieu te protège,
t'accorde santé, succès et plein de bonheur dans ta vie*

À mes anges, neveux et nièces : Jawad et Asif et Bahaa.

*À mon fiancé Mohamed celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue
tout au long de ce projet qui n'ont pas cessée de me conseiller,
encourager Que Dieu les protèges et offre la chance et le bonheur.*

*À toute ma famille et à mes meilleurs amis et surtout mon amie
proche Khaoula.*

Je dédie ce modeste travail.

Bounoua Sadjida.

DEDICACES

A ma grand-mère

C'est à la personne la plus idéale dans ce monde, que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières. Que Dieu vous préserve santé et longue vie.

A ma très chère mère aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement.

AMon père ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester, j'espère que vous y trouverez les fruits de votre semence et le témoignage de ma grande fierté de vous avoir comme père.

*Amon mari Abdou pour l'amour et l'affection qui nous unissent.
Je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve.
Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux, ton soutien m'a permis de réaliser le rêve tant attendu.*

A Mon Fils aucune dédicace, ne peut valoir pour exprimer toute ma tendresse et mon affection vis-à-vis de L'UI, mon fils car le fait de savoir qu'il est là me donner davantage le courage et la volonté de mener à bien mes travaux.

Ames chers frères nadhir abdelghani fattoum et mohamed à toute la grandefamille Ben Saadi.

A tous mes amis surtout à Sadjida.

Je dédie ce Modeste travail.

chettouhi Fatima Zohra.

Sommaire

Remerciements.	I
Dédicace.	III
Sommaire.	IV
Liste des figures.	VIII
Liste des tableaux.	X
Abréviation.	XI
Introduction Générale.	1
 Chapitre I: La production centralisé et décentralisée.	
I.1 Introduction.	3
I.2 Production centralisée (classique).	3
I.3 Caractéristiques de production décentralisée.	4
I.3.1 Energies non renouvelables.	4
I.3.1.1 Energies fossiles (gaz, charbon, pétrole).	4
I.3.2 Les énergies renouvelables.	4
I.3.2.1 L'hydraulique.	4
I.3.2.2 Le solaire.	5
I.3.2.3 La biomasse.	6
I.3.2.4 La géothermie.	6
I.3.2.5 Les énergies marines.	7
I.3.2.6 L'hydrogène.	7
I.4 L'énergie éolienne.	8
I.4.1 Types d'aérogénérateurs.	9
I.4.1.1 Eoliennes à axe vertical.	9
I.4.1.2 Eoliennes à axe horizontal.	9
I.4.2 Constitution d'une éolienne.	10
I.4.3 Principe de fonctionnement d'une éolienne.	11
I.4.4 Les avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.	12
I.5 L'énergie photovoltaïque.	12
I.5.1 Les différents types de système photovoltaïque.	13
I.5.2 Les composants d'un système photovoltaïque.	14
I.5.3 Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques.	15
I.6 Système hybride.	15
I.6.1 Définition.	15
I.6.2 Description d'une centrale hybride.	16

I.6.3 Principaux composantes du Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.	17
I.6.4 Dimensionnement de l'installation hybride.	17
I.6.5 Modélisation de système hybride.	18
I.7 Conclusion.	18
Chapitre II : écoulement de puissance dans le réseau de distribution.	
II.1 Introduction.	19
II.2 Réseau électrique.	19
I.2.1 Fonctionnement des différents types de réseaux électriques.	19
II.2.1.1 Production.	20
II.2.1.2 Réseaux de transport.	21
II.2.1.3 Réseaux de distribution.	21
II.2.1.4 Consommation.	22
II.2.2 Topologies des réseaux électriques.	22
II.2.2.1. Réseau électrique maillé.	23
II.2.2.2. Réseau électrique bouclé.	23
II.2.2.3. Réseau électrique radial.	23
II.3 Ecoulement de puissance dans les réseaux de distribution.	24
II.3.1 La technique du double balayage de la ligne BFS (Backward /Forward Sweep).	24
II.3.2. Eléments d'un réseau de distribution radial.	25
II.3.2.1.Types des jeux de barres.	25
II.3.2.2 .Identification des types des jeux de barres.	26
II.3.2.3. Types des lignes.	27
II.3.3 Ecoulement de puissance dans le réseau de distribution radial.	28
II.3.3.1 Puissance fournie au réseau.	28
II.3.3.2.Puissance et courant dans les branches.	29
II.3.3.3.Courants des branches.	30
II.3.3.4.Amplitude et angle de la tension.	32
II.3.3.5.Les pertes de puissance active et réactive.	33
II.4.Ecoulement de puissance optimal.	34
II.4.1. Fonction objectif.	34
II.4.2 Contraintes d'égalités.	35
II.4.3 Contraintes d'inégalités.	35
II.4.3.1 méthode d'optimisation.	37

II.4.3.1.1 Méta-heuristiques.	37
II.4.3.1.2 Algorithmes des méta-heuristiques les plus répondues.	37
II.5 Conclusion.	38
 Chapitre III : Application et étude des cas.	
III.1 Introduction.	39
III.2 Firefly algorithme (l'algorithme de luciole).	39
III.2.1 Formulation Mathématique de la méthode.	40
III.2.2 Algorithme de la méthode AL.	40
III.2.3 Application de l'AL pour la résolution du problème de l'OPF.	41
III.2.3.1 L'organigramme d'AL pour l'emplacement et dimensionnement optimal de système DG.	41
III.3 Illustration.	42
III.3.1 Donnée de réseau de distribution IEEE 33-nœuds.	42
III.3.2 Résultats des simulations.	43
III.3.2.1 Cas numéro 01 (sans DG).	43
III.3.2.2 Cas numéro 02 avec DG (PV).	45
III.3.2.3 Cas 03 : intégration d'un système hybride DG (PV/éolien).	48
III.4 Dimensionnement du système PV.	51
III.4.1. Présentation de logiciel de simulation PVSYST.	52
III.4.2. La conception du système.	52
III.4.3 Résultat de dimensionnement.	56
III.5. Dimensionnement du système éolien.	56
III.5.1. Etude du système éolien.	56
III.5.2 Détermination des paramètres de Weibull.	57
III.5.3.Résultats Du Dimensionnement.	58
III.6 Conclusion.	60
Conclusion Générale	61
Référence bibliographique	62
Annex	
Résumé	

Liste des figures

Chapitre I : La production centralisé et décentralisée.

Figure I.1 :	Les énergies renouvelables	4
Figure I.2 :	Schéma en coupe d'un barrage hydroélectrique	5
Figure I.3 :	Énergie solaire thermique	5
Figure I.4 :	Énergie Biomasse	6
Figure I.5 :	Conversion de l'énergie cinétique du vent	8
Figure I.6 :	Petites éoliennes à axe vertical	9
Figure I.7 :	Petite éolienne à axe horizontal	10
Figure I.8 :	Constitution d'une éolienne à axe horizontale	11
Figure I.9 :	Principe de la conversion photovoltaïque	13
Figure I.10 :	Architecture d'un système PV	14
Figure I.11 :	Schéma explicatif du fonctionnement d'une installation de panneaux solaires	14
Figure I.12 :	Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien	16
Figure I.13 :	Schéma physique de la chaîne de conversion d'énergie électrique hybride (photovoltaïque- éolienne)	17
Figure I.14 :	schéma d'une installation type d'un système hybride (PV-éolienne).	18

Chapitre II : écoulement de puissance dans le réseau de distribution.

Figure II.1 :	Architecture générale du réseau d'énergie électrique.	20
Figure II.2 :	Courbe de charge de la journée du 14 juin 2013.	22
Figure II.3 :	Différentes topologies des réseaux électriques : (a) Réseau maillé, (b). Réseau bouclé, (c).Réseau radial, (d). Réseau arborescent.	23
Figure II.4 :	Représentation des types des jeux de barres.	25
Figure II.5 :	Organigramme de l'identification du type de chaque jeu de barres.	27
Figure II.6 :	Structure d'un réseau de distribution radial.	27
Figure II.7 :	Représentation de deux jeux de barres dans le réseau de distribution radial.	29
Figure II.8 :	Les méthodes d'optimisations.	37

Chapitre III : Application et étude des cas.

Figure III.1 :	algorithme des lucioles.	41
Figure III.2 :	Représentation simplifiée du réseau de distribution IEEE33-bus.	43

Figure III.3 :	Tension à chaque jeu de barres du cas 01.	45
Figure III.4 :	Les Pertes de puissance active et réactive par chaque branche dans IEEE 33 nœuds sans DG	45
Figure III.5 :	Tension à chaque jeu de barres du cas 02.	47
Figure III.6 :	Les Pertes de puissance active et réactive : cas 02	48
Figure III.7 :	Tension à chaque jeu de barres du cas 03.	50
Figure III.8 :	Les Pertes de puissance active et réactive par chaque branche dans IEEE 33 nœuds avec présence de 2 DG (PV et SE.)	50
Figure III.9 :	emplacement optimal	51
Figure III.10 :	Désignation du projet dans PVSYST	52
Figure III.11 :	Configuration du système dans PVSYST	52
Figure III.12 :	schéma simplifié d'une centrale PV raccordée au réseau (PVSYST).	53
Figure III.13 :	Caractéristiques du module.	53
Figure III.14 :	(a) :Influence de l'irradiation sur les caractéristiques $I=f(V)$.	54
Figure III.15 :	Influence de la température sur les caractéristiques $P=f(V)$.	54
Figure III.16 :	Caractéristiques de l'onduleur choisi.	55
Figure III.17 :	Résultats de dimensionnement	56
Figure III.18 :	Distribution annuelle de Weibull.	59
Figure III.19 :	Courbes de puissance des éoliennes choisies.	60

Liste des tableaux

Chapitre III : Application et étude des cas.

Tableau III.1 :	les Paramètres de la méthode lucioles.	41
Tableau III.2 :	Les tensions et l'angle de phase pour chaque jeu de barre pour le cas N°01.	43
Tableau III.3 :	Pertes de puissances active et réactive pour le cas N°01.	44
Tableau III.4 :	Les tensions et l'angle de phase pour chaque jeu de barre pour le cas N°02.	46
Tableau III.5 :	Pertes de puissances active et réactive du cas 02.	46
Tableau III.6 :	Les tensions et l'angle de phase pour chaque jeu de barre pour le cas N°03.	48
Tableau III.7 :	Pertes de puissances active et réactive pour le cas N°03.	49
Tableau III.8 :	les paramètres du vent et le potentiel énergétique éolien de la région.	59
Tableau III.9 :	Données techniques des différentes éoliennes commerciales utilisées.	60
Tableau III.10 :	productions énergétiques et le facteur de capacité de chaque éolienne.	60

Abréviations

THT : Très Haute Tension.

HTB : Haute Tension catégorie **B**.

HTA/MT : Haute Tension catégorie **A** ou Moyenne Tension.

BTB : Basse Tension catégorie **B**.

BTA : Basse Tension catégorie **A**.

TBT : Très Basse Tension.

Un : Tension composée nominale.

EP : Ecoulement de Puissance.

GS : Gauss Seidel.

NR : Newton-Raphson.

FDLF: Fast Decoupled Load Flow.

BFS : Backward Forward Sweep.

PSO : Particle Swarm Optimization.

GPSO-GM: Guaranteed convergence Particle Swarm Optimization with Gaussian Mutation.

JB réf : Jeu de Barres de référence.

JB inte : Jeu de Barres intermédiaire.

JB com : Jeu de Barres commun.

JB term : Jeu de Barres terminal.

LP : Ligne Principale.

LL : Ligne Latérale.

LSL : Ligne Sous-Latérale.

LM : Ligne Mineure.

Ldata : Données des branches du réseau.

Busdata : Données des jeux de barres du réseau.

P_i : Puissance active sortante du jeu de barres **i**.

Q_i : Puissance réactive sortante du jeu de barres **i**.

P_{i+1} : Puissance active sortante du jeu de barres **i+1**.

Q_{i+1} : Puissance réactive sortante du jeu de barres **i+1**.

P_{li} : Puissance active de la charge **i** branchée au jeu de barres **i**.

Q_{Li} : Puissance réactive de la charge **i** branchée au jeu de barres **i**.

JBDMM : Jeu de **Barres** de **Départ** de la **Même** ligne **Mineure**.

JBTMM : Jeu de **Barres** **Terminal** de la **Même** ligne **Mineure**.

JBDSL : Jeu de **Barres** de **Départ** de la **SL** ème ligne **Sous-Latérale**.

JBTSL : Jeu de **Barres** **Terminal** de la **SL** ème ligne **Sous-Latérale**.

JBDL : Jeu de **Barres** de **Départ** de la **L** ème ligne **Latérale**.

JBTLL : Jeu de **Barres** **Terminal** de la **L** ème ligne **Latérale**.

JBTLP : Jeu de **Barres** **Terminal** de la **Ligne Principale**.

P_{Loss i} : Pertes de puissance active au niveau de la branche **i**.

Q_{Loss i} : Pertes de puissance réactive au niveau de la branche **i**.

PT Loss : Pertes totales de puissance active.

QT Loss : Pertes totales de puissance réactive.

EP&PF : Ecoulement de **Puissance & Power Flow**.

EPO&OPF : Ecoulement de **Puissance Optimal & Optimal Power Flow**.

Fobj : Fonction objectif.

PDG_i : Puissance active générée par la **DG** au jeu de barres **i**.

PDi : Puissance **Demandée** au jeu de barres **i**.

PG : Puissance **Générée** provenant de la source.

GA : **Gravimetric Analysis**.

ABC : Algorithme de colonies d'abeilles.

SFLA: Celebrated jumping frog calaveras county.

FA : Firefly Algorithem.

PC : Production Centralisée.

PD : Production Décentralisée.

GED : Génération d'Energie Distribuée ou Génération d'Energie Dispersée.

Ncs : Nombre de cellules en séries.

NSSm : Nombre total des sous-modules connectés en série.

PV : Photovoltaïque.

EV : Electronvolt.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

DC : Direct Current.

PPM : Point de Puissance Maximum.

AC: Alternating Current.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

ASA : Agence Spatiale Allemande.

Nt : Nombre des panneaux ou modules.

Pc : Puissance du sous-champ.

Pn : Puissance nominale du module PV.

Pm : Puissance produite par le générateur PV.

Ipm : Courant à Pmax [A].

Icc : Courant de Court-Circuit.

Vpm : Tension à Pmax [V].

Vco : Tension de circuit ouvre.

DG : Distrbuted Generation.

RD : Réseau de Distribution.

SFLA : Algorithme par sauts de grenouilles (Shuffled Frog-Leaping algorithm).

TS : Algorithme recherche tabou.

β_{ij} : Attractivité entre lucioles i et j.

r_{ij} : Distance entre lucioles i et j.

β_0 : Attractivité à $r=0$.

γ : Coefficient d'absorption de lumière.

α : Paramètre de répartition.

Introduction

Générale

Introduction Générale

Depuis la préhistoire, l'homme a fait beaucoup de progrès dans tous les domaines. Aujourd'hui nous sommes habitués à tout accomplir en un clin d'œil, en appuyant sur un bouton ou en tournant un bouton. Si nous sommes si habitués à profiter des avantages de l'électricité, il n'est pas facile d'envisager comment l'électricité est transportée depuis la source jusqu'à nos foyers. Elle doit parfois parcourir de grandes distances à travers un réseau complexe de transmission pour nous fournir l'énergie et le plaisir que nous considérons acquis. Le réseau électrique est un terme collectif désignant différents composants tels que les transformateurs, les lignes de transmission, les sous-stations et les différents niveaux des sous réseaux, production, transmission et distribution. Au cours des dernières années, une attention particulière a été dédiée aux réseaux de distributions surtout après l'apparition des nouvelles sources non centralisées connus par la génération dispersée ou décentralisées. Rappelons que les productions centralisées sont généralement des installations de grande taille, raccordées au niveau du réseau de transport. De plus, elles disposent d'une commande centralisée leur permettant de participer à la sûreté du système électrique [1].

Le système énergétique décentralisé se caractérise par la localisation des installations de production d'énergie à proximité de la consommation. Ce système permet également une utilisation optimale des énergies renouvelables qui réduisent l'utilisation des combustibles fossiles et augmente l'efficacité environnementale. Ils peuvent réduire l'inefficacité de la partie transport, ainsi que la distribution tout en affectant les couts de production. La production décentralisée introduit des changements radicaux sur les tâches de la génération, jusqu'à la distribution et remet en cause la planification, la conception, le fonctionnement et l'exploitation de ces réseaux. En effet, ces réseaux n'ont pas été conçu dans cette optique et la possibilité d'introduire ces sources d'énergie au sein de ces réseaux peut avoir des conséquences importantes sur le transit des puissances et donc sur la philosophie et l'implémentation du système de gestion et de la protection du réseau [2].

Malgré les effets et les impacts indésirables des DGs sur la stabilité et sécurité des réseaux électriques, les planificateurs et les consommateurs restent toujours intéressés par ces sources dites gratuites. Ce qui motive les chercheurs à suivre leurs comportements sous l'effet des incidents inévitables et les états sur normales qui peuvent affecter un système électrique.

L'objet de cette analyse est de vérifier le comportement d'un réseau de distribution soit radiale, introduisant la production décentralisée, ainsi que l'influence de cette dernière sur la qualité d'énergie du même réseau.

Introduction Générale

Une optimisation par un OPF est développée pour déterminer les tailles et les emplacements optimaux des DGs à intégrer dans le réseau étudié dans le but d'améliorer l'efficacité de ce dernier. A partir des résultats de l'OPF, un dimensionnement d'une installation hybride à énergie renouvelable sera calculé pour chaque DGs à insérer.

Notre travail est divisé en trois chapitres:

Le premier chapitre présente une introduction et des généralités sur la production décentralisée liée aux réseaux électriques de distribution, un bref survol sur les énergies renouvelables et une description des systèmes de production hybrides.

Depuis le deuxième chapitre entame l'écoulement de puissance, et sa formulation mathématique où nous sommes intéressées à la méthode BFS qui est simple et directe pour le calcul de l'écoulement de puissance dans les réseaux de distribution type radiale que nous avons opté pour nos applications.

Dans une autre phase nous exposons notre méthode choisie pour l'optimisation de la taille et de l'emplacement des DGs à intégrer.

Dans le troisième chapitre, nous allons présenter et interpréter les résultats de nos calculs par simulations où une éventuelle étude et calcul de dimensionnement du système de conversion hybride associé à la région de Laghouat. Enfin nous terminerons le présent mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I :
La production
centralisé et
décentralisée.

I.1 Introduction

Les réseaux de distribution électrique n'ont cessé d'évoluer, tant du point de vue destechniques utilisées que de celui de l'exploitation et des protections. La phase d'évolution de ces dernières années, compte parmi les plus radicales puisqu'elle introduit la production décentralisée d'énergie électrique au sein même des réseaux de distribution en aval des postes sources. Cela n'est pas sans conséquences sur la sécurité et l'exploitation des réseaux, ainsi que sur la qualité de l'onde de tension délivrée aux clients.

Cette évolution, que l'on s'attend à voir s'accélérer au cours des prochaines décennies, conduit à repenser les principes de fonctionnement, voire la structure même des réseaux de distribution afin de préparer l'insertion de cette production avec des taux de pénétration très importants [3].

Les productions décentralisées se distinguent des unités de production centralisées par le fait qu'elles sont le plus souvent raccordées au réseau de distribution, et par leur "petite-taille", bien qu'il n'y ait à l'heure actuelle pas de limite clairement définie entre les catégories. Cependant, la norme IEEE 1547 sur l'interconnexion des dispersées au réseau électrique ne s'applique qu'aux sources d'une puissance permettant de passer d'un niveau à un autre. Ces ressources dite aussi « dispersées » ne s'appliquent qu'aux sources d'une puissance inférieure à 10MVA.

Dans ce chapitre nous allons donner une idée sur ces unités de production dites décentralisées (PD) et citer les des principaux moyens et technologies de production d'électricité à base d'énergies renouvelables.

Notons que de nombreux types de PD utilisent des technologies matures ou en phase dedéveloppement.

I.2 Production centralisée (classique)

Cette production est réalisée au moyen de grosses centrales thermiques (nucléaire ou conventionnelle), ou hydraulique connectées à un réseau de transport et dedistribution de grande valeur, faisant le plus souvent intervenir différentes acteurs au long de la chaîne de conversion énergétique [4].

I.3 Caractéristiques de la production décentralisée

Les systèmes de production décentralisée peuvent se caractériser par le type de générateur ou d'interface utilisé. On distingue ainsi les catégories suivantes et leurs domaines d'applications [5].

I.3.1 Energies non renouvelables

I.3.1.1 Energies fossiles (gaz, charbon, pétrole)

Les technologies utilisant ces énergies primaires sont nombreuses et bien éprouvées, ce qui leur confère un grand intérêt économique.

Le thermique à flamme par exemple, est basé sur des turbines ou micro turbines à vapeur, et des moteurs à combustibles fossiles. Les turbines à gaz et les groupes diesel sont des moyens de productions utilisant une génératrice synchrone pour transformer l'énergie mécanique développée par celles-ci en énergie électrique. Ce type de production est le plus souvent envisagé pour des cogénérations de quelques mégawatts.

I.3.2 Les énergies renouvelables

Plusieurs types d'énergies sont classées comme suit (figure I.1) :

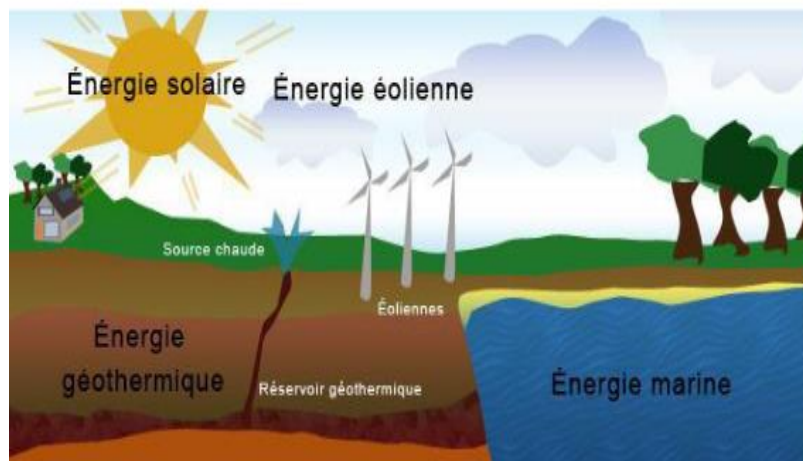


Figure I.1. Les énergies renouvelables.

I.3.2.1 L'hydraulique

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice (figure I.2). La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue

derrièreun barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source a l'avantage de ne pas être polluante [6].

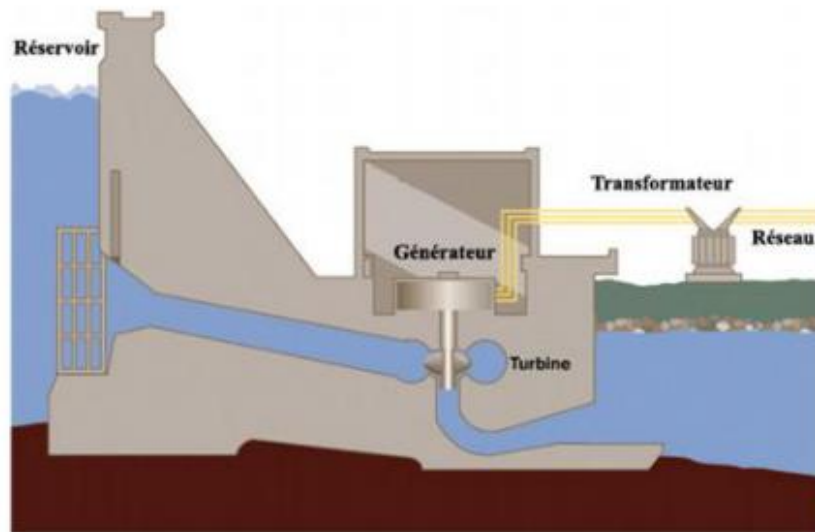


Figure I.2 : Schéma en coupe d'un barrage hydroélectrique [6].

I.3.2.2 Le solaire

Cette catégorie est connue par deux grands types d'énergies. La première, thermique et elle se base sur la température qui permet essentiellement de faire chauffer l'eau afin de produire une pression mesurable, on l'appelle aussi la production combinée de chauffage par plancher chauffant [7]. La deuxième, photovoltaïque est basée sur l'effet photoélectrique. Celui-ci permet de créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette ressource a donc l'avantage d'être inépuisable et utilisable en tout point d'un territoire spécifié. (FigureI.3).

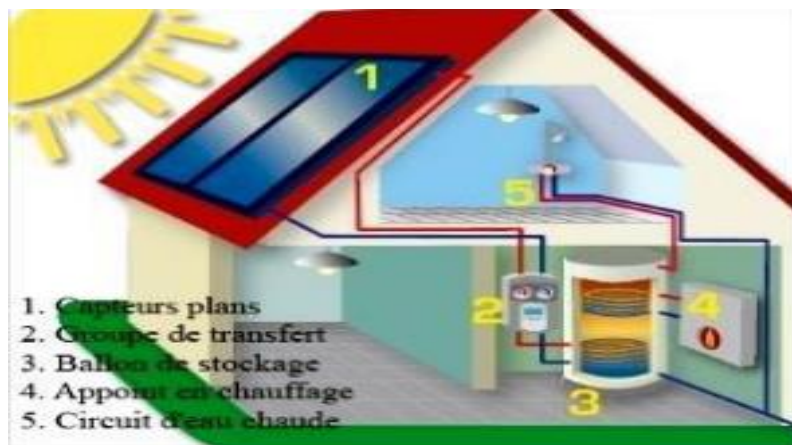


Figure I.3: Énergie solaire thermique [7].

On peut l'a considéré comme une énergie propre puisque sa production énergétique à partir des modules photovoltaïques n'engendre pas de déchets impliquant la pollution à la terre.

Cette ressource a toutefois deux inconvénients, la production est invariablement liée aux conditions climatiques et une surface considérable est nécessaire pour produire de grande quantité d'énergie, puisque le rendement des panneaux photovoltaïques est relativement faible [7].

I.3.2.3 La biomasse

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse. Des différents types sont à considérer : le bois énergie, les biocarburants et le biogaz. Le bois est une ressource d'énergie très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde [8]. Il s'agit aussi d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse, ce qui est bien montré par la (figure I.5). Elle est exploitée par combustion.

Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. Le problème plus important est que la biomasse n'est pas inépuisable [6].

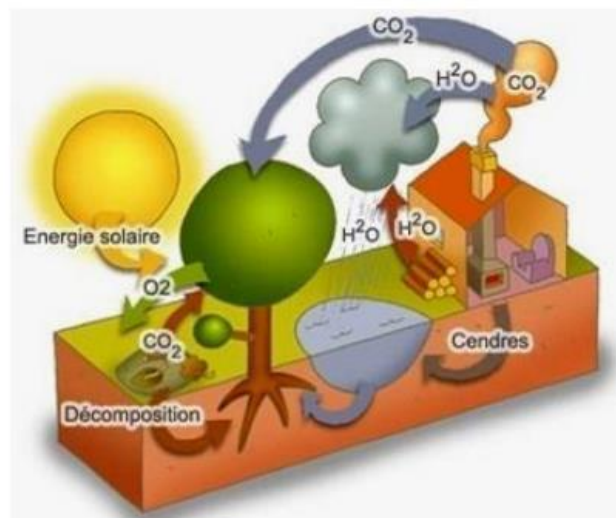


Figure I.4 : Énergie Biomasse [6].

I.3.2.4 La géothermie

Le terme géothermie provient du grec « Ge » et « thermos », signifiant respectivement : la terre et la chaleur. La géothermie peut se définir comme étant la technique qui consiste à puiser dans le sous-sol ou dans les roches, les calories qui y sont contenues, afin de les

rendre disponibles en surface pour des applications de chauffage ou de production d'électricité. Dans des cas particuliers, la géothermie peut consister à injecter de la chaleur dans le sous-sol afin de refroidir les installations de surface. Différentes sources de chaleurs sont à l'origine de la chaleur interne de la terre : la radioactivité, la chaleur initiale, la chaleur de différenciation et les mouvements différentiels [9].

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques ; c'est donc une énergie fiable et disponible dans le temps. Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable dans le sens où un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer.

I.3.2.5 Les énergies marines

L'énergie marine ou des mers est extraite du milieu marin. Il y a notamment l'énergie marémotrice (issue du mouvement de l'eau créé par les marées), l'énergie des vagues (utilise la puissance du mouvement des vagues), l'énergie thermique des mers (produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans), les éoliennes offshore, et l'énergie osmotique (diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer).

Tout comme les autres sources renouvelables, elle est non polluante lors de la production. On note également que l'énergie potentiellement disponible est énorme et que cette technologie a un bel avenir.

I.3.2.6 L'hydrogène

L'hydrogène est considéré comme étant une énergie très abondante, plus énergétique que le pétrole ou le gaz naturel. Il n'est ni polluant, ni toxique, il est aussi transportable et pourrait répondre à tous nos besoins grâce à ses avantages: L'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie propre (eau, hydrocarbures, etc.).

L'hydrogène peut remplacer les combustibles fossiles pour fournir de l'électricité d'une manière différente. Il peut être utilisé comme carburant pour alimenter le moteur à combustion pour la production d'électricité en faisant tourner la machine. Il peut également être directement utilisé par un électro-réacteur chimique dans les piles à combustible pour

produire de l'électricité. Pour les puissances élevées, la conversion la plus efficace de l'hydrogène à l'électricité peut être atteinte en production combinée chaleur [10].

I.4 L'énergie éolienne

Le vent est une source d'énergie propre, renouvelable quasi instantanément, et quasi infinie à l'échelle humaine et terrestre. Il doit ses caractéristiques à sa nature même : le vent naît de processus cycliques (rotation terrestre, convection chaud/froid, etc.) appliqués à l'atmosphère puis à l'air dans un contexte topographique défini [11].

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice comme expliqué à la Figure I.5 [12].

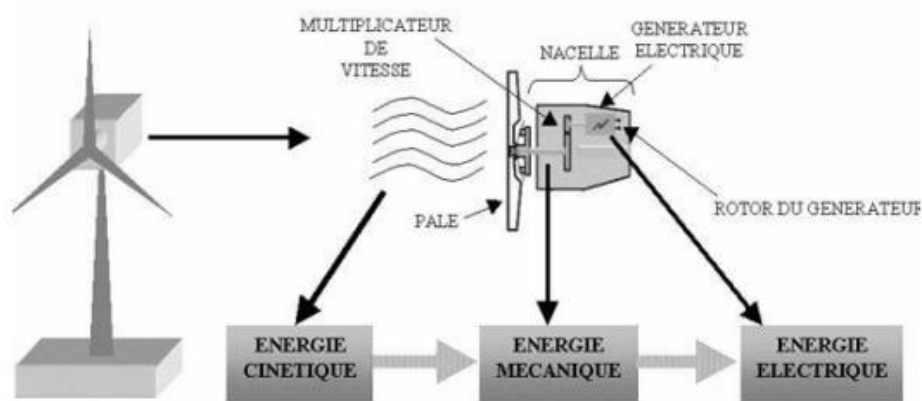


Figure I.5 : Conversion de l'énergie cinétique du vent [12].

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable non dégradée, géographiquement diffusée 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, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60m pour des éoliennes des plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement de turbulences [12].

I.4.1 Types d'aérogénérateurs

Un aérogénérateur est un dispositif utilisé pour le transfert de l'énergie cinétique du vent vers l'arbre de transmission en mouvement rotatif. Plusieurs types existent, ils se caractérisent par la position de leur axe de rotation et des performances qui leurs sont propres.

I.4.1.1 Eoliennes à axe vertical

Elles ont été les premières structures utilisées pour la production de l'énergie électrique. De nombreuses variantes ont vu le jour mais rares sont celles qui ont atteint le stade de l'industrialisation elles sont exposées à la figure I.6.

Ce type d'éolienne a été de plus en plus abandonné à cause des différents inconvénients qu'il a posés. Des problèmes d'aéroélasticité et la grande occupation du sol ont été les raisons de cet abandon au profit des éoliennes à axe horizontale[13].



Figure I.6 : Petites éoliennes à axe vertical [14].

I.4.1.2 Eoliennes à axe horizontal

Ce type d'éolienne est le plus répandu dans le monde. Ce système se base sur le principe de portance aérodynamique, les pales sont profilées de la même façon qu'une aile d'avion et la circulation du flux d'air dans la turbine entraîne la rotation du rotor de la machine. Les éoliennes généralement utilisées pour la production d'électricité sont des éoliennes rapides à 2 ou à 3 pales, ceci pour plusieurs raisons :

- Elles sont légères et donc moins chères ;
- Elles tournent plus vite car le multiplicateur utilisé présente un rapport de multiplication moins important d'où sa légèreté et des pertes réduites ;

- Le couple nécessaire pour la mise en route de ce type d'aérogénérateur est très faible et donc un fonctionnement à faible vitesse de vent [14].

Ces raisons expliquent notre restriction à ce type d'aérogénérateur dans la suite de nos travaux



Figure I.7 : Petite éolienne à axe horizontal [13].

I.4.2 Constitution d'une éolienne

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

- Le mât: généralement en métal, supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle + rotor). Il est fixé sur une fondation implantée dans le sol, une lourde semelle en béton qui assure l'ancrage et la stabilité de l'éolienne. Le mât des éoliennes atteint aujourd'hui 80 m de haut pour les plus puissantes (exceptionnellement jusqu'à 100 m). Si les éoliennes sont-elles si haut perchées c'est parce que le vent souffle plus fort à quelques dizaines de mètres de hauteur, où il n'est pas perturbé par l'effet des obstacles : relief, arbres, maisons...Et la puissance fournie par une éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent.
- La tour : doit être suffisamment solide pour supporter non seulement la nacelle Et le rotor, mais aussi les charges puissantes provoquées par le vent : d'une part la puissance exercée par le vent directement sur la tour, d'autre part la puissance transmise par le rotor [15].
- Le rotor : composé de plusieurs pales (en général 3) et du nez de l'éolienne. Les pales sont aujourd'hui faites de matériaux composites à la fois légers et assurant une rigidité et une

résistance suffisantes : polyester renforcé de fibre de verre et/ou fibre de carbone. Leur longueur atteinte actuellement entre 30 et 55 mètres, soit un diamètre du rotor compris entre 60 et 110 mètres. La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales (un cercle), donc au carré de son diamètre rotor [15].

- La nacelle : montée au sommet du mât et abritant les composants mécaniques et pneumatiques et certains composants électriques et électroniques nécessaires au fonctionnement de la machine.
- Le transport de l'électricité produite dans la nacelle jusqu'au sol est assuré par des câbles électriques descendant à l'intérieur du mât de l'éolienne [15].

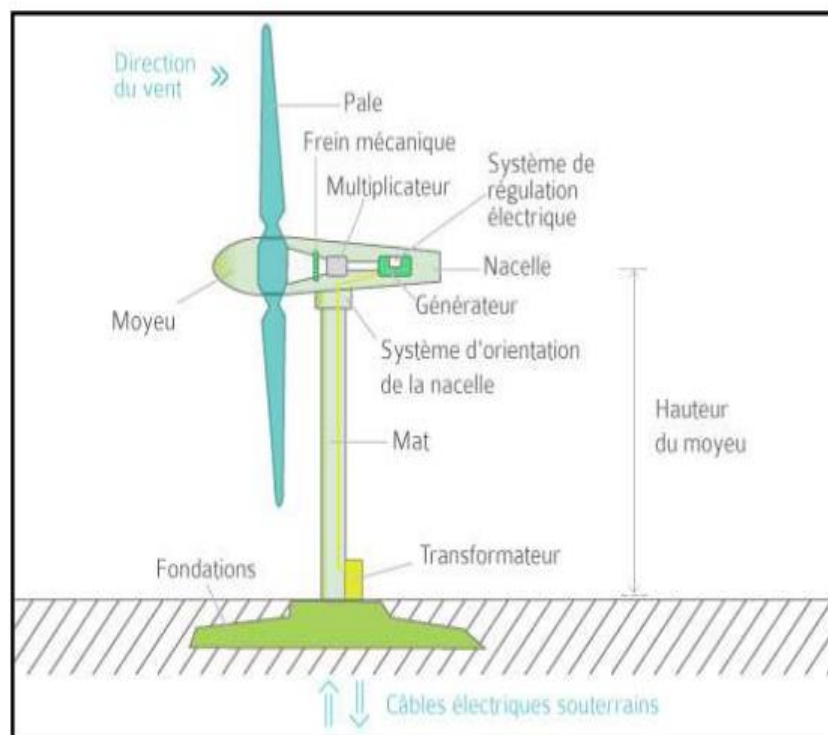


Figure I.8 : Constitution d'une éolienne à axe horizontale [15].

I.4.3 Principe de fonctionnement d'une éolienne

Une éolienne est constituée d'une partie tournante, le rotor, qui transforme l'énergie cinétique en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite. La puissance mécanique est ensuite transformée en puissance électrique par une génératrice.

I.4.4 Les 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 inconvénients qu'il faut étudier, afin que ceux-ci ne deviennent pas un frein à son développement.

Les avantages de l'énergie éolienne [16]

- L'énergie éolienne est avant tout une énergie qui respecte l'environnement;
- L'exploitation d'énergie éolienne ne produit pas d'émission de CO₂;
- L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie de risque comme l'est l'énergie nucléaire. Elle ne produit évidemment pas de déchets radioactifs ;
- C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables
- L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu, on peut facilement l'arrêter, contrairement aux autres procédés continus thermiques ou nucléaires ;
- La période de haute productivité se situe en hiver (vent plus forts), ce qui correspond à la période de l'année où la demande en électricité est plus forte.

Les inconvénients de l'énergie éolienne [17]

Même s'ils ne sont pas nombreux, l'éolienne a quelques inconvénients qu'il faut citer :

- Le bruit aérodynamique lié à la vitesse de rotation du rotor ;
- La perturbation de la réception des ondes hertziennes, ce qui provoque la distorsion des images télévisées;
- C'est une source coûteuse à rendement faible dans les sites moins ventés.

I.5 L'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules photovoltaïques généralement à base de silicium cristallin. Le nom Photovoltaïque est composé de deux parties :

- Photos : Lumière. D'origine Grec.
- Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta.

La production d'électricité par voie solaire photovoltaïque (PV) a explosé ces dernières années dans le monde. Les nouvelles installations solaires photovoltaïques ont représenté dans le monde, une puissance de 14 000 MW, portant la totalité des installations mondiales à plus de 35 000 MW.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables et la plus utilisée. Elle est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité comme expliqué à (la figure I.9). On utilise des cellules photovoltaïques qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque [18].

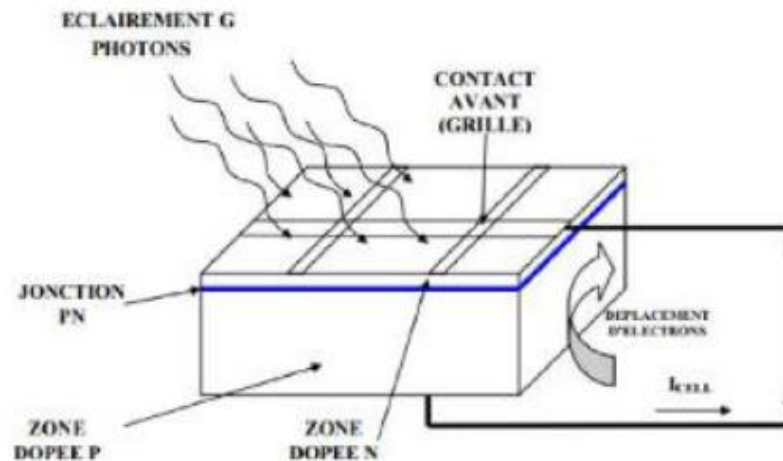


Figure I.9 : Principe de la conversion photovoltaïque [18].

- Système photovoltaïque, bien que fondamental dans la chaîne que représente un système PV, le module photovoltaïque à lui seul ne représente pas grand-chose. Pour répondre à un besoin défini, il faut en fait associer étroitement ces modules à un système complet correspondant à une application bien spécifique. Telle que les convertisseurs statiques (onduleur et hacheur) avec le système de régulation, les différents types de stockage et tout dispositif d'interconnexion et de sécurité ou de protection, dans le but d'assurer un approvisionnement dans les normes en électricité [18].

I.5.1 Les différents types de système photovoltaïque

L'organigramme de la figure I.11. Représente les différents types de système PV.

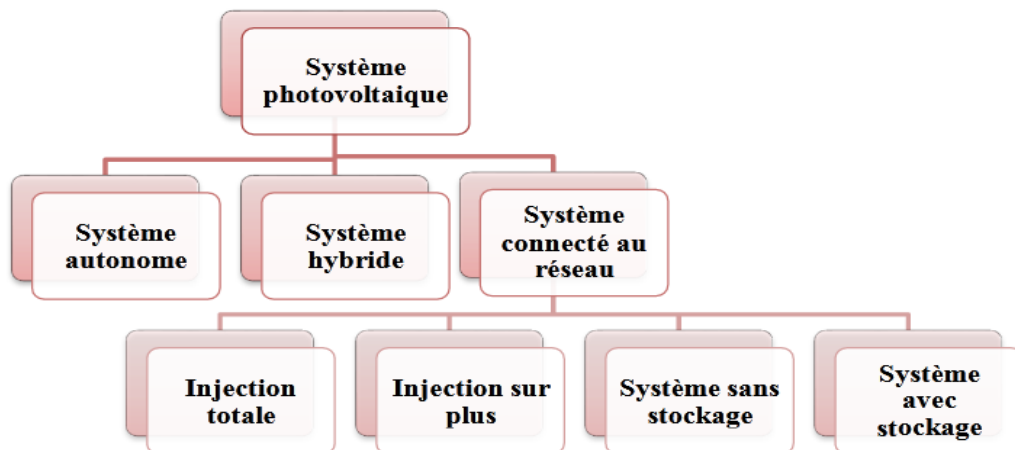


Figure I.10: Architecture d'un système PV.

I.5.2 Les composants d'un système photovoltaïque

Les générateurs PV comme leur nom indique génèrent l'énergie électrique. Une cellule photovoltaïque produit moins de 2 watts sous approximativement 0,5 Volt. Alors Pour produire plus de puissance les cellules sont assemblées pour former un module, une association série et/ou parallèle de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau. L'ensemble des panneaux photovoltaïques interconnectés forme le générateur PV figure I.11, Celui-ci convertit directement la lumière solaire en électricité, sous forme de courant continu [19] [20].

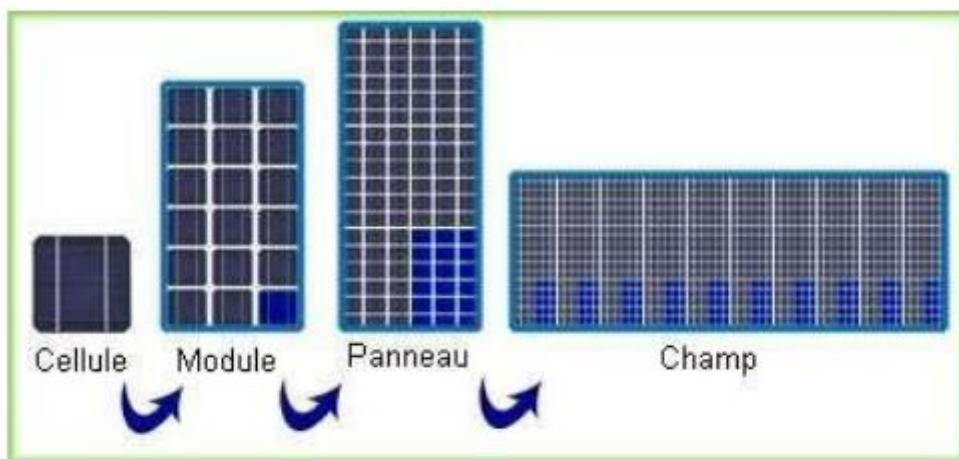


Figure I.11 : Schéma explicatif du fonctionnement d'une installation de panneaux solaires [19].

I.5.3 Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques

Les avantages des systèmes photovoltaïques [20]:

- Conversion directe de l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité ;
- Absence de bruit, de pollution et d'émissions ;
- Maintenance réduite (pas de pièces en mouvement ; durée de vie des modules = 20 ans) ;
- Rentabilité assurée pour les applications de faible puissance (moins de 3–5 kWh/jour) ;
- Possibilité d'adaptation de la taille de l'installation aux besoins existants, avec possibilité d'extension à la demande, au fur et à mesure que le besoin énergétique augmente ;
- Le risque de choc électrique est réduit .

Les inconvénients des systèmes photovoltaïques :

- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé;
- Production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, toujours variable ;
- Le faible rendement de conversion de module ;
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente ;
- Pollution à la fabrication [20].

I.6 Système hybride

I.6.1 Définition

Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit (Figure I.12) [21].



Figure I .12 : Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien [21].

A: Panneau Photovoltaïque

a: Parafoudre

B: Éolienne

m: Moniteur de batterie

R : Chargeur de batterie

S : Sectionneur

1: Disjoncteur de protection

2: Régulateur charge/décharge;

3: Disjoncteur CC

4 : Batterie;

5 : Onduleur;

6 : Coffret de branchement électrique

7: Charge électrique.

I.6.2 Description d'une centrale hybride :

Le système hybride présente un double avantage afin de minimiser les perturbations de l'environnement, grâce à une consommation sur le lieu de production de ressources naturelles renouvelables et une sécurité d'approvisionnement, quelles que soient les conditions météorologiques.

Il existe deux types de système de production hybride, système alterné et système parallèle. Le système alterné consiste en association d'un système éolien, un système photovoltaïque et la possibilité d'associer une batterie ou un groupe électrogène qui sera relié par un système de commutation entre les trois permettant d'assurer le passage d'un fonctionnement d'une source à une autre (selon les conditions météorologiques jour et nuit), par contre le système parallèle

(la Figure I.13) relie les deux sources (éolienne, photovoltaïque) en même temps à la batterie ou le groupe électrogène intervient en secours (quand les batteries sont déchargées).

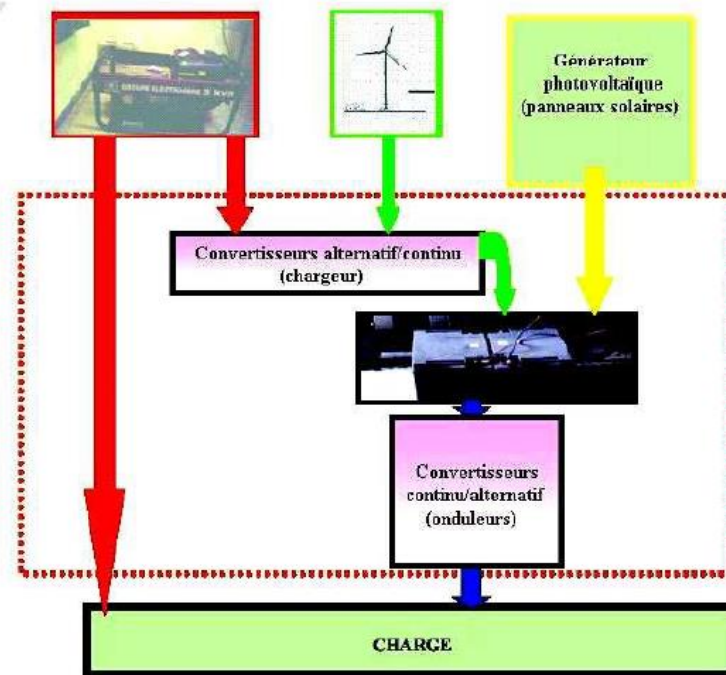


Figure. I.13.:Schéma physique de la chaîne de conversion d'énergie électrique hybride (photovoltaïque- éolienne)[22].

I.6.3 Principaux composants du Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien :

Les systèmes hybrides photovoltaïque-éolien comprennent généralement :

- Un système générateur.
- Un système de régulation.
- Un système de stockage.
- Un équipement de puissance.
- Une charge.

I.6.4 Dimensionnement de l'installation hybride :

Le dimensionnement d'une installation sera organisé de la façon suivante :

L'étude du potentiel énergétique sur le site choisi, la détermination du profil de chargeDes consommateurs, le dimensionnement du générateur photovoltaïque, du générateurÉolien, et du générateur diesel si le choix du système est basé sur trois sources d'énergie, et à la fin le dimensionnement des batteries de stockage. Lesdonnées météorologiques dépendent du site choisi à implanter le système.

Dans cette étude, nous avons choisi un système éolien - photovoltaïque d'où la connaissance et l'estimation des deux sources d'énergies (soleil et vent) doivent être effectuées.

La connaissance exacte du profil de charge de nos consommateurs facilitera la détermination de la taille de nos générateurs.

I.6.5 Modélisation de système hybride

L'objectif est de disposer de modèles suffisamment fiables afin d'effectuer une étude d'optimisation du dimensionnement et de la gestion d'énergie du système complet.

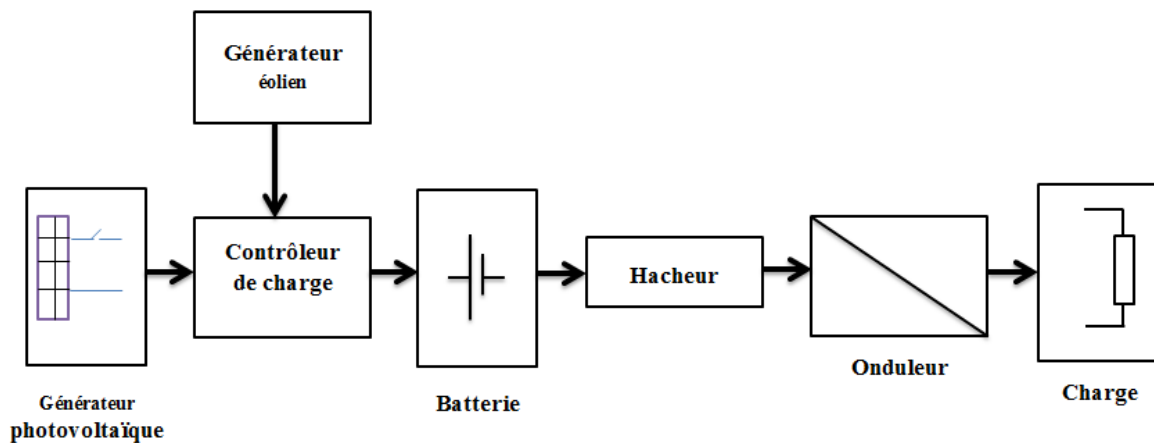


Figure 1.14.: schéma d'une installation type d'un système hybride(PV-éolienne).

Il sera donc important d'adopter des scénarios, des méthodes et des outils de calculs adéquats pour une étude complète et une implémentation d'un système fiable et robuste.

I.7 Conclusion

Ce chapitre s'est intéressé aux différentes centrales de production d'énergie électrique dispersées, où nous avons présenté les types de ressources renouvelables et classiques. Ensuite nous avons viré vers les installations type: PV, éolienne et aussi hybride. Dans le but de l'utiliser dans ce qui suit de cette étude.

Chapitre II :
Écoulement de
puissance
dans le réseau
de
distribution.

II.1 Introduction

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

L'étude de l'écoulement de puissance (load flow) permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal et anormal afin d'assurer une exploitation efficace, c'est-à-dire conforme aux normes techniques. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes .les pertes et les courants s'en déduisent. Les études de l'écoulement de puissance permettent de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques ainsi que la conduite et le contrôle de ces réseaux [23].

Ce chapitre présente une introduction au système électrique, ainsi que le développement mathématique des équations de l'écoulement de puissance, nous sommes intéressées à la méthode BFS qui est simple et directe pour le calcul de l'écoulement de puissance dans les réseaux de distribution radiales.

II.2 Réseau électrique

Un réseau électrique est l'ensemble des composantes requises pour produire, transporter, distribuer l'énergie électrique de la source (générateur) à la charge (consommateur). Cet ensemble comprend des transformateurs, des lignes de transmission, des réactances, des condensateurs, des moyens de mesure et de contrôle, des protections, ... ; autrement dit, un réseau électrique est l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centrales de production, vers les consommateurs.

Un réseau électrique 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[24].

II.2.1 Fonctionnement des différents types de réseaux électriques

Physiquement, le réseau électrique est organisé en différents niveaux de tension : le réseau de transport et de répartition, auxquels sont connectés les grands groupes de production centralisée, et le réseau de distribution alimentant la plupart des consommateurs. Comme illustre la figure II.1.

Elle expose l'architecture ou l'organisation physique générale des réseaux électriques [25].

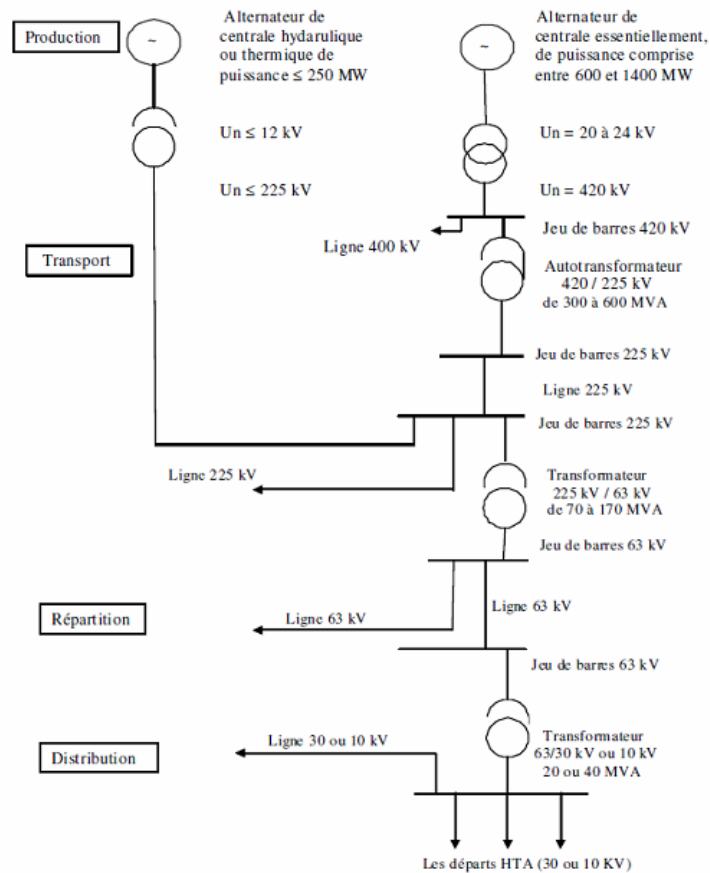


Figure II.1 : Architecture générale du réseau d'énergie électrique.

II.2.1.1 Production

Quand elle n'est pas d'origine chimique (batteries et accumulateurs), ou photovoltaïque (énergie solaire), l'électricité "industrielle" est toujours produite selon le même principe la transformation d'une énergie mécanique en énergie électrique, provenant de la mise en mouvement d'un aimant dans un bobinage de fil conducteur. Ce principe de l'alternateur (comparable à la dynamo des éclairages de bicyclettes) fonctionne à partir de diverses sources motrices : force de l'eau (barrages), force du vent (éoliennes), force de la vapeur d'eau (centrales nucléaires et centrales thermiques à flamme) qui vont toutes entraîner la rotation de l'alternateur. Une très grande partie de l'énergie électrique est produite par trois types de centrales :

- a) Les centrales hydrauliques
- b) Les centrales thermiques

c) Les centrales nucléaires.

Les sociétés de production électrique veillent donc à assurer, en permanence, un équilibre entre les offres de production et les besoins de consommation qui varient avec la saison, la météo du jour, de l'heure...etc. Des prévisions définissent les besoins théoriques nécessaires et les ajustements ont lieu en permanence pendant la journée [26].

II.2.1.2. Réseaux de transport

Un alternateur produit la puissance électrique sous moyenne tension (12 à 15 kV), et elle est injectée dans le réseau de transport à travers des postes de transformation pour être transmise sous haute ou très haute tension afin de réduire les pertes dans les lignes. Le niveau de la tension de transport varie selon les distances et les puissances transportées, plus les distances sont grandes plus la tension doit être élevée, la même chose pour la puissance. Par exemple, le réseau de transport en Algérie utilise une tension de 220 kV (voir 400 kV pour certaines lignes dans le sud notamment), le réseau européen utilise 400 kV, et le réseau nord-américain 735KV [27].

II.2.1.3 .Réseaux de distribution

Les réseaux de distribution sont généralement basés sur une structure arborescente de réseau à partir d'un poste source, l'énergie parcourt l'artère ainsi que ses dérivations avant d'arriver aux postes de transformation MT/BT. Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Il existe deux sous niveaux de tension:

- Les réseaux à moyenne tension MT (de 3 à 33 kV).
- Les réseaux à basse tension BT (de 220 à 380 V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs domestiques.

La distribution se fait souvent soit par des lignes aériennes ou des câbles sous terrain. Les réseaux de distribution ont principalement une structure radiale.

Contrairement aux réseaux de transport, les réseaux de distribution présentent une grande diversité de solutions techniques à la fois selon les pays concernés, ainsi que selon la densité de population.

a)-les Réseaux de distribution à moyenne tension(MT)

On appelle réseaux MT les réseaux couvrants la plage de 1 à 36 kV.

b)-les Réseaux de distribution à basse tension(BT)

Permet d'acheminer l'énergie électrique du réseau de distribution MT aux points de faible consommation. Ce réseau alimente un nombre très élevé de consommateurs du domaine [28].

II.2.1.4 Consommation

La production d'énergie thermique, lumineuse et mécanique sont les trois usages classiques de l'énergie électrique. Elles se retrouvent aussi bien chez les consommateurs résidentiels qu'industriels. Dans les réseaux, les consommateurs appelés charges sont caractérisées par leurs puissances active et réactive consommées. De ces puissances mesurées sur un certain intervalle de temps sont déduites les puissances maximales (de pointe) et moyennes. Par la mesure des courants dans les postes de transformation entre les réseaux de transport et de distribution, des courbes de consommation appelées courbes de charge sont tracées pour connaître l'évolution des charges au cours du temps (figure II.2) elles permettent aux gestionnaires de réseau de prédire l'évolution de la consommation sur les réseaux et donc, entre autre, de définir les plans prévisionnels de production [29].

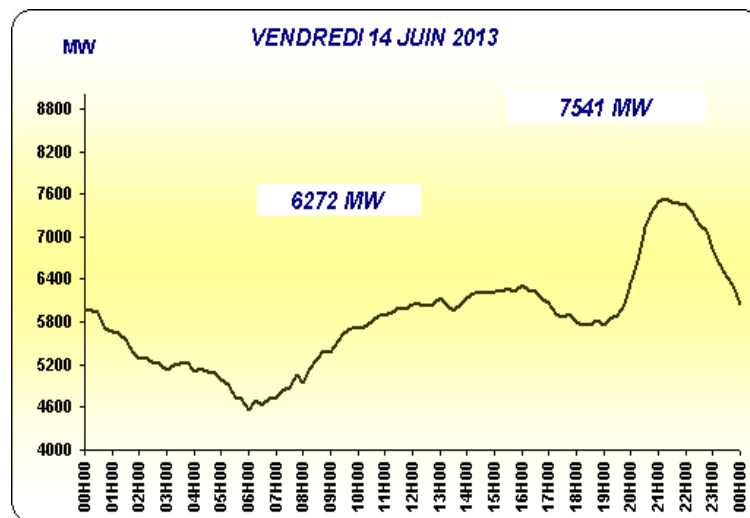


Figure II.2 : Courbe de charge de la journée du 14 juin 2013 [29].

II.2.2 Topologies des réseaux électriques

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau fiabilité recherché, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement

et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont illustrées sur la figure II.3 [30].

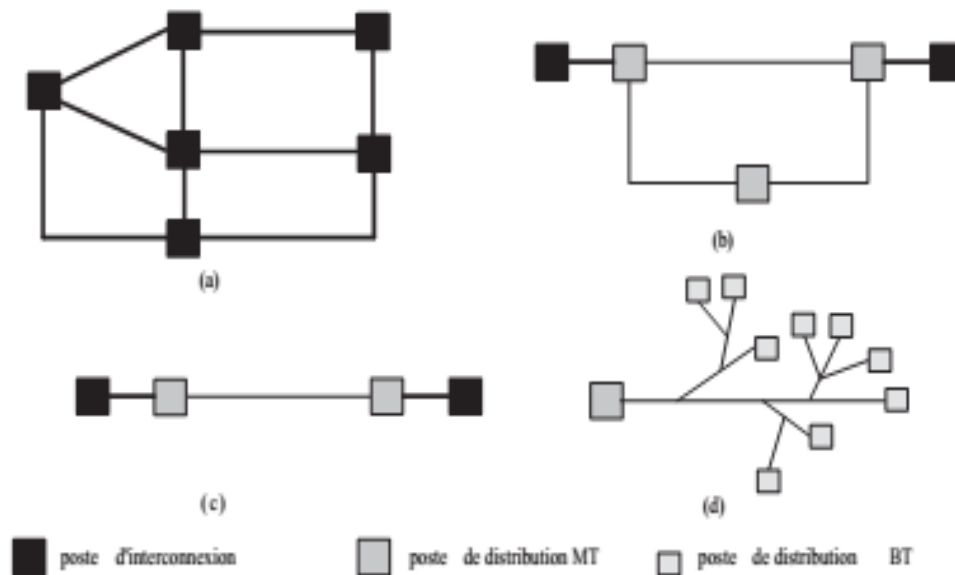


Figure II.3 : Différentes topologies des réseaux électriques : (a) Réseau maillé, (b). Réseau bouclé, (c).Réseau radial, (d). Réseau arborescent [30] .

II.2.2.1. Réseau électrique maillé

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

Cette structure permet une meilleure fiabilité mais nécessite une surveillance à l'échelle nationale voire continentale.

II.2.2.2. Réseau électrique bouclé

Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT. Les postes de répartition HT ou MT alimentés à partir du réseau THT sont reliés entre eux pour former des boucles, ceci dans le but d'augmenter la disponibilité. Cependant, il faut noter que les réseaux MT ne sont pas forcément bouclés.

II.2.2.3. Réseau électrique radial

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au

départ par un poste source HT ou MT. En moyenne tension cette structure est souvent alimentée des deux côtés afin d'assurer la disponibilité.

II.3 Ecoulement de puissance dans les réseaux de distribution

Ces derniers temps, un intérêt particulier a été accordé aux réseaux de distribution et au calcul de l'écoulement de puissance. Au début, la grande occupation a été consacrée à l'écoulement de puissance dans le réseau de transport afin d'avoir une bonne répartition d'énergie produite sur l'ensemble de grands générateurs alimentant le réseau, un minimum de pertes de puissance et un bon profil de tension au niveau des jeux de barres formant le réseau.

Pour cela, des méthodes de calcul dites newtoniennes ont été exploitées pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance dans les réseaux de transport. Parmi ces méthodes, on peut citer la méthode de Newton-Raphson [31][32] et la méthode de Newton-Raphson découplée rapide [33][34] qui ont prouvé leur efficacité dans la résolution de ce problème.

Les réseaux de distribution entrent dans la catégorie des systèmes d'énergie mal conditionnés pour ces méthodes conventionnelles de l'écoulement de puissance. La topologie des réseaux de distribution est exploitée pour le développement de cette technique.

La technique adoptée pour un EP d'un réseau de distribution concernant notre étude est détaillée dans ce qui suit :

II.3.1 La technique du double balayage de la ligne BFS (Backward/Forward Sweep)

La topologie des réseaux de distribution est exploitée pour le développement de cette technique.

Cette méthode est basée sur des balayages successifs entre les différents éléments du système jusqu'à convergence soit atteinte.

Cette méthode peut être mise en œuvre en quatre étapes [25] :

- **Etape 01:** identifier les éléments de ce système radial ;
- **Etape 02:** calculer l'injection du courant nodal pour chaque nœud, (les tensions sont considérées comme fixes) ;
- **Etape 03:** (balayage vers l'arrière), calculer la somme des courants, dans toutes les branches du système ;
- **Etape 04:** (balayage vers l'avant), correction par l'inverse des tensions nodales.

La deuxième, troisième et quatrième étapes sont répétées jusqu'à convergence.

II.3.2. Eléments d'un réseau de distribution radial

Le réseau de distribution radiale contient souvent des jeux de barres liées entre elles par des lignes. Les types de ces jeux de barres et lignes sont définies dans cette partie [25].

II.3.2.1.Types des jeux de barres

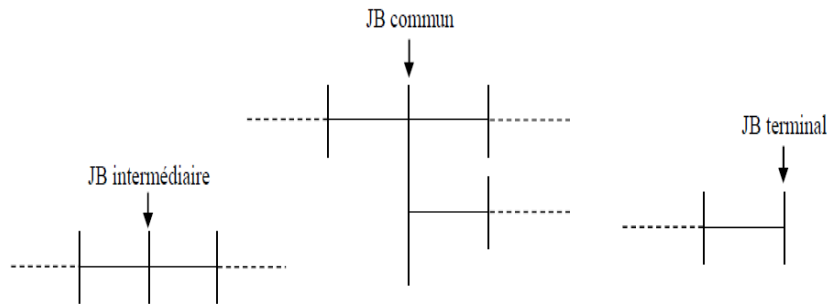


Figure II.4: Représentation des types des jeux de barres [25].

➤ Jeu de barres terminal

Un jeu de barres terminal est un jeu de barres qui est lié à une seule branche, on peut dire que c'est le bout des lignes et des ramifications.

➤ Jeu de barres commun

Un jeu de barres commun est un jeu de barres qui lie trois branches ou plus du réseau.

➤ Jeu de barres intermédiaire

Un jeu de barres intermédiaire est un jeu de barres qui lie uniquement deux branches du réseau. Il peut se situer entre :

- Un jeu de barres intermédiaire et un jeu de barres terminal ;
- Un jeu de barres commun et un jeu de barres terminal ;
- Deux jeux de barres communs ;
- Un jeu de barres commun et un jeu de barres intermédiaire ;
- Deux jeux de barres intermédiaires .

II.3.2.2 .Identification des types des jeux de barres

Pour identifier le type de chaque jeu de barres du réseau de distribution, une méthode dite méthode de comparaison peut être utilisée. En basant sur cette méthode, le type de chaque jeu de barres peut être identifié comme suit :

➤ **Identification des jeux de barres terminaux**

La détermination des jeux de barres terminaux se fait par la comparaison de chaque jeu de barres d'arrivée aux jeux de barres de départ comme montre l'organigramme de la figure 1.5 S'il n'y a pas d'égalité c'est-à-dire que le jeu de barre n'est lié qu'à une seule branche du réseau, ce qui signifie que ce jeu de barres est un jeu de barre terminal [25].

➤ **Identification des jeux de barres intermédiaires**

Pour déterminer un jeu de barres intermédiaire en se basant sur les données du réseau, on compare chaque jeu de barres d'arrivée aux jeux de barres de départ selon l'organigramme de la figure 1.5 S'il y a une seule égalité, c'est-à-dire que le jeu de barres n'est lié qu'aux deux branches du réseau, ce jeu de barres est un jeu de barres intermédiaire [25].

➤ **Identification des jeux de barres communs**

Toujours en se basant sur les données du réseau, la détermination des jeux de barres communs se fait par la comparaison de chaque jeu de barres d'arrivée aux jeux de barres de départ selon aussi l'organigramme de la figure I.5 S'il y a plus d'une égalité, c'est-à-dire que le jeu de barres est lié avec au moins trois branches, ce jeu de barres est un jeu de barres commun. La représentation des données des branches formant le réseau de distribution écrites sous forme matricielle (I_{data}) comporte six colonnes et $(n-1)$ lignes où n est le nombre de jeux de barres. La première colonne de la matrice représente le numéro de chaque branche, la deuxième représente les jeux de barres de départ de chaque branche et la troisième représente les jeux de barres d'arrivée de chaque branche. La quatrième, la cinquième et la sixième colonne représentent, respectivement, la caractéristique résistance, réactance et courant maximal de chaque branche [25].



The diagram illustrates a hierarchical game tree structure with four levels of branching, represented by horizontal lines and vertical markers. The levels are labeled as follows:

- Jeu de barres de référence** (Reference game of bars): The topmost level, starting with a vertical line labeled '1'.
- Jeu de barres commun** (Common game of bars): The second level, branching from the reference level.
- Jeu de barres intermédiaire** (Intermediate game of bars): The third level, branching from the common level.
- Jeu de barres terminal** (Terminal game of bars): The bottommost level, branching from the intermediate level.

The branching structure is defined by the following lines and markers:

- Ligne principale** (Main line): The top horizontal line, marked with a blue arrow.
- Ligne latérale** (Lateral line): The second horizontal line, marked with a green arrow.
- Ligne sous-latérale** (Sub-lateral line): The third horizontal line, marked with a brown arrow.
- Ligne mineure** (Minor line): The bottom horizontal line, marked with an orange arrow.

Vertical markers (pink and red lines) indicate the boundaries of the different game levels. Dashed lines connect the markers across the levels, showing the progression of the game tree.

27

➤ **Ligne principale**

Une ligne principale est une ligne qui débute d'un jeu de barres dit jeu de barres de référence (JBref).

➤ **Ligne latérale**

Une ligne latérale est une ligne qui débute d'un jeu de barres commun appartenant à la ligne principale.

➤ **Ligne sous-latérale**

Une ligne sous-latérale est une ligne qui débute d'un jeu de barres commun appartenant à la ligne latérale.

➤ **Ligne Mineure (LM)**

Une ligne mineure est une ligne qui est liée à un jeu de barres commun (JB com) appartenant à la ligne sous latérale [25].

II.3.3 Ecoulement de puissance dans le réseau de distribution radial

L'identification de la topologie du réseau par la détermination des vecteurs des types des jeux de barres et des lignes est exploitée dans la solution de l'écoulement de puissance pour calculer :

- Le courant dans chaque branche ;
- La puissance transitée dans chaque branche ;
- Les pertes totales de puissance active et réactive dans le réseau ;
- La tension de chaque jeu de barres [25].

II.3.3.1 Puissance fournie au réseau

La puissance totale fournie au réseau est donnée comme suit [35] :

$$P_T = \sum_{i=1}^N P_i + P_{I00s} \quad (\text{II.1})$$

N : Le nombre de jeux de barres ;

P_i : La demande de puissance de charge au jeu de barres i ;

P_{I00s} : Les pertes de puissance totales dans les lignes.

II.3.3.2. Puissance et courant dans les branches

Une branche d'un réseau de distribution radial est modélisée comme une résistance en série avec une inductance pure (figure II .7) [35].

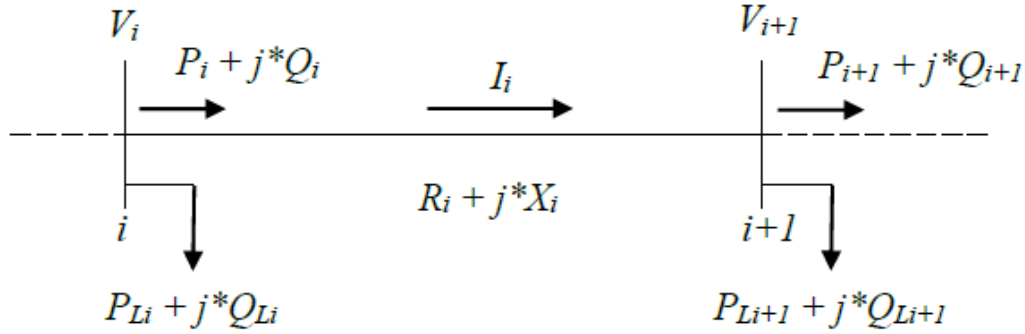


Figure II.7: Représentation de deux jeux de barres dans le réseau de distribution radial.

La puissance active transitée du jeu de barres (i) au jeu de barres (i+1) s'écrit comme suit :

$$P_i = P'_{i+1} + R_i \frac{(P'^2_{i+1} + Q'^2_{i+1})}{V_{i+1}^2} \quad (\text{II.2})$$

Où :

$$P'_{i+1} = P_{i+1} + P_{Li+1} \quad (\text{II.3})$$

P_{Li} : La puissance active de la charge au niveau du jeu de barres (i) ;

P_i : La puissance active transitée dans la branche (i) .

La puissance réactive transitée du jeu de barres (i) au jeu de barres (i+1) est donnée par :

$$Q_i = Q'_{i+1} + X_i \frac{(P'^2_{i+1} + Q'^2_{i+1})}{V_{i+1}^2} \quad (\text{II.4})$$

Où :

$$Q'_{i+1} = Q_{i+1} + Q_{Li+1} \quad (\text{II.5})$$

Q_{Li} : La puissance réactive de la charge au niveau du jeu de barres (i) ;

Q_i : La puissance réactive transitée dans la branche (i).

Le courant traversant la branche (**i**) s'écrit comme suit :

$$I_i = \frac{(V_i < \delta_i - V_{i+1} < \delta_{i+1})}{R_i + jX_i} \quad (\text{II.6})$$

II.3.3.3. Courants des branches

Les courants des branches du réseau sont déterminés par l'application de la technique du balayage de la ligne en arrière (backwardsweep technique), en calculant tout d'abord les courants de toutes les charges branchées au niveau des jeux de barres, les courants traversant les branches en ordre des lignes mineures, des lignes sous-latérales, des lignes latérales et de la ligne principale [36].

✓ Courant de charge

Le courant injecté à chaque jeu de barres est lié à la puissance absorbée par la charge connectée et à la tension au niveau du jeu de barres. Pour un jeu de barres (**i**), le courant injecté peut s'écrire [33] :

$$I_{Li} = \frac{S_{*Li}^*}{V_{*i}} \quad (\text{II.7})$$

✓ Courants des branches d'une ligne mineure

Le courant traversant une branche appartenant à une ligne mineure peut être calculé comme suit [31] :

$$I_b = I_{b+1} + I_{(b+1)} \quad (\text{II.8})$$

Où

$$\begin{cases} b = (JBDM_m - 1), \dots (JBTM_m - 1) \forall m, m = 1, 2, \dots N_m \\ I_{b+1} = 0 \text{ si } (b + 1) = JBTM_m \\ I_{bm,m} = I_b, \text{ si } b = b_{slm} \end{cases} \quad (\text{II.9})$$

N_m : Le nombre total des lignes mineures ;

I_b, I_{b+1} sont respectivement les courants des branches $b, b+1$;

$JBDM_m$: Le jeu de barres de départ de la $m^{ème}$ ligne mineure ;

$JBTM_m$: Le jeu de barres terminal de la $m^{ème}$ ligne mineure ;

$I_{bm,m}$: Le courant de branche dans la $m^{ème}$ ligne mineure ;

b_{slm} : Le numéro de la branche de la ligne sous-latérale avec la $m^{ème}$ ligne mineure.

✓ **Courants des branches d'une ligne sous-latérale**

Le courant traversant une branche appartenant à une ligne sous latérale s'écrit comme suit [33] :

$$I_b = I_{b+1} + I_{L(b+1)} + \sum_{m=1}^{N_m} I_{bm,m} \quad (II.10)$$

Où

$$\begin{cases} b=(JBDSI_{sl}-1),\dots,(JBTSI_{sl}-1)\forall sl,sl=1,2,\dots,N_{sl} \\ I_{b+1}=0, si(b+1)=JBTSI_{sl} \\ I_{bm,m} = 0, si(b+1) \neq n_{slm} \forall m, m = 1,2 \dots N_m, \\ I_{b+1}=0, si(b+1)=JBTSI_{sl} \\ I_{bsl,sl}=I_b, si b=b_{sl} \end{cases} \quad (II.11)$$

N_{sl} : Le nombre total des lignes sous-latérales ;

$JBDSI_{sl}$: Le jeu de barres de départ de la $sl^{ème}$ ligne sous-latérale ;

$JBTSI_{sl}$: Le jeu de barres terminal de la $sl^{ème}$ ligne sous-latérale ;

n_{slm} : Le numéro du jeu de barres commun dans la ligne sous-latérale par lequel débute la $m^{ème}$ ligne mineure ;

$I_{bsl,sl}$: Le courant de branche dans $sl^{ème}$ ligne sous-latérale ;

b_{sl} : Le numéro de la branche connectant la ligne latérale avec la $sl^{ème}$ ligne sous-latérale.

✓ **Courants des branches d'une ligne latérale**

Le courant traversant une branche appartenant à une ligne latérale s'écrit selon l'équation suivante [35] :

$$I_b = I_{b+1} + I_{L(b+1)} + \sum_{sl=1}^{N_{sl}} I_{bsl,sl} \quad (II.12)$$

Où

$$\left\{ \begin{array}{l} b = (JBDL_I - 1) \text{ jusqu'à } (JBTL_I - 1) \forall I, I = 1, 2, \dots, N_I, \\ I_{bSI, SI} = 0, \text{ si } (b + 1) \neq n_{SI} \forall SI, SI = 1, 2, \dots, N_{SI} \\ I_{b+1} = 0, \text{ si } (b+1) = JBTL_I \\ I_{bI, I} = I_b, \text{ si } b_{PI} \end{array} \right. \quad (\text{II.13})$$

N_I : Le nombre total des lignes latérales ;

$JBDL_I$: Le jeu de barres de départ de la $I^{ème}$ ligne latérale ;

$JBTL_I$: Le jeu de barres terminal de la $I^{ème}$ ligne latérale ;

$I_{bI, I}$: Le courant de branche dans la $I^{ème}$ ligne latérale ;

b_{PI} : Le numéro de la branche connectant la ligne principale avec la $I^{ème}$ ligne latérale ;

N_{SI} : Le numéro du jeu de barres commun dans la ligne latérale par Le quel débute la $SI^{ème}$ ligne sous-latérale.

✓ Courants des branches de la ligne principale

Le courant traversant une branche appartenant à une ligne principale s'écrit selon l'équation suivante [33] :

$$I_b = I_{b+1} + I_{L(b+1)} + \sum_{I=1}^{N_I} I_{bI, I} \quad (\text{II.14})$$

Où

$$\left\{ \begin{array}{l} b = 1, 2, \dots, (JBTP_P - 1) \\ I_{bI, b} = 0, \text{ si } (b + 1) \neq n_{PI} \forall I, I = 1, 2, \dots, N_I \\ I_{b+1} = 0, \text{ si } (b + 1) = JBTP_P \end{array} \right. \quad (\text{II.15})$$

$JBTP_P$: Le jeu de barres terminal de la ligne principale ;

N_{PI} : Le numéro du jeu de barres commun dans la ligne principale par lequel débute la $I^{ème}$ ligne latérale.

II.3.3.4. Amplitude et angle de la tension

Le courant dans la branche ($i, i+1$) s'écrit de deux façons [35] :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_i = \frac{P_I - jQ_I}{V_I < -\delta_I} \\ I_i = \frac{(V_I < \delta_I - V_{I+1} < \delta_{I+1})}{R_I + jX_I} \end{array} \right. \quad (\text{II.16})$$

En assimilant les équations, (II.16) on obtient :

$$\frac{(V_I < \delta_I - V_{I+1} < \delta_{I+1})}{R_I + jX_I} = \frac{P_I - jQ_I}{V_I < -\delta_I} \quad (\text{II.17})$$

En assimilant les parties réelles et les parties imaginaires des deux côtés de l'équation (II.20) on aura :

$$V_i^2 - V_i V_{i+1} < (\delta_{i+1} - \delta_i) = (P_i - jQ_i)(R_i + jX_i) \quad (\text{II.18})$$

En élevant les deux côtés de l'équation (II.18) à la puissance 2, on obtient :

$$\begin{cases} (V_i V_{i+1})^2 \cos(\delta_{i+1} - \delta_i)^2 = [V_i^2 - (P_i R_i + Q_i X_i)]^2 \\ (V_i V_{i+1})^2 \sin(\delta_{i+1} - \delta_i)^2 = (Q_i R_i - P_i X_i)^2 \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

En assemblant les équations (II.19) côté à l'autre, une nouvelle équation est obtenue :

$$(V_i V_{i+1})^2 = [V_i^2 - (P_i R_i + Q_i X_i)]^2 + (Q_i R_i - P_i X_i)^2 \quad (\text{II.20})$$

L'équation (II.20) s'écrit comme suit :

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (P_i R_i + Q_i X_i)^2 + (Q_i R_i - P_i X_i)^2 \quad (\text{II.21})$$

On obtient l'équation suivante :

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (P_i R_i)^2 + (Q_i X_i)^2 + (Q_i R_i)^2 + (P_i X_i)^2 \quad (\text{II.22})$$

Finalement, l'équation de l'amplitude de la tension au niveau de chaque jeu de barres du réseau de distribution radial est obtenue comme suit:

$$V_{i+1} = [V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (R_i^2 + X_i^2)(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2})]^{1/2} \quad (\text{II.23})$$

L'angle de tension peut s'écrire :

$$\tan(\delta_{i+1} - \delta_i) = \frac{(Q_i R_i + P_i X_i)}{[V_i^2 (P_i R_i + Q_i X_i)]} \quad (\text{II.24})$$

$$\delta_{i+1} = \delta_i - \tan^{-1}(\frac{(Q_i R_i + P_i X_i)}{[V_i^2 (P_i R_i + Q_i X_i)]}) \quad (\text{II.25})$$

II.3.3.5. Les pertes de puissance active et réactive

Les pertes de puissance active au niveau d'une branche (i) de la figure (II.7) s'écrivent comme suit [31] :

$$P_{Loss,i} = R_i \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} \quad (\text{II.26})$$

Les pertes totales de puissance active dans le réseau peuvent être déterminées en additionnant les pertes de toutes les branches de l'équation (II.26) :

$$P_{T, Loss} = \sum_{i=1}^{Nbr} P_{loss,i} \quad (\text{II.27})$$

Les pertes de puissance réactive au niveau d'une branche (i) s'écrivent comme suit:

$$Q_{Loss,i} = X_i \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} \quad (\text{II.28})$$

Les pertes totales de puissance réactive dans le réseau peuvent être déterminées en additionnant les pertes de toutes les branches de l'équation (II.28):

$$Q_{T, Loss} = \sum_{i=1}^{Nbr} Q_{Loss,i} \quad (\text{II.29})$$

II.4. Ecoulement de puissance optimal

Le problème de la répartition optimale des puissances est un problème d'optimisation dont L'objectif est de minimiser le coût total de la production d'un réseau électrique.

Si on prend en considération seulement la fonction objective, on parle alors d'une optimisation sans contraintes. Mais si on prend en considération les équations de l'écoulement de puissance, on est donc devant un problème d'optimisation avec contraintes d'égalités. Si on prend de plus les limites min. et max. des puissances générées par les alternateurs, la surcharge des lignes de transports et les niveaux de tensions admissibles pour les jeux de barres de charges, on est alors devant un problème d'optimisation avec contraintes d'égalités et d'inégalités [37].

II.4.1. Fonction objectif

Pour la détermination optimale de l'emplacement et de la taille de chaque DG installée dans le réseau de distribution, on a pris comme fonction objectif la minimisation des pertes totales de puissance active en assurant un bon profil de tension [25].

$$F_{obj} = \min \sum_{i=1}^{Nbr} P_{loss} (i) \quad (\text{II.30})$$

Où :

Nbr :est le nombre de branches dans le réseau de distribution ;

P_{loss} : est la perte de puissance active dans une branche.

II.4.2 Contraintes d'égalités

Ces contraintes sont l'image des lois physiques gouvernant le système électrique. Elles sont représentées par les équations non linéaires de l'écoulement de puissance. Il faut que la somme des puissances active et réactive injectées dans chaque jeu de barres soit égale à zéro [37].

$$g_i(x_1, \dots, x_n) = 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{II.31})$$

$$\Delta P_i = 0 = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) - P_{Gi} + P_{Di} \quad (\text{II.32})$$

$$\Delta Q_i = 0 = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) - Q_{Gi} + Q_{Di} \quad (\text{II.33})$$

II.4.3 Contraintes d'inégalités

En pratique, on ne doit pas dépasser les limites des éléments physiques du réseau électrique tels que les générateurs, les transformateurs à prises de charge, et les transformateurs de phase.

En plus des contraintes sur les puissances actives à chaque générateur qui a une influence directe sur la fonction coût, on peut citer d'autres contraintes d'inégalités :

- ✓ La puissance réactive générée Q_{Gi} qui est limitée par une borne inférieure $Q_{Gi \min}$ et une borne supérieure $Q_{Gi \max}$

$$Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi \max} \quad i = 1, \dots, ng \quad (\text{II. 34})$$

- ✓ Les transformateurs à prises de charge ont des déviations max. et min. du niveau de tension par rapport à la tension nominale. De même les transformateurs à angles de phase ont des décalages max. et min. des phases des tensions. Les deux types de transformateurs forment les contraintes d'inégalités suivantes:

$$\begin{cases} t_{ij \min} \leq t_{ij} \leq t_{ij \max} \\ \alpha_{ij \min} \leq \alpha_{ij} \leq \alpha_{ij \max} \end{cases} \quad (\text{II. 35})$$

- ✓ Pour maintenir la sécurité du système électrique, les lignes de transport et les transformateurs de puissances ont des limites sur le transit de puissance apparente. Ces

limites sont dues aux pertes thermiques dans les conducteurs, et/ou la stabilité du système. Elles sont représentées par une contrainte d'inégalité, qui limitera le carré de puissance en MVA d'un transformateur ou d'une ligne de transport.

$$|S_{ij}|^2 - |S_{ij\max}|^2 \leq 0 \quad (\text{II. 36})$$

- ✓ Pour garder la qualité de service électrique et la sécurité du système, les niveaux de tension des jeux de barres doivent toujours être entre leurs limites max. et min. Ces limites exigent encore l'addition des contraintes d'inégalités.

$$V_{i\min} \leq V_i \leq V_{i\max} \quad (\text{II. 37})$$

Donc il y'a n contraintes d'égalités et m contraintes d'inégalités et le nombre des variables du problème est égal à la taille du vecteur des variables de contrôle (y compris puissances active et réactive générées, niveaux de tension des jeux de barres, prises des transformateurs,... etc

- ✓ La limite de puissance transitée d'une branche située entre deux jeux de barres i et j

$$|P_{ij}^{ligne} \leq P_{ij\max}^{ligne}| \quad (\text{II. 38})$$

P_{ij}^{ligne} et $P_{ij\max}^{ligne}$ sont respectivement la puissance absolue et la valeur maximale admissible circulant dans la branche entre deux jeux de barres i et j.

- ✓ Les limites des puissances générées par les DGs :

$$P_{DGi}^{\min} \leq P_{DGi} \leq P_{DGi}^{\max} \quad (\text{II. 39})$$

$$Q_{DGi}^{\min} \leq Q_{DGi} \leq Q_{DGi}^{\max} \quad (\text{II. 40})$$

Où P_{DGi} et Q_{DGi} sont respectivement les puissances actives et réactives injectées par la DG au jeu de barre 'i'.

- ✓ Emplacement des DGs

$$JB^{\min} \leq JB^i \leq JB^{\max} \quad (\text{II. 41})$$

- ✓ Les contraintes d'équilibre de puissances:

$$P_G + \sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DGi} = \sum_{i=1}^{N_{JB}} P_{Di} + \sum_{i=1}^{N_{br}} P_{Loos} \quad (\text{II. 42})$$

Où :

N_{br} : est le nombre total des branches ;

P_{Loos} : sont les pertes de puissances actives totales dans le système ;

P_{DG_i} : est la puissance active générée par la DG au jeu de barre i ;

P_{Di} : est la puissance demandée au jeu de barre i ;

P_G : est la puissance générée provenant de la source.

II.4.3.1 méthode d'optimisation

Ces méthodes peuvent être classées en quatre catégories :

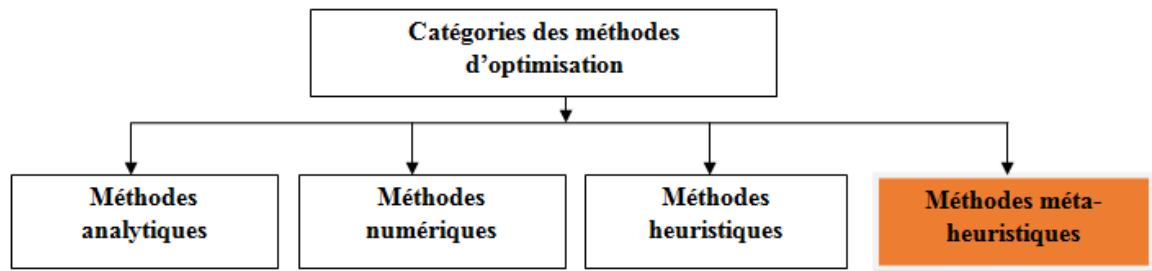


Figure II.8 : Les méthodes d'optimisations.

II.4.3.1.1 Méta-heuristiques

Les méta-heuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes Génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis, des sauts de grenouilles, des lucioles ou de l'optimisation par essaims de particules).

Le principe des méta-heuristiques est de minimiser ou de maximiser une fonction objective.

Leur avantage est de trouver un minimum global à un problème de minimisation et de ne pas rester bloqué sur un minimum local [25].

II.4.3.1.2 Algorithmes des méta-heuristiques les plus répondues

- Algorithme d'optimisation de colonie de fourmi ;

- Algorithme d'optimisation de colonie d'abeilles artificielles (ABC) ;
- Algorithme d'évolution différentielle ;
- Algorithmes génétiques (Genetic Algorithms) ;
- Algorithme par sauts de grenouilles ;
- Algorithme à essaim de particules (Particle Swarm Optimiser) ;
- Algorithme de luciole (Firefly algorithm).

II.5 Conclusion

Le présent chapitre, est consacré aux réseaux de distribution ainsi que leurs EP et EPO, une méthode itérative a été présentée dite BFS. Cette méthode est exécutée en deux phases. Un balayage en montée, pour calculer les puissances, les pertes de puissance et les courants dans les branches de la ligne, et un balayage en descente, pour déterminer les tensions des nœuds et leurs phases à l'origine.

Cette méthode est simple à mettre en œuvre et rapide, converge systématiquement. Un autre calcul dans la phase qui suit concerne l'EPO, Pour déterminer, la taille et l'emplacement optimale vis-à-vis la minimisation des pertes actives du système et tout en prenant en compte quelques contraintes.

Chapitre III :
Application et
étude des cas.

III.1 Introduction

L'intégration de la DG au réseau de distribution présente de nombreux avantages tels que : réduction des pertes de puissance, amélioration du profil de tension, équilibrage de charge, augmentation de la fiabilité du système électrique. Cependant, la présence de ces sources conduit les réseaux de distribution à perdre leur nature radiale. Certains problèmes de coordination des dispositifs de protection se produiront, en raison de changements de valeur et de direction du flux de puissance (en fonctionnement normal) et des niveaux de courant de court-circuit en différents points (dans des conditions de défaut) [38, 39,40].

Les problèmes d'optimisation en génie électrique présentent plusieurs difficultés liées aux besoins de l'utilisateur (recherche d'une solution globale, fiabilité et précision de la solution, diversité des problèmes traités, temps de calcul raisonnable, etc.) [41]. Les techniques de localisation et de dimensionnement de la DG peuvent être basées sur des algorithmes d'intelligence artificielle, et méthodes avancées basées sur des algorithmes méta-heuristiques, ou algorithmes déterministes [42, 43].

Dans ce travail, nous allons appliquer la méthode d'optimisation avancée (Firefly Algorithme) sous l'environnement Matlab pour optimiser le fonctionnement des DG à travers la recherche de la meilleure taille et du meilleur emplacement du système hybride (photovoltaïque et système éolien) PV/SE dans le réseau de distribution IEEE 33 nœuds.

III.2 Firefly algorithme (l'algorithme de luciole)

L'algorithme de luciole (AL) proposé par Yang en 2009 [44]. Il est considéré comme un algorithme non conventionnel basé sur l'essaim pour les tâches d'optimisation limitées inspirées par le comportement des lucioles. L'algorithme constitue une procédure itérative basée sur la population, nombreux agents (perçus comme des lucioles) qui résolvent simultanément un problème d'optimisation considéré. Les agents communiquent entre eux par l'intermédiaire d'une lumière bioluminescente qui leur permet d'explorer l'espace des fonctions mieux que de chercher d'une façon aléatoire. La technique d'optimisation de l'intelligence repose sur l'hypothèse que la solution d'un problème d'optimisation peut être perçue comme un agent (luciole) qui brille proportionnellement à sa qualité dans une situation problématique considérée. Par conséquent, chaque luciole plus brillante attire ses partenaires (quel que soit leur sexe), ce qui rend l'espace de recherche explorée plus efficace (Binitha et Sathya, 2012) [44].

III.2.1 Formulation Mathématique de la méthode

- **Attractivité :**

Dans l'algorithme des lucioles, la principale forme de la fonction d'attractivité peut être n'importe quelle fonction monotone décroissante telle que la forme générale suivante

$$\beta_{ij} = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^m}, (m \geq 1) \quad (\text{III.1})$$

- **Distance :**

La distance entre n'importe quelles deux lucioles i et j aux emplacements x_i et x_j respectivement est la distance cartésienne.

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (\text{III.2})$$

Où

X_i : est la i ème composante de la i ème luciole, et d est le nombre de dimensions. Pour $d = 2$.

On a :

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (\text{III.3})$$

- **Mouvement :**

Le déplacement d'une luciole i attirée par une luciole j plus lumineuse (attrayante), est déterminé par:

$$X_i = X_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (X_j - X_i) + \alpha (\text{rand} - 1/2) \quad (\text{III.4})$$

III.2.2 Algorithme de la méthode AL

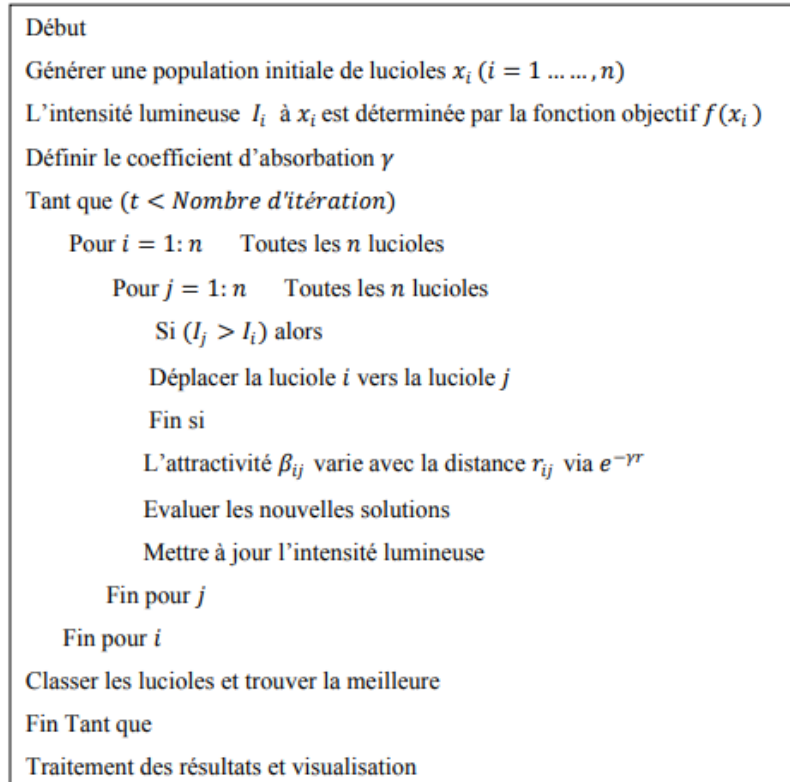


Figure III.1 : algorithme des lucioles.

III.2.3 Application de l'AL pour la résolution du problème de l'OPF.

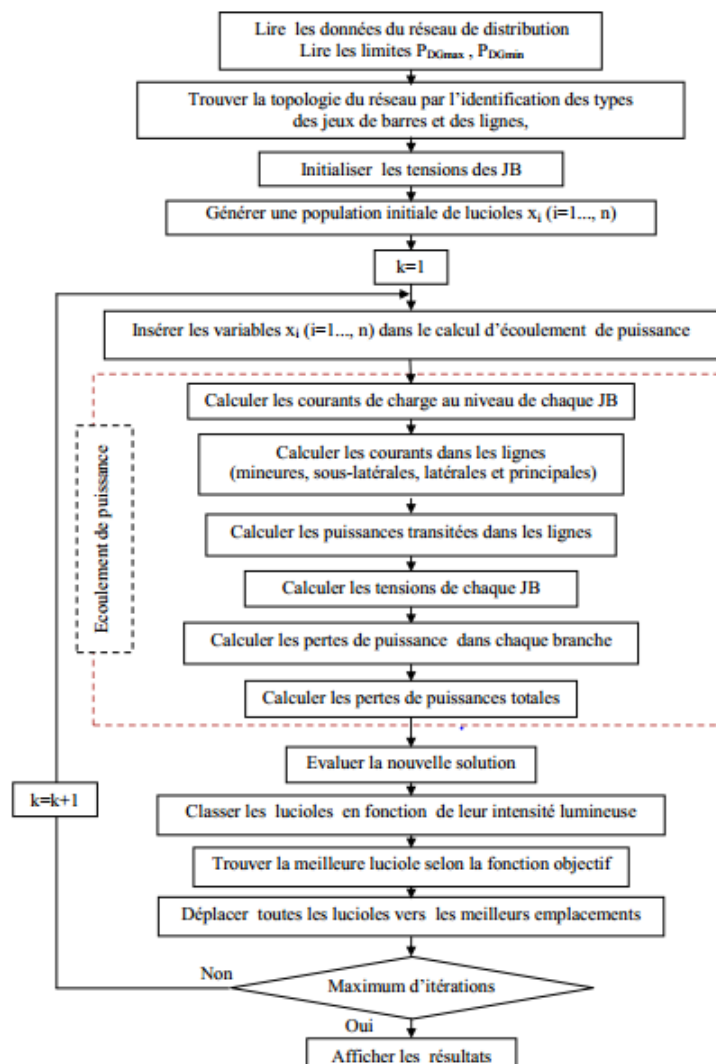
Nous allons résoudre le problème de l'OPF d'un RD sous l'effet d'une intégration optimale de DGs, par l'application de la méthode AL .où nous allons considérer la somme des pertes joules dans les branches du réseau choisie pour l'étude comme fonction objectif, sous les contraintes considérées.

Le Tableau III.1 représente les Paramètres de la méthode lucioles Les paramètres d'application du Firefly pour résoudre le problème d'optimisation de l'emplacement et de la taille des DGs dans le réseau de distribution sont donnés comme suit:

Tableau III.1: Les Paramètres de la méthode lucioles.

Nombre de lucioles	20
Maximum d'itérations	10
Paramètre de répartition (α)	0.25
Valeur minimale d'attractivités (β)	0.2
Coefficient d'absorption (γ)	1

III.2.3.1 L'organigramme d'AL pour l'emplacement et dimensionnement optimal de système DG



III.3 Illustration

Tout calcul de l'écoulement de puissance nécessite une base de données qui représente les caractéristiques des lignes, des charges et des sources du réseau.

III.3.1 Donnée de réseau de distribution IEEE 33-nœuds

Les caractéristiques du réseau de distribution IEEE 33-nœuds sont données comme suit:

- Nombre de jeux de barres (JB) =33;
- Nombre de branches (NB) =32;
- Tension de base =12,66 kV;

- Puissance de base = 100MVA.

Pour les données des lignes et des charges et le nœud de départ et l'arrive sont présentées dans l'annexe.

Le schéma simplifié du réseau de distribution IEEE 33-nœuds donnée comme suit:

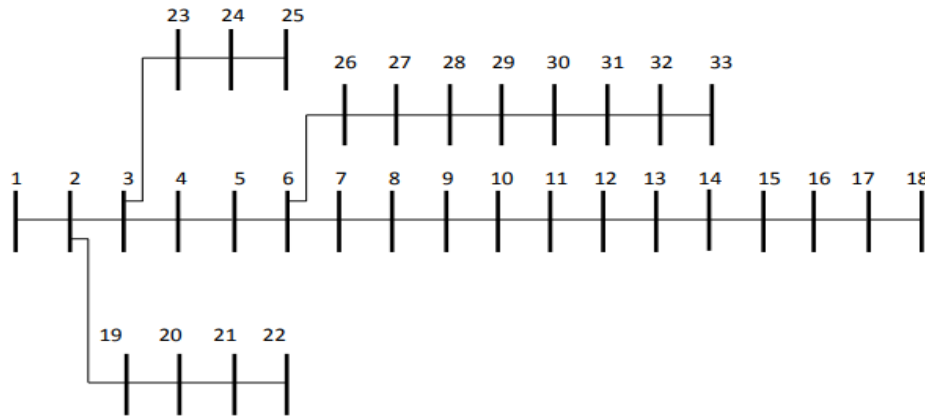


Figure III. 2 : Représentation simplifiée du réseau de distribution IEEE33-bus.

Le taux de pénétration des DG est considéré dans une marge de 10 à 30% Avec un nombre de DG limité à 2 par rapport la charge active total demandée pour des considérations physiques, techniques et économiques.

Nous allons considérer 03 cas, le premier représente le réseau en l'absence des DG, le deuxième, présence d'une DG ; soit PV à un facteur de puissance égale à 1, et le troisième cas en présence de deux DG une PV avec un facteur de puissance égale à 1 et une autre éolienne de facteur de puissance égale à 0.9.

III.3.2 Résultats des simulations

III.3.2.1 Cas numéro 01 (sans DG)

Les tableaux III.2 et III.3 représentent les résultats de calcul de l'écoulement de puissances (les tensions et l'angle de phase pour chaque jeu de barre et les Pertes de puissances active et réactive pour chaque branche).

Tableau III.2 : Les tensions et les angles de phase pour chaque jeu de barre : cas01.

JB	Tension (pu)	Phase (rad)	JB	Tension (pu)	phase (rad)	JB	Tension (pu)	Phase (rad)
1	1.0000	0.0000	12	0.9271	-0.0032	23	0.9794	0.0012
2	0.9970	0.0003	13	0.9210	-0.0048	24	0.9727	- 0.0004

3	0.9830	0.0017	14	0.9187	-0.0063	25	0.9694	- 0.0012
4	0.9755	0.0029	15	0.9173	-0.0069	26	0.9479	0.0032
5	0.9682	0.0041	16	0.9160	-0.0074	27	0.9453	0.0043
6	0.9498	0.0025	17	0.9140	-0.0088	28	0.9339	0.0059
7	0.9463	-0.0015	18	0.9134	-0.0089	29	0.9257	0.0074
8	0.9415	-0.0009	19	0.9965	0.0001	30	0.9222	0.0093
9	0.9352	-0.0023	20	0.9929	-0.0011	31	0.9180	0.0079
10	0.9294	-0.0035	21	0.9922	-0.0015	32	0.9171	0.0075
11	0.9286	-0.0033	22	0.9916	-0.0018	33	0.9168	0.0074

Tableau III.3. Pertes de puissances active et réactive pour le cas N°01.

Branche	Perte active (Kw)	Perte réactive (Kvar)	Branche	Perte active (Kw)	Perte réactive (Kvar)
1	12.1927	6.2154	17	0.0531	0.0416
2	51.5711	26.2668	18	0.1610	0.1536
3	19.7934	10.0806	19	0.8322	0.7498
4	18.5931	9.4697	20	0.1008	0.1177
5	38.0256	32.8256	21	0.0436	0.0577
6	1.9131	6.3238	22	3.1812	2.1737
7	4.8342	1.5976	23	5.1432	4.0613
8	4.1773	3.0012	24	1.2873	1.0073
9	3.5575	2.5216	25	2.5940	1.3213
10	0.5531	0.1829	26	3.3211	1.6909
11	0.8802	0.2911	27	11.2766	9.9424
12	2.6638	2.0958	28	7.8180	6.8108
13	0.7286	0.9590	29	3.8881	1.9805
14	0.3569	0.3176	30	1.5928	1.5742
15	0.2813	0.2054	31	0.2131	0.2484

16	0.2515	0.3358	32	0.0132	0.0205
Les Pertes de puissance active totale (Kw)			195.5841		
les Pertes de puissance réactive totale (Kvar)			127.6563		
Nombre d'itération			10		

Dans le cas01 (cas de base) et à partir des tableaux précédents, la valeur minimale de tension coïncide le nœud 18 elle est égale à 0.9134 (pu), cette une marge de stabilité du système. les Pertes de puissances actives et réactive total vaux 195.5841 Kw et 127.6563 Kvar, respectivement.

Les figures III.3 et III.4représentent le profil de tension pour chaque JB et les Pertes de puissances actives et réactive pour chaque branche.

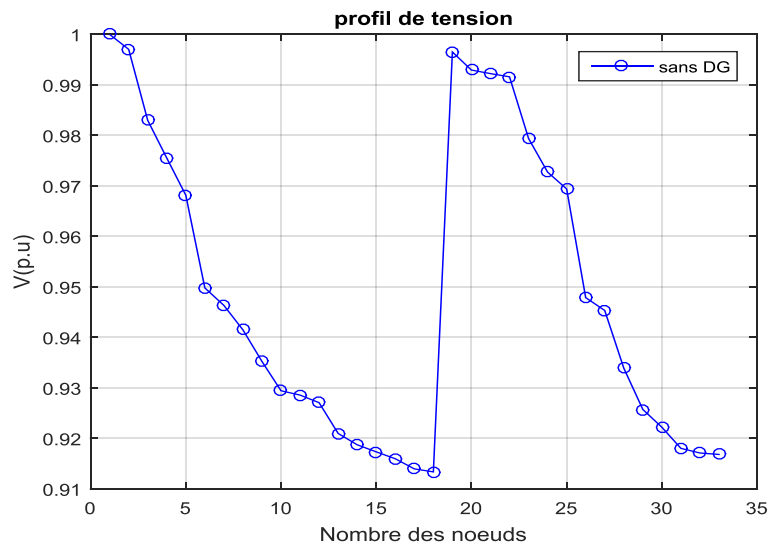


Figure III.3 : Tension à chaque jeu de barres: cas 01.

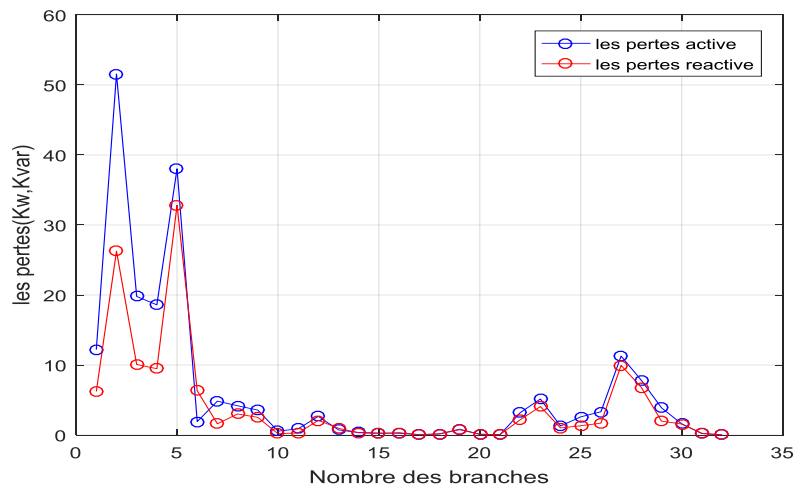


Figure III.4 :Les Pertes de puissance active et réactive par branche: cas 01.

III.3.2.2Cas numéro 02 avec DG (PV)

Les tableaux III.4 et III.5 représentent les résultats de calcul de l'écoulement de puissances optimal (les tensions et les angles de phase pour chaque jeu de barre et les Pertes de puissances active et réactive pour chaque branche) en présence d'une DG (PV).

Tableau III.4: Les tensions et les angles de phase pour chaque jeu de barre : cas 02.

JB	Tension (pu)	Phase (rad)	JB	Tension (pu)	Phase (rad)	JB	Tension (pu)	Phase (rad)
1	1.0000	0.0000	12	0.9425	0.0023	23	0.9803	0.0022
2	0.9974	0.0004	13	0.9366	0.0009	24	0.9737	0.0007
3	0.9839	0.0028	14	0.9344	-0.0004	25	0.9703	-0.0001
4	0.9754	0.0047	15	0.9331	-0.0010	26	0.9628	0.0081
5	0.9698	0.0068	16	0.9318	-0.0014	27	0.9603	0.0091
6	0.9647	0.0074	17	0.9299	-0.0026	28	0.9491	0.0108
7	0.9613	0.0036	18	0.9293	-0.0027	29	0.9411	0.0124
8	0.9565	0.0042	19	0.9968	0.0001	30	0.9376	0.0143
9	0.9504	0.0030	20	0.9932	-0.0010	31	0.9335	0.0130
10	0.9448	0.0020	21	0.9925	-0.0014	32	0.9326	0.0126
11	0.9440	0.0021	22	0.9918	-0.0017	33	0.9323	0.0125
La taille optimale de DG (PV)				600.2268 KW				
L'emplacement optimal de DG (PV)				Au Jeu de barre N°28				

Tableau III.5. Pertes de puissances active et réactive : cas 02.

Branche	Pertes active (kW)	Pertes réactive (kVar)	Branche	Pertes active (kW)	Pertes réactive (kVar)
1	9.5756	4.8813	17	0.0423	0.0332
2	48.3222	24.6120	18	0.2586	0.2468
3	26.2215	13.3543	19	0.8318	0.7495
4	11.9252	6.0737	20	0.1007	0.1177
5	3.0032	2.5925	21	0.0436	0.0577
6	1.8229	6.0256	22	3.1750	2.1695
7	4.5882	1.5163	23	5.1332	4.0534
8	3.9403	2.8309	24	1.2848	1.0053
9	3.3481	2.3732	25	2.5099	1.2784
10	0.5191	0.1716	26	3.2131	1.6359
11	0.8237	0.2724	27	10.9092	9.6184
12	2.4804	1.9516	28	7.5630	6.5887
13	0.6740	0.8872	29	3.7612	1.9158
14	0.3222	0.2868	30	1.5405	1.5224
15	0.2479	0.1823	31	0.206	0.2402
16	0.2159	0.2883	32	0.127	0.0198
Pertes de puissance active (kW)			149.9680		
Pertes de puissance réactive (kVar)			91.7122		
Nombre d'itérations			10		

A partir des tableaux précédents, avec une DG (PV) l'optimisation de l'emplacement à abouti à la localisation au nœud 28, avec une taille optimale égale à 600.2268 Kw.

Dans ce cas la tension minimale est de 0.9293 (pu) avec une correction de 0.0159 p.u c'est-à-dire 0.2012Kv comparée à la valeur du cas de base. Aussi Les pertes active et réactive total diminuent où elle atteints les 149.9680 kw et 91.7122 kvar respectivement avec un taux de réduction égale à 23.32% et 28.16%.

Les figures III.5 et III.6 représentent le profil de tension pour chaque JB ainsi que les pertes de puissances actives et réactive pour chaque branche dans le cas 02.

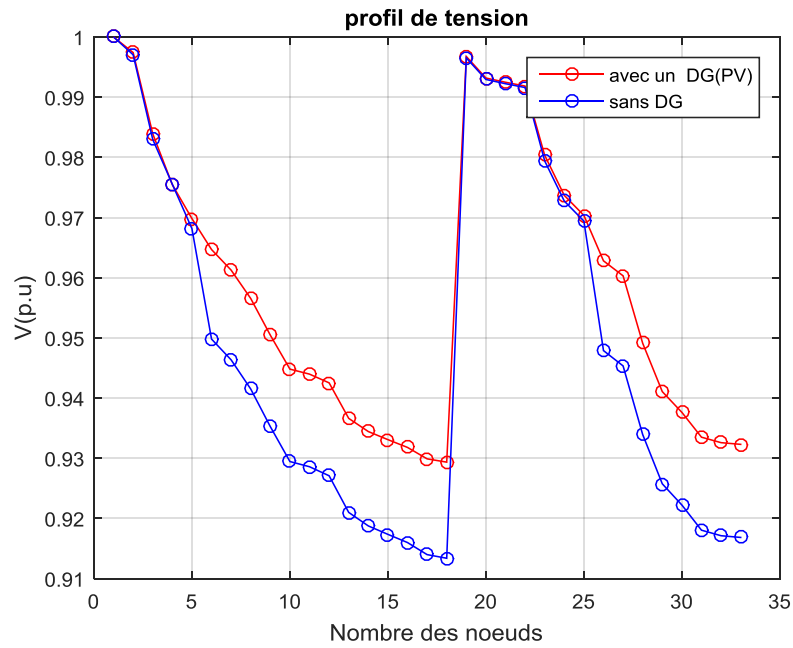


Figure III.5 : Tension à chaque jeu de barres du cas 02.

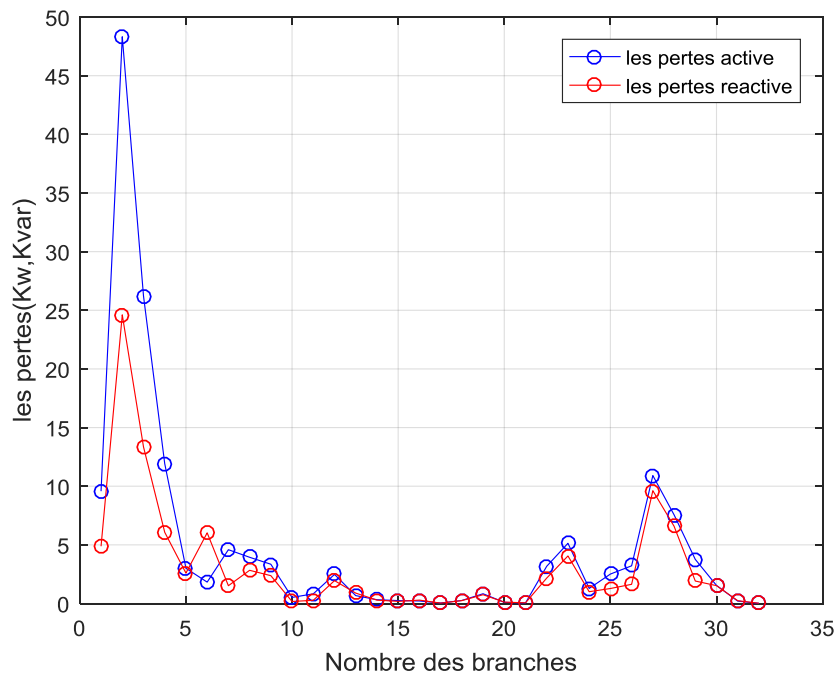


Figure III.6 : Les Pertes de puissance active et réactive : cas 02.

III.3.2.3 Cas 03 : intégration d'un système hybride DG (PV/éolien)

Les tableaux III.6 et III.7 représentent les résultats de calcul de l'écoulement de puissances optimal avec présence d'un système hybride.

Tableau .III.6. Les tensions et les angles de phase pour chaque jeu de barre : cas03.

JB	La tension (pu)	Phase (rad)	JB	La tension (pu)	Phase	JB	La tension (pu)	Phase (rad)
1	1.0000	0.0000	12	0.9467	0.0113	23	0.9816	0.0043
2	0.9976	0.0008	13	0.9408	0.0100	24	0.9749	0.0028
3	0.9852	0.0048	14	0.9386	0.0087	25	0.9716	0.0021
4	0.9775	0.0081	15	0.9372	0.0082	26	0.9669	0.0167
5	0.9727	0.0115	16	0.9359	0.0078	27	0.9659	0.0161
6	0.9688	0.0159	17	0.9340	0.0067	28	0.9548	0.0180
7	0.9653	0.0122	18	0.9335	0.0066	29	0.9468	0.0196
8	0.9606	0.0129	19	0.9970	0.0005	30	0.9434	0.0215
9	0.9546	0.0118	20	0.9934	-0.0007	31	0.9393	0.0203
10	0.9489	0.0109	21	0.9927	-0.0010	32	0.9384	0.0199
11	0.9481	0.0111	22	0.9920	-0.0014	33	0.9381	0.0198
La taille et l'emplacement optimal de DG (PV)					600.2268kwau JB N°28			
L'emplacement optimal de DG (SE)					613.4565 kvaau JBN°12 (au FP=0.9)			

Tableau III.7 : Pertes de puissances active et réactive: cas 03.

Branche	Pertes active (kw)	Pertes réactive (Kvar)	Branche	Pertes active (kw)	Perte réactive (Kvar)
1	8.7251	4.4477	17	0.0419	0.0329
2	43.9715	22.3960	18	0.2585	0.2467
3	23.9898	12.2177	19	0.8314	0.7492
4	11.3725	5.7922	20	0.1007	0.1176
5	3.7955	3.2765	21	0.0436	0.0576
6	1.8071	5.9735	22	3.1667	2.1638
7	4.5483	1.5031	23	5.1197	4.0428
8	3.9058	2.8061	24	1.2814	1.0027
9	3.3188	2.3524	25	2.4798	1.2631

10	0.5146	0.1701	26	0.6388	0.3253
11	0.8164	0.2700	27	10.7762	9.5011
12	2.4586	1.9344	28	7.4707	6.5083
13	0.6681	0.8794	29	3.7152	1.8924
14	0.3194	0.2842	30	1.5215	1.5037
15	0.2475	0.1807	31	0.2035	0.2372
16	0.2140	0.2858	32	0.0126	0.0195
Pertes de puissance active (kW)			129.9557		
Pertes de puissance réactive (kvar)			81.0520		

A partir des tableaux précédents, par présence de deux DG hybrides, l'optimisation par AL de la taille et l'emplacement à donner 600.2268 kw et 613.4565 kva au jeu de barres 28 et 12 respectivement.

La valeur minimale toujours aux nœuds 18 de la tension est égale à 0.9335 (pu) avec une correction de 0.0201 (pu) c'est-à-dire 0.2545 Kv.

De plus, les pertes active et réactive totales diminuent, elles sont égales à 129.9557 kw et 81.0520 kvar avec un taux de réduction de 33.56% et 36.51%.

Les figures III.7 et III.8 représentent le profil de tension pour chaque JB et les Pertes de puissances actives et réactive.

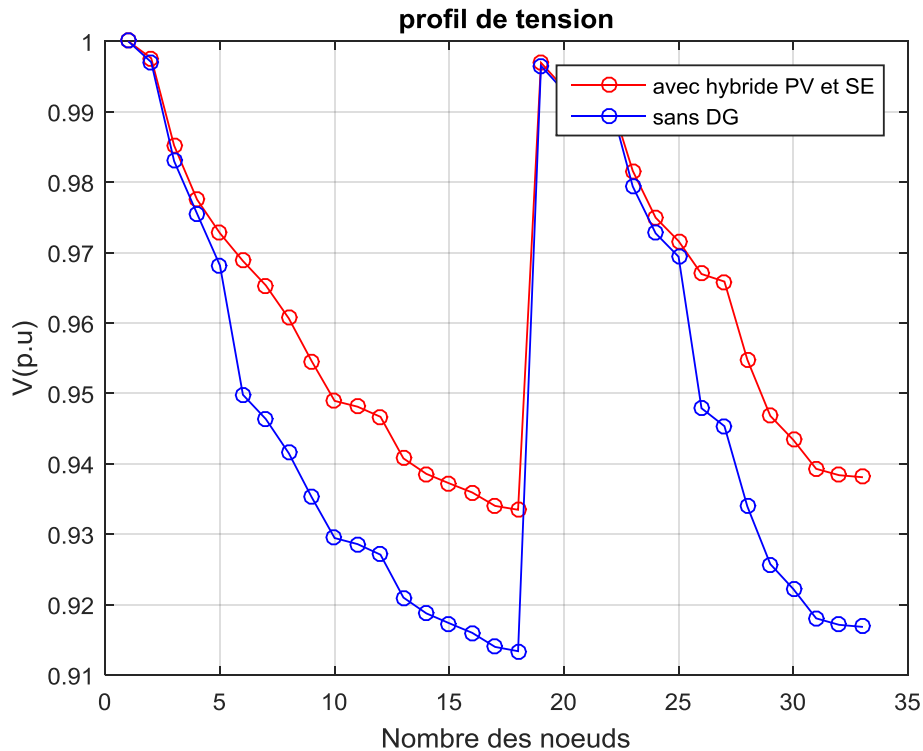


Figure III.7 : Tension à chaque jeu de barres du cas 03.

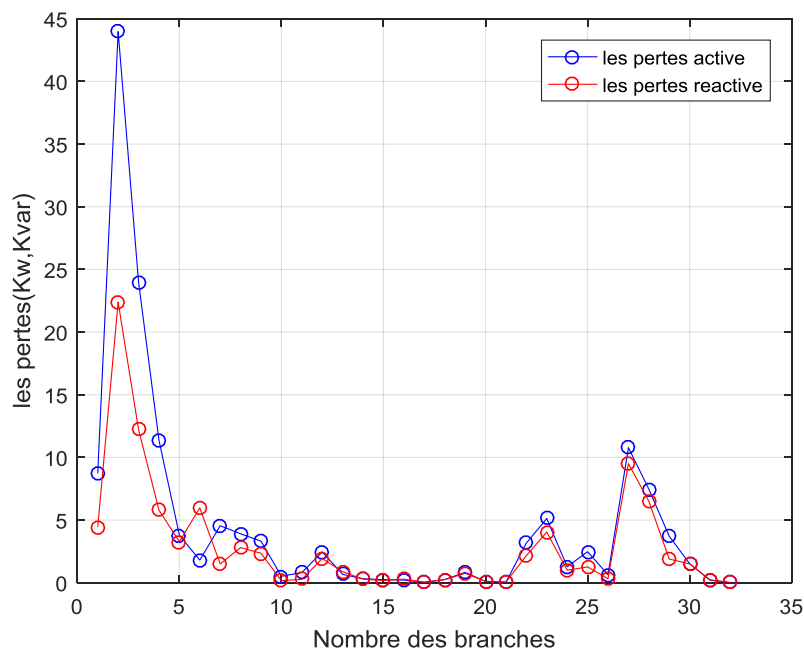


Figure III.8: Les Pertes de puissance active et réactive par chaque branche dans IEEE 33 nœuds avec présence de 2 DG (PV et SE.)

La lecture des résultats obtenus, nous mène à constater que l'intégration optimale d'un système DG qui repose principalement sur les énergies renouvelables donne une

solution optimale pour stabiliser la tension et réduire les pertes d'énergie en utilisant l'algorithme d'optimisation de luciole.

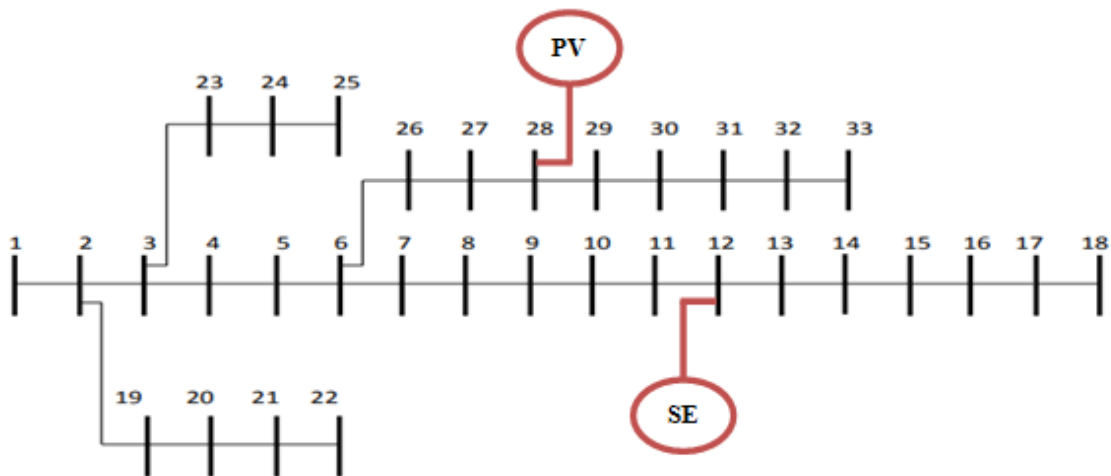


Figure III.9 : Emplacement optimal

L'algorithme des lucioles "Firefly Algorithm" permet de fournir rapidement des solutions qui sont proches de la solution optimale grâce aux mouvements des lucioles en fonction d'attractivité et d'intensité qui définissent la fonction objectif.

III.4 Dimensionnement du système PV

Après avoir calculé les tailles et les emplacements des DGs, nous voulons dans ce qui suit essayer de donner une idée sur les calculs par simulations appliqués au dimensionnement des systèmes de production à énergie renouvelables, et utiliser des logiciels spécialisés.

L'optimisation par AL de la taille et l'emplacement à donner:

- 600.2268 Kw charge PV ;
- 613.4565 Kva charge éolienne.

III.4.1. Présentation de logiciel de simulation PVSYST

Le PVSYST est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique guidée dans le développement d'un projet. PVSYST permet

d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [45].

III.4.2. La conception du système

La conception du système par le PVsyst est basée sur une procédure rapide et simple :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible ;
- Choisir les modules PV dans la base de données interne ;
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne.

Et PVsyst propose une configuration du système, pour réaliser une première simulation et évaluation.

✓ Conception du système PV

Pour la conception d'un système il faut ouvrir un nouveau projet tels que présenté par la figure

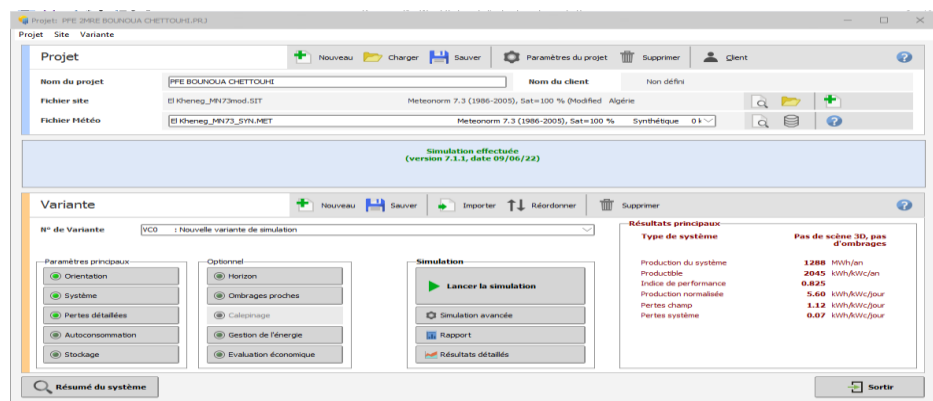


Figure III.10 : Désignation du projet dans PVSYST.

✓ Dimensionnement de la charge DG = 600,3 kW

Sous-champ

Nom et orientation du sous-champ
 Nom: Champ PV
 Orient: Plan incliné fixe
 Inclinaison: 32°
 Azimut: 0°

Aide au dimensionnement
☐ Pas de prédim.
☒ Redimens. (Entrez Prom désirée: 600.3 kWc ou surface disponible(modules): 3898 m²)

Sélection du module PV

Disponibles: Tous les modules PV
 Modules nécessaires approx. 2401

Yingli Solar - YL250P-29b
 250 Wp 25V Si-poly YL250P-29b Depuis 2015 Manufacture 2015

Dimens. des tensions: Vmp(60°C) 25.6 V
 Voc(-10°C) 42.1 V

Sélection de l'onduleur

Tous les onduleurs
 Tension de sortie: 320 V Tri 50Hz
 50 Hz
 60 Hz

Tous les fabricants
 605 kW 468 - 820 V TL 50/60 Hz Ingecon Sun 605 TL M320 DCAC Outdoor Inoateam

Nb. d'entrées MPPT 3
 Tension de fonctionnement: 468-820 V Puissance onduleur utilisée 605 kWac
☒ Utilise multi-MPPT Tension entrée maximale: 1000 V onduleur avec 3 MPPT

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes
 Mod. en série 20 entre 19 et 23
 Nb. chaînes 121 seule possibilité 121

Cond. de fonctionnement
 Vmp(60°C) 513 V
 Vmp(20°C) 636 V
 Voc(-10°C) 841 V

Irradiance plan 1000 W/m²
 Inpp(5TC) 1002 A
 Isc(5TC) 1070 A
 Iac(jaux 5TC) 1070 A

Max. données STC
 Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C) 540 kW
 Puiss. nom. champ (STC) 605 kWc

Résumé système global

Nombre de modules	2400
Surface modules	3529 m²
Nbre d'onduleurs	1
Puissance PV nominale	605 kWc
Puissance PV maximale	590 kWDC
Puissance AC nominale	605 kWAC
Rapport Prom	1.000

Figure III.11 : Configuration du système dans PVSYST.

Le schéma de la centrale PV raccordée au réseau prise en compte dans la simulation est illustré à la figure (III.12).

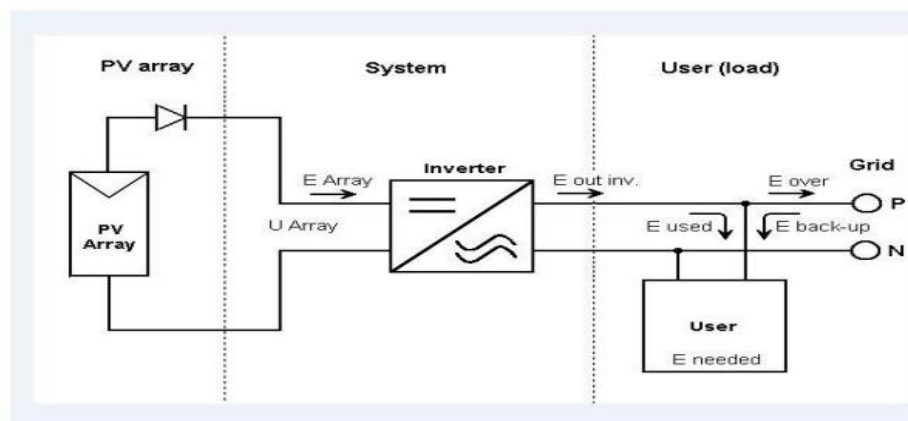


Figure III .12: schéma simplifié d'une centrale PV raccordée au réseau (PVSYST).

✓ Caractéristique du module choisie : Yingli_YL250P-29b

Définition d'un module PV

Données de base | Dimensions et Technologie | Paramètres modèle | Données additionnelles | Commercial | Graphiques

Modèle: YL250P-29b | Fabricant: Yingli Solar
 Nom fichier: Yingli_YL250P-29b_2015.PAN | Source données: Manufacturer 2015
 Base de données PVsyst originale | Prod. depuis 2015

Puissance nom. (aux STC): 250.0 Wc Tol. +/- 0.0 3.0 %
 Technologie: Si-poly

Spécifications fabricant ou autres mesures

Cond. de référence	GRef	1000 W/m²	TRef	25 °C
Courant de court-circuit	Isc	8.840 A	Circuit ouvert Vco	37.70 V
Point de Puissance max.	Imp	8.270 A	Vmpp	30.20 V
Coefficient de tempér.	muIsc	3.7 mA/°C	Nbre cellules	60 en série
	ou muIsc	0.042 %/°C		

Résumé du modèle

Paramètres principaux

R parall.	225 Ω
Rparall(G=0)	734 Ω
R série model	0.37 Ω
R série max.	0.41 Ω
R série apparent	0.54 Ω

Paramètres modèle

Gamma	0.967
IoRef	0.09 nA
muVco	-127 mV/°C
muPMax fixé	-0.43 /°C

Résultats du modèle interne

Cond. de fonctionnement	GOper	1000 W/m²	TOper	25 °C
Point de Puissance max.	Pmpp	249.7 W	Coeff. de température	-0.42 %/°C
	Courant Imp	8.28 A	Tension Vmpp	30.2 V
Courant de court-circuit	Isc	8.84 A	Circuit ouvert Vco	37.7 V
Efficacité / Surf. cellules		17.11 %	/ Surf. module	15.38 %

Voir optimisation | Export vers table | Imprimer | Annuler | OK

Figure III.12 : Caractéristiques du module.

✓ Caractéristiques $I=f(v)$ du module

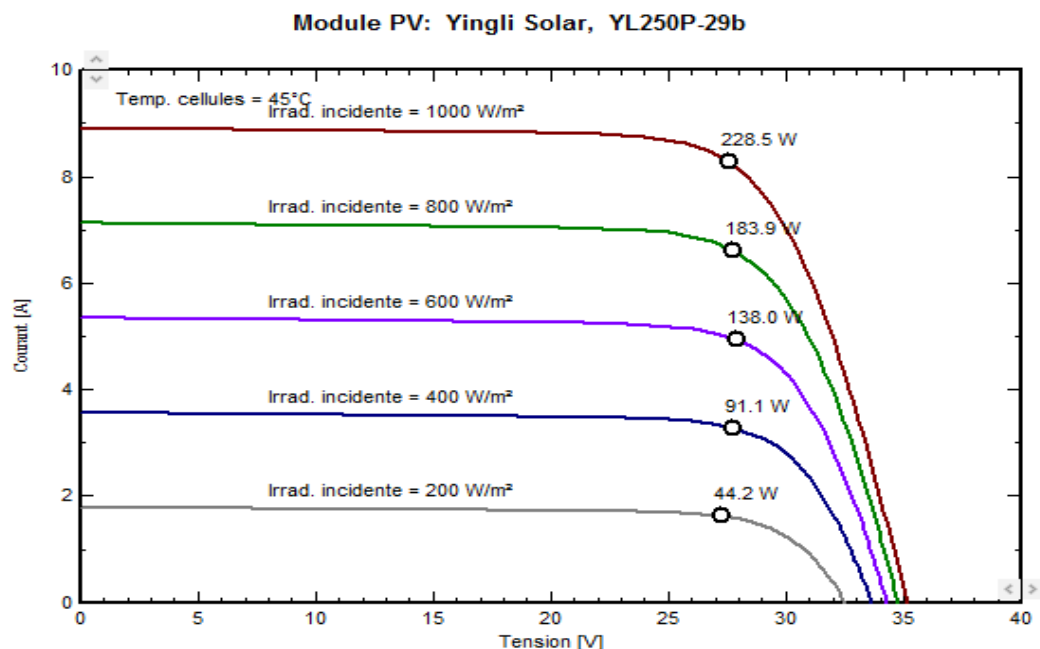


Figure III.14 : (a) :Influence de l'irradiation sur les caractéristiques $I=f(V)$.

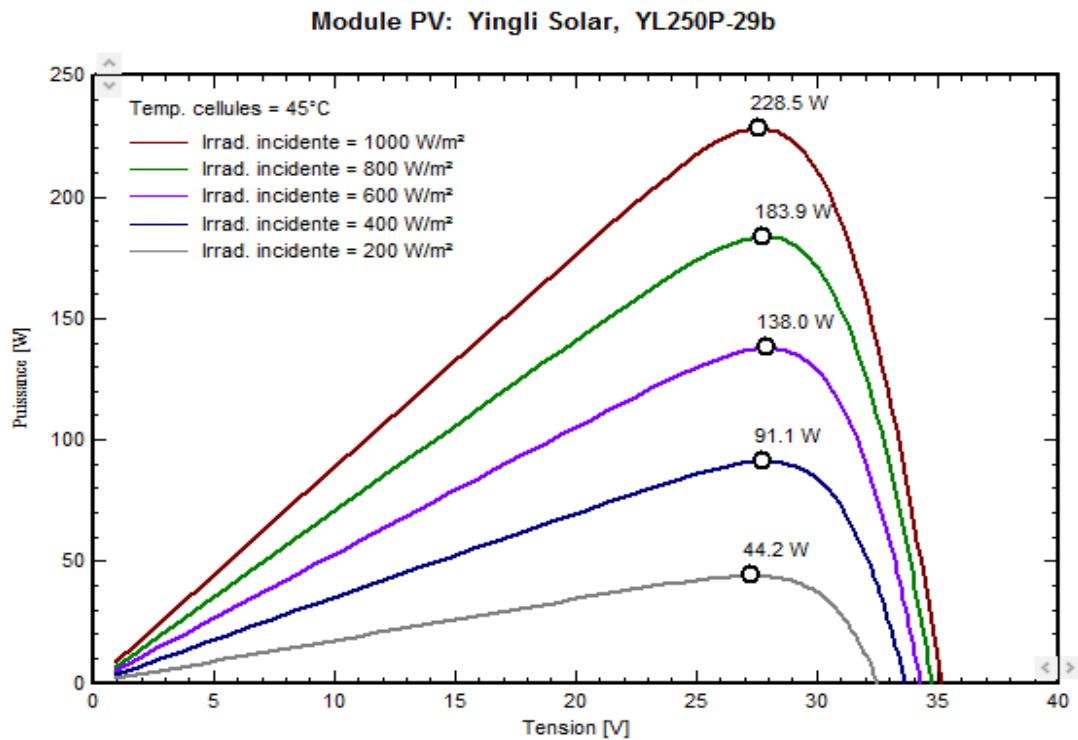


Figure III.15 : Influence de la température sur les caractéristiques $P=f(V)$.

✓ Caractéristiques de l'onduleur choisi

On a choisie comme onduleur de type Sungrow_SG630MX.OND

Paramètres principaux Courbe d'efficacité Paramètres additionnels Paramètres de sortie Dimensions et Technologie Données commerciales

Modèle SG630MX Fabricant Sungrow

Nom fichier Sungrow_SG630MX.OND Source des données Manufacturier 2016

Base de données PVsyst originale Prod. depuis 2012

Entrée (DC, Champ PV)

Tension MPP minimale 520 V

Tension min. pour PNom N/A V

Courant d'entrée maximum N/A A

Tension MPP nominale N/A V

Tension MPP maximale 850 V

Tension PV max. absolue 1000 V

Puissance seuil 3119 W ☒ Défaut

Spécification contractuelle, sans réelle signification physique ? Obligatoire

Puissance PV nominale 639 kW

Puissance PV maximale 700 kW ☐

Courant PV maximum 1356 A ☐

Sortie (Réseau AC)

☐ Monophasé ☒ Triphasé ☐ Biphasé

Fréquence ☒ 50 Hz ☒ 60 Hz

Tension du réseau 360 V

Puissance AC nominale 630 kW

Puissance AC maximale 693 kW

Courant AC nominal 1010 A ☒

Courant AC maximum 1111 A ☒

Efficacité

Efficacité maximale 99.00 % ?

Efficacité EURO 98.70 %

☐ Efficacité définie pour 3 tensions

Figure III.16 : Caractéristiques de l'onduleur choisie.

III.4.3 Résultat de dimensionnement

Pour l'implémentation de cette station (mini centrale) avec un sous champ on a besoin de 2420 modules de 250W (20 modules en séries et 121 chaînes parallèles), un onduleur centrale de 630kW, et une surface de 3929 m².(Figure III.16)

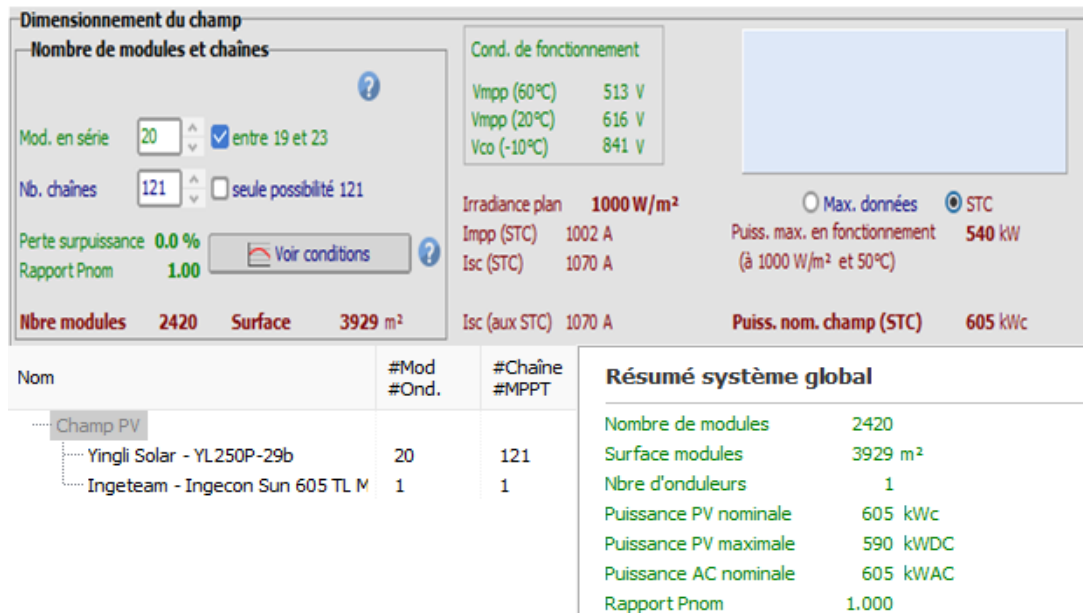


Figure III.17 : Résultats de dimensionnement.

III.5. Dimensionnement du système éolien

Pour cette tâche le calcul a été établi par l'étude d'une phase au préalable, permettant d'apporter une aide efficace, à tous ceux qui ont à prendre des décisions concernant la planification et la réalisation de projets à Energie éolienne. Dans cette perspective, nous avons commencé par la détermination des différents paramètres liés au vent, tel que la modélisation mathématique de la distribution des fréquences du vent: distribution de Weibull, puis le traitement et la simulation des données réelles relatives au vent collectées pendant douze mois, afin de dimensionner un parc éolien sur le site de Laghouat. On a évalué son potentiel éolien, sa prédiction de l'énergie électrique produite dans le site en question, tout en se basant sur un choix judicieux d'aérogénérateurs.

III.5.1. Etude du système éolien

Afin d'optimiser l'exploitation des parcs éoliens, certaines mesures doivent être prises en compte. En effet, un mauvais choix de certains paramètres pourra porter préjudice à une installation éolienne.

Il faut donc passer par une étude et analyse de la climatologie du site considéré, car une bonne connaissance de ce site permet une meilleure exploitation et production de l'énergie électrique.

✓ Distribution des fréquences du vent

• Distribution de Weibull [46 47]

$$P(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) \quad (\text{III.5})$$

Avec:

P (V) : est la densité de probabilité de la vitesse V ;

K : le facteur de forme de la courbe (sans dimension) et C le facteur d'échelle de la courbe en m/s.

La vitesse moyenne du vent peut être trouvée en intégrant la fonction densité de probabilité, soit donc la formule (1) :

$$V_{\text{moy}} = \int V \times P(V) \times dv \quad (\text{III. 6})$$

Ainsi, la distribution de Weibull peut faciliter beaucoup de calculs rendus nécessaires par l'analyse des données du vent.

III.5.2 Détermination des paramètres de Weibull [47 48]

- Il existe de nombreuses méthodes pour déterminer K et c à partir d'une distribution de vent donné

Cette fonction densité de probabilité s'appelle la distribution de Rayleigh, lorsque K=2

$$C = \frac{1.125 \times V_{\text{moy}}}{(1-B)} \quad (\text{III.7})$$

$$K = 1 + 0.483(V_{\text{moy}} - 2)^{0.51} \quad (\text{III. 8})$$

$$B = 1 - 0.81(V_{\text{moy}} - 1)^{0.089} \quad (\text{III. 9})$$

✓ Potentiel éolien

-Puissance éolienne

$$p = \frac{1}{2} \rho \times S \times V^3 \quad (\text{III. 10})$$

$$V_{moy} = \sum V_i \times f_i \quad (III. 11)$$

La lettre ρ désigne la densité de l'air (kg/m^3). est la vitesse moyenne du vent en (m/s).

-Energie fournie par un aérogénérateur :

$$E = T_h \times \sum P_i(V) \times F_i(V) \quad (III. 12)$$

Avec :

E: est l'énergie produite en kWh T_h la période de temps en heure et $P_i(V)$ est la puissance en kW donnée par aérogénérateur à la vitesse F_i

Facteur de capacité :

$$C(\%) = \frac{(100 \times P_{moy})}{P_{max}} \quad (III. 13)$$

III.5.3.Résultats Du Dimensionnement

L'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la distribution des vitesses du vent du site d'implantation et de sa courbe caractéristique puissance-vitesse. Cette dernière est la caractéristique de l'aérogénérateur qui influence le plus sur la puissance produite par la machine. La technologie utilisée (type de la machine) et la taille de la machine sont les deux principaux paramètres dont dépend la caractéristique puissance-vitesse de la machine.

Après le traitement des données réelles de la vitesse du vent disponible de la région de 2012-2014, en utilisant le logiciel Matlab (Distribution Fitter) pour l'étude statistique, et la simulation des données par la distribution de Weibull afin de déterminer les paramètres du vent. Ces dernières nous ont permis l'estimation du potentiel énergétique éolien au niveau des aérogénérateurs et dimensionné l'aérogénérateur convenable à notre site.

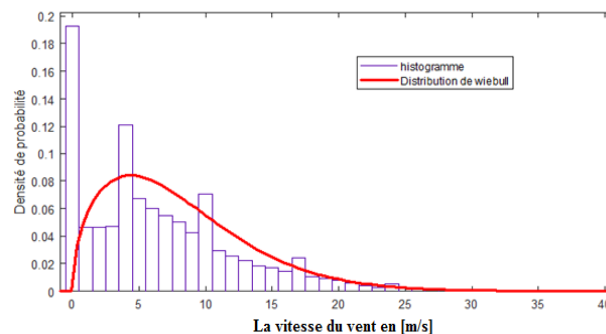


Figure III.18 : Distribution annuelle de Weibull

Tableau III.8: les paramètres du vent et le potentiel énergétique éolien de la région.

K	C [m/s]	<V> [m/s]	V _{Em} [m/s]	V _F [m/s]	P _{dis} /A [W/m²]	E _{dis} /A [kWh/m²/a n]	E _{rec-max} /A [kWh/m²/an]
1,514	8,923	6,496	12,47	4,37	691,145	5432,4	3667,30

Avec:

P_{dis}/A est la densité de puissance disponible en [W/m²];

E_{dis}/A est la densité d'énergie disponible annuelle en [kWh/m²/an];

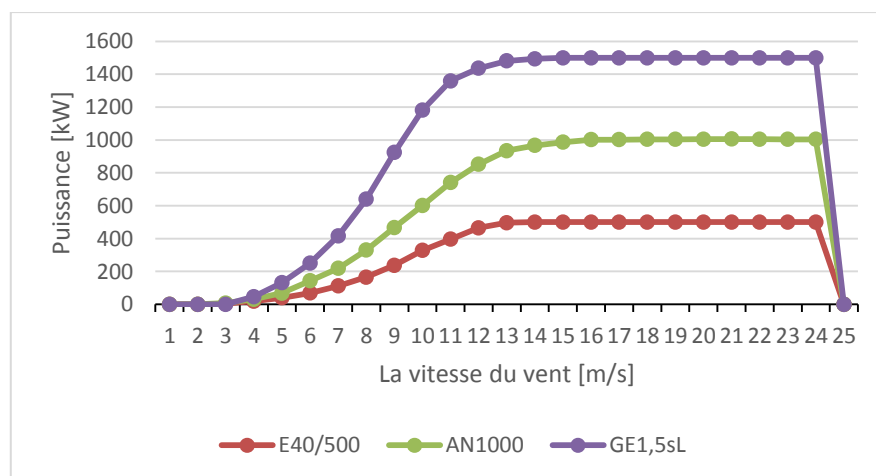
E_{rec-max}/A est la densité d'énergie récupérable annuelle en [kWh/m²/an].

✓ Adaptation et choix des aérogénérateurs

L'analyse suivante vise à aider les concepteurs et les utilisateurs à choisir l'éolienne la plus appropriée pour un parc éolien de 613.4565 kW pouvant être l'installé à cette région. Dans ce contexte, trois éoliennes commerciales (E40/500, AN54/1000 et GE1.5.sL) avec des puissances nominales différentes ont été sélectionnés. Les données techniques des modèles d'éoliennes choisies sont résumées dans le tableau (III.9).

Tableau III.9 : Données techniques des différentes éoliennes commerciales utilisées.

Type d'éolienne	Vitesse de démarrage [m/s]	Vitesse de coupure [m/s]	Vitesse nominale [m/s]	Puissance nominale [kW]	Densité de puissance [W/m²]	Hauteur de la nacelle [m]	Diamètre du rotor [m]
E40/500	2.5	25	12	500	392,2	42/48/65	40.3
AN54/1000	3	25	15	1000	434,8	50/60/70	54.2
GE1.5 sL	3.5	25	12	1500	322,1	60/80/85/100	77



FigureIII .19: Courbes de puissance des éoliennes choisies.

L'énergie annuelle des éolienne varie de 2.056GWh pour E40 /500 à 6.918GWh pour GE1.5sL/ 1.5MW (tableau III.10). Pour l'installation de station éolienne de 600kW on a besoin d'une éolienne de type GE1.5sl ou 02 éoliennes de type AN1000 ou bien 03 éoliennes de type E40/500.

Tableau III.10 : productions énergétiques et le facteur de capacité de chaque éolienne.

Type des éoliennes	E40/500	AN1000	GE1.5sL
Production [MWh/an]	2056	4181	6918
Production [kWh/J]	5632,87	11454,79	18953,42
Production horaire [kW]	234,70	477,28	789,72
CF[%]	46,95	47,13	52,65

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé en détail la méthode d'optimisation Firefly avec son concept général, ses étapes de calcul, et alors l'application et sa formulation mathématique vis-à-vis l'utilisation à résoudre le problème de l'OPF d'un réseau de distribution en présence de DGs, où la méthode proposée à marquer une bonne tenue pour la réduction des pertes actives et a donné des solutions acceptables concernant la taille et l'emplacement des sources intégrées.

Une fois les tailles des centrales définies, une autre étape de calcul est entamée avec des outils de calculs choisis en vue de dimensionner de façon optimale ces sources de production dispersées.

Conclusión Générale

Conclusion Générale

Pour une maîtrise de la génération électrique décentralisée dans les réseaux de distribution, ce travail participe dans l'analyse du comportement des réseaux suite à l'intégration de ces DGs.

Pour avoir une idée complète sur l'influence des sources de génération dispersées sur le réseau, notre étude a visé un réseau à savoir IEEE 30 nœuds pour tester l'intégration optimale de deux sources, où nous avons choisi la méthode FA pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance optimal. Cette optimisation s'est fondée sur la minimisation des pertes actives totales du réseau sous certaines contraintes et offre une proposition des tailles et des emplacements des DGs à intégrer. La dernière étape de cette étude concerne le dimensionnement de ces DGs où nous avons choisie les sources à énergie renouvelables, et des systèmes hybrides PV/ éoliens appliquer à la région de Laghouat. Une fois notre travail s'est achevé, nous avons abouti à des conclusions et à des constatations:

- La production dispersée améliore visiblement le profil des tensions des réseaux électriques;
- La production dispersée diminue les pertes totales de puissance active des réseaux de distributions connus par leurs pertes élevées;
- La présence des DGs dans les réseaux de distributions, assurent la compensation, réduit les pertes, remédient l'instabilité statique, et garantissent la production;
- L'étude de l'implémentation des sources de production dispersées PV, nécessite une motivation expliquée, un choix acceptable du site, un calcul rigoureux pour le dimensionnement, et choix pratique de l'architecture de cette station à intégrer, cette étape est importante pour la planification des réseaux;
- Le choix de l'architecture type string - adopté dans notre étude- est destiné aux grandes générations où il assure une meilleure continuité de service comparé à celle centralisée;
- Utiliser d'autres méthodes pour le PF et l'OPF;
- Essayer d'autres optimisations telles que la reconfiguration des réseaux de distribution en intégrant ces DGs.

Référence Bibliographique

- [1] : Mr .A.Vergnol, «Intégration dans le réseau électrique et le marché de l'électricité de production décentralisée d'origine renouvelable : Gestion des congestions locales». Thèse préparée dans le Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique de Puissance de Lille Ecole Doctorale 2010.
- [2] : Mr .L. Djamel, « Production Décentralisée Et Couplage Au Réseau » .Thèse Doctorat, Université Mentouri Constantine, Année 2008.
- [3] : V.S. Tefeguim, «Etude de la construction d'une ligne électrique Haute Tension 90KV PA-WONA», Mémoire pour l'obtention du Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement ,Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Burkina Faso, 2013/2014.
- [4] : N. Bakhta ,«La production décentralisée», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, Université sciences et technologies Mohamed Boudiaf « USTO », 2016/2017.
- [5] : Site d'internet : <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2015/11/I4CE-Secteur-feuillet-ENE-11111.pdf>, « Production d'énergie centralisée et réseaux ».
- [6] : Darras, C. « Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE », Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal paoli, May 2011.
- [7] : Gergaud, O. « Modélisation Energétique et Optimisation Economique d'un Système de Production Eolien et Photovoltaïque Couplé au Réseau et associé à un Accumulateur », Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, Décembre 2002.
- [8] : Mirecki, A. « Etude comparative de Chaînes de Conversion d'Energie dédiées à une Eolienne de petite puissance», Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse ,avril 2005.
- [9] : Haffen, S. « Caractéristiques Géothermiques du Réservoir Gréseux du Buntsandstein d'Alsace », Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, Septembre 2012.
- [10] : Zhou, T. « Commande et Supervision Energétique d'un Générateur Hybride Actif Eolien incluant du Stockage sous forme d'Hydrogène et des Super-Condensateurs pour l'Intégration dans le Système Electrique d'un Micro Réseau ». PhDthesis, Ecole Doctorale SPI 072, L2EP a l'Ecole Centrale de Lille, 2009.

- [11] : C. Dubois, «Le Guide de L'éolien, Techniques et Pratiques», éditions Eyrolles, 2009.
- [12] : F. Poitiers, « Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne », thèse de doctorat de l'université de Nantes, soutenue le 19/12/2003.
- [13] : Yacine Abderrahmane Bencherif, «Modélisation et commande d'une MachineAsynchrone à Double Alimentation pour la production de l'énergie éolienne», Mémoired'Ingénieur, ENP d'Alger, 2008.
- [14] : Duc-Hoantran, «Conception Optimale Intégrée d'une chaîne éolienne « passive »Analyse de robustesse, validation expérimentale », Thèse de Doctorat, Institut NationalPolytechnique de Toulouse, 2010.
- [15] : R.REDJEM << Étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne>> Thèse Magister Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [16] : . Davigny, "Participation aux services système de formes d'éoliennes à vitesse variable intégrant du stockage inertiel d'énergie," Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, France, 2007.
- [17] : N. Boudrahem , "Etude et commande d'une éolienne à vitesse variable," Mémoire de magister ,Université de Bejaia, Algérie, 2007.
- [18] : MeghelletHanine et Hocine Lynda, Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque, mémoire de master 2, Électromécanique, Université Colonel Akli Mohand-OulhadjBouira, 2017-2018.
- [19] : Selma Hammadou Et Souad Rezzak, « Commande Linéairisante Appliquée Aux Systèmes PV Connecté Au Réseau », Mémoire Présenté Pour l'obtention Du Diplôme De Master En Automatique, Université De Jijel,2020.
- [20] : Belmeliani Mohammed Réda Et YUCEF Wahiba, « Modélisation d'un Système Photovoltaïque Relié Au Réseau : Contrôle Des Puissances Active Et Réactive », MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER II, UNIVERSITE MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA, 2018.
- [21] : FerrahBillel « Etude d'un systeme Hybride (photovoltaïque–éolien) »mémoire Master.
- [22] : L. Chang, 'Systèmes de Conversion de l'Energie Eolienne', IEEE Canadian Review, pp. 1 – 5, 2002.
- [23] : Mr.Mahdadbekacem , «Optimisation de l'écoulement de puissance par algorithmes : AG et PSO-TVAC», Mémoire Master ,l'université de Biskra 2014.
- [24] : A.Abdelbaki&D.Belkhiri& Y.Lahouassa,«Calcul de courant de court-circuit dans les réseaux électriques », Mémoire d'ingéniorat de l'université de M'sila, Département

d'Electronique, 2012.

- [25] : Mr.K. Nadhir, « Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de dégradation d'énergie dispersée ».Mémoire de magister .Université de Batna,2014.
- [26] : Consulter le :Www.Mathsifun.Com, 03 Juillet 2021 à 10 :43.
- [27] : Site d'internet [https://www.cu-elbayadh.dz › uploads › 2018/01 pdf](https://www.cu-elbayadh.dz/uploads/2018/01/pdf/Support%20de%20Cours%20Réseaux%20Electriques.pdf) «Support de Cours Réseaux Electriques»
- [28] : Mr. Zellagui Mohamed «étude des protections des réseaux électrique MT (30 &10 kV)» mémoire magistère, Université Mentouri Constantine ,2009.
- [29] : Opérateur du système électrique OSE, <http://www.ose.dz/courbes.php>
- [30] : Farid Hamoudi «Réseaux de transport et de distribution électrique » Polycopié Cours UEF 13 intitulé, Université Bejaia ,2016.
- [31] : W.G. Tinney and C.E. Hart, « Power flow solution by Newton's method,» IEEE Trans on Power Apparatus and systems, Vol. PAS-86, pp.1449- 1460, 1967.
- [32] : B. Stott and O. Alsac , «Fast decoupled load flow», IEEE Trans on Power Apparatus and systems, Vol.PAS-9, pp.859-869, 1974.
- [33] : S. Gosh and D. Das , «Method for load flow solution of radial distribution networks», IEEE Proc. Gene. Trans. Distrib, Vol.146, pp.641-648, 1999.
- [34] : D. Das,D.P. Kothari and A. Kalam , «Simple and efficient method for load flow solution radial distribution network, » Electrical Power Energy System,Vol.17, pp.335-346,1995.
- [35] : DJABALI Chabane , «Contribution à l'optimisation de la reconfiguration des réseaux de distribution en présence de la production décentralisée».Thèse de doctorat.Université de Setifi,2021.
- [36] : BOUKAROURA Abdelkader, «Contribution à la modélisation et à l'optimisation des réseaux de distribution sous incertitudes». Thèse de doctorat. Université de Oum El Bouaghi,2021.
- [37] : Slimani Linda, «Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes métaheuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité dérégulé», Thèse de Doctorat en sciences, Option : Electrotechnique, Université de Batna, décembre 2009.
- [38] : Seyed-Ehsan Razavia, Ehsan Rahimib, Mohammad SadeghJavadib, Ali EsmaeelNezhad , Mohamed Lotfid, MiadrezaShafie-khahe, Joao P.S. Catalaod.(2019) Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems: A review Renewable and Sustainable Energy Reviews.

- [39] : MunirAzamMuhammad, HazlieMokhlis, Kanendra Naidu, Adil Amin, John Fredy Franco, andMohamadariffOthman (2020) Distribution Network Planning Enhancement via Network Reconfiguration and DG Integration Using Dataset Approach and Water Cycle Algorithm, JOURNAL OF MODERN POWER SYSTEMS AND CLEAN ENERGY,VOL. 8, NO. 1.
- [40] : Ali Selim,SalahKamel , Loai S. Nasrat, Francisco Jurado ,(2020), Voltage Stability Assessment of Radial Distribution Systems Including Optimal Allocation of Distributed Generators , International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, Vol. 6, N° 1
- [41] : Omessaad Hajji,(2003) "Contribution to the development of stochastic optimization methods Application à la conception des dispositifs Electrotechniques ", Thèse de doctorat en génie électrique, Ecole centrale de Lille, Université des sciences et technologies de Lille,
- [42] : . A. ChithraDevi, L. Lakshminarasimman, R. Balamurugan,(2017.) “Stud krill herd algorithm for multiple DG placement and sizing in a radial distribution system” Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 20, pp. 748-759.
- [43] : Muhammad Riaz ,Aamir Hanif , Shaik Javeed Hussain , (2021).*, Muhammad Irfan Memon , Muhammad Umair Ali ,and Amad Zafar ,* An Optimization-Based Strategy for Solving Optimal Power Flow Problems, in a Power System Integrated with Stochastic Solar and Wind Power Energy.
- [44] : X.S Yang, "Firefly algorithm for multi modal optimization in proceedings of the stochastic Algorithms", (SAGA 109) vol.5792, Oct.2009.
- [45] : K.Amara « contribution à l'étude de conception d'une centrale PV » mémoire Magister université de Tizi ousou 2015.
- [46] : C.D.E.R, 'L'Energie Eolienne au Maroc: Gisement et Dimensionnement', Edition 2002.
- [47] : C.D.E.R, 'Les Ressources Eoliennes du Maroc', Edition 2007.
- [48] : H. Mabchour, 'Etude, Modélisation et Expérimentation des Composantes d'un Système Hybride Couplant les Energies Solaire et Eolienne – Performances et Méthodologie de Dimensionnement', Thèse de Doctorat, Université Hassan II Mohammedia, 1999.

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: PFE BOUNOUA CHETTOUHI

Variant: Nouvelle variante de simulation

No 3D scene defined, no shadings

System power: 630 kWp

El Kheneg - Algérie



Project: PFE BOUNOUA CHETTOUHI

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.1.1

Simulation date:
09/06/22 11:34
with v7.1.1

Project summary

Geographical Site

El Kheneg

Algérie

Situation

Latitude 33.76 °N

Longitude 2.83 °E

Altitude 774 m

Time zone UTC+1

Project settings

Albedo 0.20

Meteo data

El Kheneg

Meteonorm 7.3 (1986-2005), Sat=100 % - Synthétique

System summary

Grid-Connected System

No 3D scene defined, no shadings

PV Field Orientation

Fixed plane

Tilt/Azimuth 32 / 0 °

Near Shadings

No Shadings

User's needs

Unlimited load (grid)

System information

PV Array

Nb. of modules

2520 units

Pnom total

630 kWp

Inverters

Nb. of units

1 Unit

Pnom total

630 kWac

Pnom ratio

1.000

Results summary

Produced Energy 1288 MWh/year Specific production 2045 kWh/kWp/year Perf. Ratio PR 82.55 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Special graphs	6

**PVsyst V7.1.1**

Simulation date:
09/06/22 11:34
with v7.1.1

General parameters**Grid-Connected System****No 3D scene defined, no shadings****PV Field Orientation****Orientation**

Fixed plane

Tilt/Azimuth 32 / 0 °

Models used

Transposition Perez

Diffuse Perez, Meteonorm

Circumsolar separate

Horizon

Free Horizon

Near Shadings

No Shadings

User's needs

Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics**PV module**

Manufacturer

Yingli Solar

Model

YL250P-29b

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

250 Wp

Number of PV modules

2520 units

Nominal (STC)

630 kWp

Modules

120 Strings x 21 In series

At operating cond. (50°C)

Pmpp

562 kWp

U mpp

566 V

I mpp

994 A

Total PV power

Nominal (STC)

630 kWp

Total

2520 modules

Module area

4091 m²

Cell area

3679 m²**Inverter**

Manufacturer

Sungrow

Model

SG630MX

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

630 kWac

Number of inverters

1 Unit

Total power

630 kWac

Operating voltage

520-850 V

Pnom ratio (DC:AC)

1.00

Total inverter power

Total power

630 kWac

Nb. of inverters

1 Unit

Pnom ratio

1.00

Array losses**Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance

Uc (const)

20.0 W/m²K

Uv (wind)

0.0 W/m²K/m/s**DC wiring losses**

Global array res.

9.6 mΩ

Loss Fraction

1.5 % at STC

LID - Light Induced Degradation

Loss Fraction

1.3 %

Module Quality Loss

Loss Fraction

-0.8 %

Module mismatch losses

Loss Fraction

2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction

0.1 %

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	0.960	0.880	0.800	0.670	0.430	0.000



Project: PFE BOUNOUA CHETTOUHI

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.1.1

Simulation date:

09/06/22 11:34

with v7.1.1

Main results

System Production

Produced Energy

1288 MWh/year

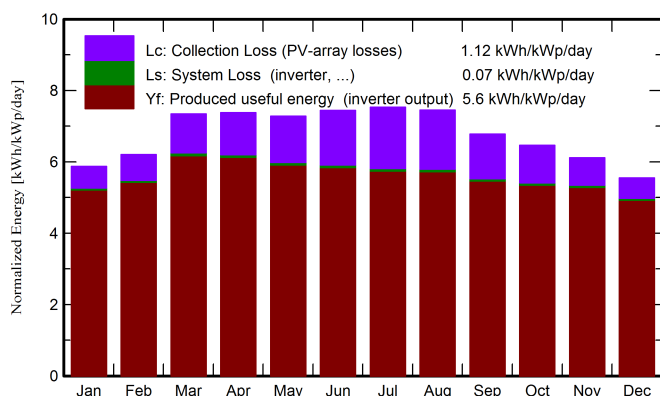
Specific production

2045 kWh/kWp/year

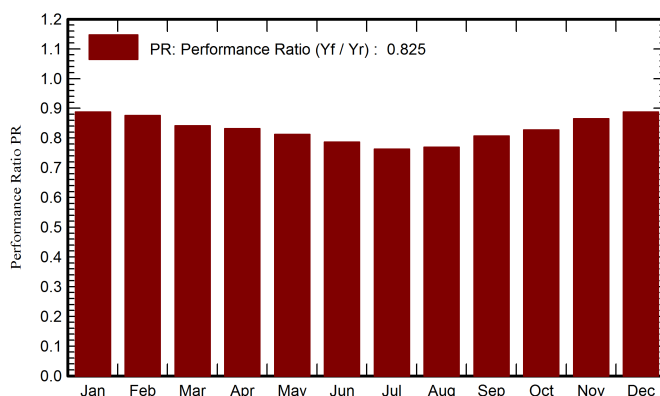
Performance Ratio PR

82.55 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	ratio
January	109.9	24.57	5.61	182.1	179.6	103.0	101.8	0.888
February	121.5	30.70	7.68	173.6	171.1	96.8	95.8	0.876
March	184.5	36.33	12.24	227.7	224.0	122.2	120.7	0.841
April	208.8	49.51	14.74	221.4	216.4	117.3	115.9	0.831
May	237.4	63.70	20.45	225.7	220.1	116.9	115.5	0.812
June	246.2	63.52	26.40	223.1	217.6	111.9	110.5	0.786
July	250.4	76.66	30.75	233.5	228.0	113.6	112.2	0.762
August	226.2	69.86	29.22	230.8	226.1	113.2	111.9	0.769
September	175.7	50.74	22.69	203.3	199.4	104.6	103.4	0.807
October	148.8	38.31	18.57	200.5	197.3	105.7	104.5	0.827
November	115.1	22.92	10.52	183.5	181.4	101.2	100.0	0.865
December	99.0	20.87	6.77	172.1	169.9	97.3	96.2	0.887
Year	2123.4	547.68	17.20	2477.3	2430.9	1303.6	1288.3	0.825

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E_Grid Energy injected into grid

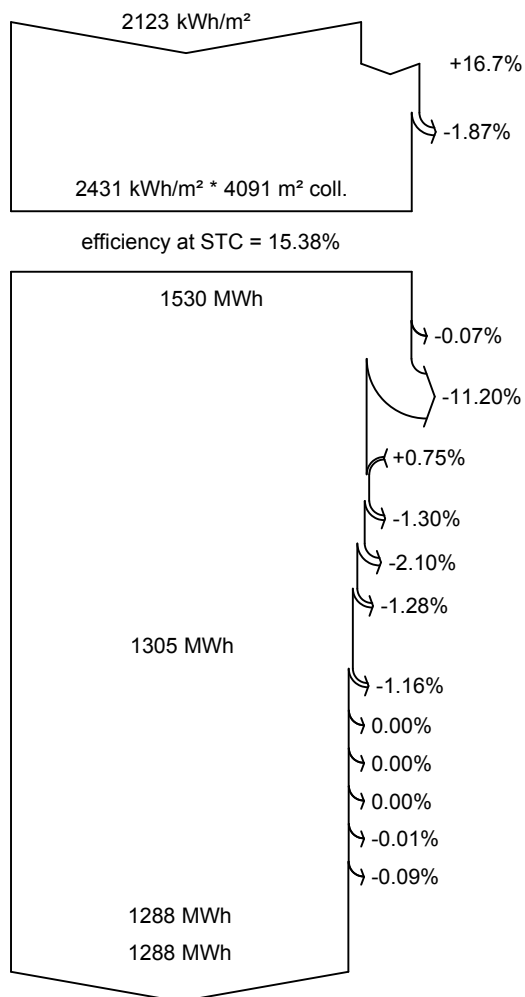
PR Performance Ratio



PVsyst V7.1.1

Simulation date:
09/06/22 11:34
with v7.1.1

Loss diagram



Global horizontal irradiation

Global incident in coll. plane

IAM factor on global

Effective irradiation on collectors

PV conversion

Array nominal energy (at STC effic.)

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

LID - Light induced degradation

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

Array virtual energy at MPP

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

Available Energy at Inverter Output

Energy injected into grid

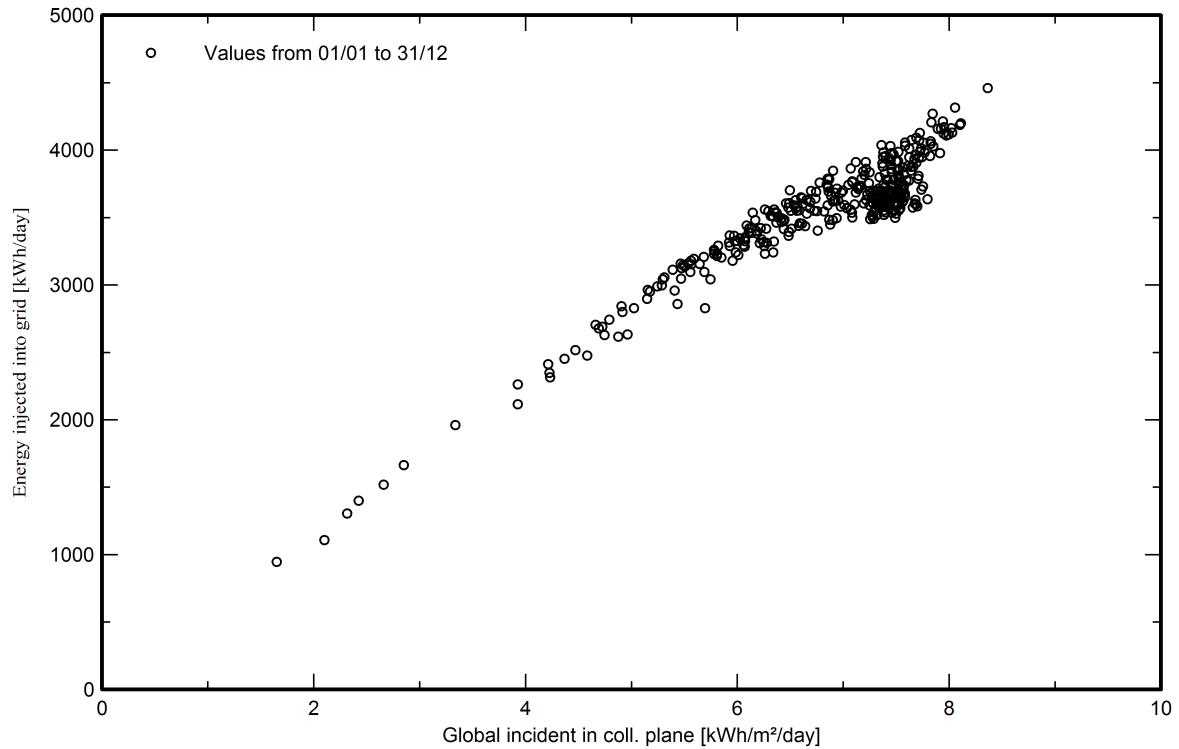


PVsyst V7.1.1

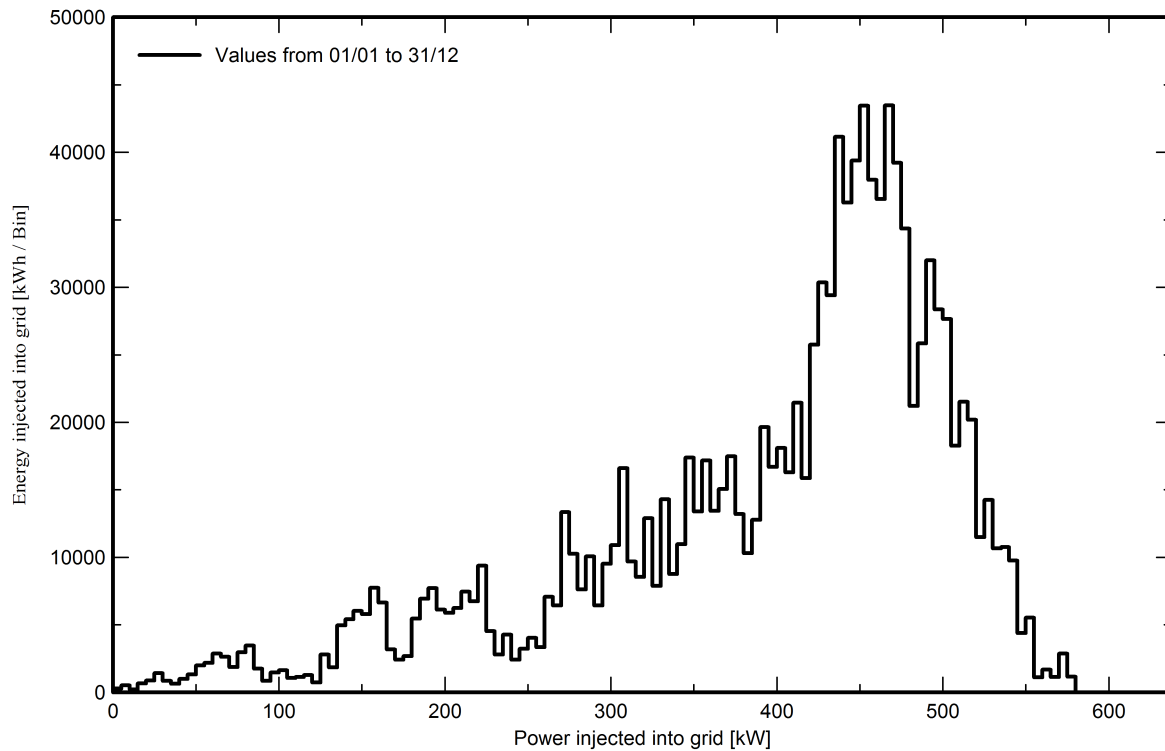
Simulation date:
09/06/22 11:34
with v7.1.1

Special graphs

Diagramme d'entrée/sortie journalier



Distribution de la puissance de sortie système



Résumé

L'intégration de la production décentralisée dans les réseaux de distribution électriques présente des avantages potentiels par rapport à la production traditionnelle centralisée. Dans ce mémoire, une étude est développée de la production décentralisée sur les réseaux électriques de distribution. Premièrement nous avons utilisé une technique pour le calcul de l'écoulement de puissance dans un réseau de distribution, la technique est celle du double balayage de la ligne (BFS) (Backward /Forward Sweep), deuxièmement, une application de la méthode métaheuristique de firefly, pour résoudre le problème de l'OPF du choix optimal de la taille et de l'emplacement des DGs, finalement nous proposons un dimensionnement d'un système PV et d'un système éolien dans la région de Laghouat (Kheneg). Les simulations sont effectuées sur le réseau de distribution IEEE (33 jeux de barres).

Les Mots clés : Production décentralisée, Réseaux de distribution électrique, Technique du double balayage de la ligne (BFS), Méthode de firefly, Systèmes PV et systèmes éolien.

Abstract

The integration of distributed generation into electrical distribution networks has potential advantages over traditional centralized generation. In this dissertation, a study is developed of distributed generation on electrical distribution networks. Firstly, we used a technique for calculating the power flow in a distribution network, the technique is that of the double line sweep (BFS) (Backward /Forward Sweep), secondly, an application of the metaheuristic method of firefly, to solve the problem of the OPF of the optimal choice of the size and location of DGs, finally we propose a dimensioning of a PV system and wind system in the region of Laghouat (lkhneg) as a DG source. The simulations are performed on IEEE tested distribution networks (33 busbars).

Keywords: Distributed generation, Electrical distribution networks, Double line sweep (BFS) technique, Firefly metaheuristic method, PV and wind systems.

ملخص

إن دمج الإنتاج اللامركزي في شبكات التوزيع الكهربائي له مزايا محتملة مقارنة بالإنتاج المركزي التقليدي. في هذه الأطروحة، تم تطوير دراسة في الإنتاج اللامركزي على شبكات التوزيع الكهربائي. أولاً، استخدمنا تقنية لحساب تدفق الطاقة في شبكة التوزيع، وتكون التقنية هي الكنس المزدوج للخط (BFS) (المسح الخلفي /الأمامي)، ثاني مشكلة OPF من الاختيار الأمثل لحجم وموقع DGS، ونحن في النهاية نقدم تحجيم نظام PV ونظام الرياح في منطقة Laghouat (LKHNEG) كمصدر DG. يتم إجراء عمليات المحاكاة على شبكات التوزيع التي تم اختبارها IEEE (33 لعبة بار).

الكلمات المفتاحية : شبكات التوزيع الكهربائية، تقنية المسح المزدوج، طريقة البرعات، نظام الكهروضوئية، نظام الرياح.