

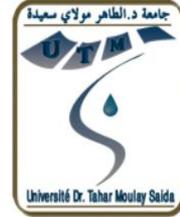
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Dr. Tahar Moulay de Saïda

Faculté de la Technologie
Département d'Electrotechnique



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

Master (LMD)

Spécialité : réseaux électriques

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Intitulé :

**Etude Et Simulation D'un Système Hybride Photovoltaïque/Diesel/GPL Pour
Une Production D'électricité Décentralisée.**

Présenté par :

Arabi Tourkia Nour El Houda

Gacem Kheira Ouafaa

Devant le jury composé de :

Dr. Boumediene Larbi
Dr. Amara Mohamed
Dr. Bouazza Saad

Président
Encadreur
Examineur

Soutenu le 20/09/2020

Promotion 2019-2020

Remerciement

Je remercie tout d'abord ALLAH de nous avoir donné le courage d'entamer et de finir ce mémoire dans des bonnes conditions.

On tient d'abord à exprimer ici tout notre respect et toute notre reconnaissance à notre encadrant Monsieur : Mr. Amara Mohamed pour sa bienveillance, sa gentillesse, ses encouragements et ses conseils.

On remercie vivement les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce modeste mémoire :

Monsieur Boumediene Larbi, docteur à l'Université de Saïda d'avoir accepté de juger notre travail et de présider le jury.

Messieurs Bouazza Saad, docteur à l'Université de Saïda pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.

En fin, on tient à remercier tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin

DÉDICACE

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon tout, mon cœur ma mère qu'ALLAH te garde pour nous.

A l'homme, mon précieux offre d'ALLAH, qui doit ma vie ma réussite et tout mon respect : mon papoune qu'ALLAH te bénisse.

A mon adorable sœur 'ASSIA' la prune de mes yeux qui n'a jamais cessé de me conseiller, m'encourager et me soutenir tout au long de ma vie. Qu'ALLAH te protège et t'offre beaucoup de bonheur et de réussite.

A ma chère Houda ; ma sœur, ma copine, ma confidente merci pour être toujours présente pour moi. J'espère du fond du cœur qu'on restera sœurs jusqu'à la fin.

A tous mes oncles, tantes, cousins et cousines merci pour vos prières qu'ALLAH vous donne une longue et heureuse vie

A l'hommage de mes grands-parents, mes oncles et ma tante qui ont parti très tôt qu'ALLAH vous accueille dans son vaste paradis

Ouafaa

DÉDICACE

Avec un énorme plaisir, un cœur et une immense joie, j'ai le plaisir de dédier ce modeste mémoire à la personne très chère au monde maman, affable, honorable et aimable : tu représentes pour moi le symbole de bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'as pas cessé de m'encourager et de prier pour moi

Ta prière et ta bénédiction m'ont d'un grand secours pour mener à bien mes études

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire. Puisse Dieu le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon très cher papa pour ses encouragements surtout pour son amour et ses sacrifices qu'ils m'ont accompagné tout au long de ma scolarité. Je t'aime papa.

A mes chères et adorables sœurs Cherifa, Bouchra et Amel

A mes chères frères Kamel, Abdelnacer, Mohamed et Nacer.

A ma plus adorable sœur que j'aime très fort et qui m'apporte chaque jour autant d'amour, ma confidente, ma moitié Ouafaa on resteras toujours comme on est inchalah

Aux petits anges de la famille Fatima Zahraa Malik Abderrahmane et Aya Nour El Houda

A tous les membres de ma famille, petits et grands qui ont été là pour moi

Tourkia Nour EL Houda

Sommaire

Chapitre I : généralité sur les énergies renouvelables

I.1. Introduction	1
I.2. Les différents types d'énergie renouvelable.....	1
I.2.1. L'énergie hydraulique.....	1
I.2.2. L'énergie la biomasse :	2
I.2.3. L'énergie la géothermie :	2
I.2.4. L'énergie éolienne :	2
I.2.5. Le solaire :	3
• L'énergie solaire thermique :	3
• L'énergie solaire photovoltaïque :	3
• L'énergie solaire passive :	3
I.3. L'énergie solaire dans le monde :	3
I.4. Potentiel solaire en Algérie :	4
I.5 Le solaire photovoltaïque.....	5
I.5.1. Historique :	5
I.5.2. La conversion de la lumière en électricité :	6
I.5.3. Effet photovoltaïque	7
I.5.4. Cellules photovoltaïques ou photopiles	8
I.5.5. Différents types des cellules solaires :	8
a) Cellules mono- cristallines :	9
b) Cellules polycristallines :	9
c) Cellules amorphes :	10
I.6. La modélisation d'une cellule solaire	11
1.6.1. Circuit équivalent et modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque	11
I.7. Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque :	12
I.8. L'avenir des énergies renouvelables.....	13
I.9. Conclusion :	13
II.1. Introduction :	15
II.2. Présentation du système hybride :	15
II.3. Définition d'un système hybride :	15
II.4. Structure du système hybride	16
II.5. Classification des système hybrides :	16

II.5.1. Différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides :	17
I.5.2. Architecture à bus à CC :	17
II.5.3. Architecture mixte à bus à courant continu (CC)/courant alternatif (CA) :	18
II.6. Configuration générale PV/Diesel du concept Flexy-Energy :	18
II.7. Les différentes combinaisons de système hybride :	19
II.8. Avantage d'un système hybride	20
II.9. Inconvénients :	20
II.10. INTERET DES SYSTEMES HYBRIDES :	20
I.11. Différents types des systèmes hybrides photovoltaïques :	21
II.11.1. PV- diesel avec batterie	21
II.11.2. PV- diesel sans batterie	21
II.12. Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH :	22
II.13. Les composants du système hybride	22
II.14. Générateur photovoltaïque	22
II.15. Générateur Diesel	24
Le générateur diesel est constitué par :	25
II.16. Les contraintes de production d'électricité par les générateurs diesel :	25
A. Contraintes Techniques :	25
B. Contraintes économiques :	26
C. Contraintes environnementales :	26
II.17. Les impacts de l'émissions de gaz à effet de serre sur notre planète :	26
II.18. Batteries de stockage	27
II.19. Batteries de stockage de l'énergie photovoltaïque [39]	28
II.20. Caractéristiques principales d'une batterie [40]	29
II.20.1. Types d'accumulateurs (batteries) :	30
II.20.2. Accumulateurs au plomb acide	31
II.20.3. Fonctionnement :	32
II.20.4. Etat de décharge de la batterie	33
II.20.5. Etat de charge	34
II.20.6. Accumulateurs au Nickel- cadmium	36
II.20.7. Caractéristique de décharge :	36
II.20.8. Influence de la température	37
II.21. Les onduleurs :	37
II.21.1. Onduleur triphasé :	37

II.21.2. Domaine d'utilisation des onduleurs :	38
II.21.3. Choix de l'onduleur :	38
II.22. Central hybride PV/diesel GPL.....	40
II.22.1. Les GPL.....	40
II.23. Groupe Electrogène :	41
II.23.1. Généralités.....	41
II.24. Conclusion :	43
III.1. Introduction :	45
III.2. Principaux composants systèmes hybride PV/Diesel :.....	45
III.2.1. Modélisation de la cellule photovoltaïque	46
III.2.2.1. La source de courant I_{ph} :	47
III.2.2.2. La diode :	47
III.2.2.3. La résistance RS :	47
III.2.2.4. La résistance RSH :	47
III.3. Modélisation d'un système hybride PV/diesel	48
III.3.1. Modélisation du générateur photovoltaïque	48
III.4. Influence du gisement solaire sur le générateur photovoltaïque :	51
III.5. Modélisation du système de stockage	54
III.5.1. Le système de stockage à long terme (batteries) :	54
Figure III.5: Le modèle le plus simple d'une batterie.	55
III.6. Modélisation des convertisseurs :.....	55
III.6.1. Convertisseur DC/DC :	55
III.6.2. Convertisseur DC/AC :.....	56
III.7. Modélisation de la partie puissance de l'onduleur triphasé :	57
III.9. Dimensionnement des systèmes SEH :	60
III.9.1. METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT :	60
III.10. Dimensionnement du Groupe électrogène :	61
III.11. Dimensionnement du régulateur :	61
III.12. Dimensionnement de l'onduleur :	62
III.13. Dimensionnement de l'onduleur :	62
III.14. Dimensionnement du champ photovoltaïque :	62
III.15. Détermination du nombre de module :	63
III.15.1. Capacité du Système de Stockage :	63
III.16. STRATEGIE DE GESTION DU SYSTEME HYBRIDE :	64

III.16.1 Démarrage et arrêt	64
III.16.2 Rotation des groupes électrogènes	64
III.17. Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des centrales hybrides :	65
III.18. Conclusion :	67
IV.1. Introduction	70
IV.2. Présentation du logiciel HOMER	70
IV.2.1. Définition du logiciel HOMER	70
IV.2.2. Description d'HOMER.....	71
IV.3. Caractéristique du site choisis.....	71
IV.3.1. Données géographique	71
IV.3.2. Données climatiques	72
IV.5.1. Bilan énergétique	72
IV.4. Caractéristique météorologiques.....	73
IV.4.1. Les données relatives à l'éclairément	73
IV.5.1. Optimisation du premier système hybride (photovoltaïque/ diesel)	75
IV.5.1.1. Cas d'étude	75
IV.5 .2. Simulation et interprétation	76
IV.5.2.1. Architecture du système optimal.....	76
IV.5.2.2. Production et consommation d'énergie électrique	76
IV .5.2.3. Détails des composants du système étudié.....	78
IV.5.3. Le Générateur Diesel.....	84
IV.6. Optimisation du deuxième système hybride (photovoltaïque/ GPL)	86
IV.6.1.1. Cas d'étude :	86
IV.6 .2. Simulation et interprétation	87
IV.6.2.1. Architecture du système optimal.....	87
IV.6.2.2. Production et consommation d'énergie électrique	87
IV .6.2.3. Détails des composants du système étudié.....	89
*Le Générateur Photovoltaïque.....	89
*Détails du convertisseur	90
*Détails De la batterie.....	91
IV.6.3 Détails économique :	93
*Coût	94
IV.6.4 Emission.....	95
IV.6.5. Le Générateur GPL	95

IV.7. Comparaison des caractéristiques des divers systèmes	97
IV.7.1. Technico-économiques	97
IV.7.2 : écologique	97
IV.8. Evolution horaire de la charge du système (PV-Diesel-GPL)	98
IV.9. Conclusion :.....	100
Conclusion générale	102

Liste des figures :

Figure.I.1 : Différent types de l'hydraulique	1
FigureI.2 : Energie biomasse.....	2
Figure.I.3 : Eolienne à axe vertical et horizontal.....	3
Figure.I.4 : Part des ENR dans la production mondiale d'électricité en 2016.....	4
FigureI.5 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur surface horizontale.....	5
FigureI.6 : Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables.....	5
FigureI.7 : conversion de l'énergie solaire en électricité.....	7
Figure.I.8 : principe de fonctionnement d'une cellule solaire.....	8
Figure I.9 : Cellule photovoltaïque (monocristalline).....	9
FigureI.10 : Cellule PV poly cristalline.....	10
Figure I.11 : Cellule PV poly amorphes.....	10
Figure II.1 Classification du système hybride.....	16
FigureII.2 : Configuration du Système Hybride à bus CC.....	17
FigureII.3 : Configuration du Système hybride à deux bus à CC et à CA.....	18
Figure II.4 : Architecture des systèmes PV/Diesel sans batteries de stockage (type Flexy-Energy)....	19
FigureII.6 : Structure d'un générateur photovoltaïque.....	23
FigureII.7 : Constituions de groupe diesel.....	24
Figure II.9 : les gaz à effet de serre.....	27
FigureII.9 : Une gamme de puissance de différents constructeurs de batteries solaires.....	29
Figure II -10 : Construction d'une batterie acide-au-plomb.....	31
FigureII.11 : Accumulateur acide-au-plomb chargé.....	32
Figure II.12 : Principe de fonctionnement de l'accumulateur acide-au-plomb.....	33
FigureII.13 : Courbes caractéristiques de décharge d'une batterie de type VARTA-OPzS.....	34

Figure II.14 : Charge et décharge d'un accumulateur.....	35
Figure II.15 : Courbe de charge et décharge d'une batterie acide-au-plomb.....	36
Figure II.16 : Symbole d'un convertisseur continu alternatif.....	38
Figure II.17 : Alimentation sans interruption.....	38
Figure II.18 : Alimentation d'un moteur à courant alternatif à travers un onduleur.....	38
Figure II.19 : Onduleur Quattro 48V/5000VA.....	40
Figure II.20 : Groupe Electrogène.....	41
Figure III.1 : Exemple d'un système hybride PV/Diésel de 100Kw	42
Figure III.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	46
Figure III.3 : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.....	48
Figure III.4 : les différents types de l'irradiation solaire	52
Figure III.5 : Le modèle le plus simple d'une batterie	55
Figure III.6 : Groupe électrogène	62
Figure III.7 : Ecoulement de puissance dans la centrale hybride PV/Diésel.....	68
Figure IV.1 : Espace de travail sous HOMER	71
Figure IV.2 : La localisation de la Djelfa.....	72
Figure IV.3 : Profil de l'éclairement moyen mensuel.....	73
Figure IV.4 : Variations de l'éclairement au cours des mois.....	74
Figure IV.5 : Montage électriques du système autonome.....	75
Figure IV.6 : Résultats d'optimisation et classement des systèmes.....	75
Figure IV.7 : système optimal choisi par Homer	76
Figure IV.8 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source.....	78
Figure IV.9 : Montage électriques du système autonome.....	86
Figure IV.10 : Résultats d'optimisation et classement des systèmes.....	87

Figure IV.11 : système optimal choisi par Homer	87
Figure IV. 12 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source.....	88
Figure IV.13 : comparaison de la puissance des composants du système (PV/diesel) durant 24h pendant le mois Janvier (a) et Aout (b).....	98
Figure IV. 14 : comparaison de la puissance des composants su système (PV/GPL) durant 24h pendant le mois janvier (c) et out(d) GPL.....	99

Liste des tableaux

	N°	Titres	Pages
II	1	Caractéristiques techniques de l'onduleur Quattro 5000	39
III	1	Paramètres de modélisation des pertes de l'onduleur T race Engineering	61
III	2	Classification de charge dans un système PV/diesel	67
IV	1	Données climatiques du Djelfa.	71
IV	2	L'estimation des besoins énergétiques journaliers	73
IV	3	Energie annuelle produite	77
IV	4	Energie annuelle consommée	77
IV	5	Paramètres de Fonctionnement du PV	78
IV	6	Détails du groupe électrogène dans le système hybride	78
IV	7	Détails du convertisseur dans le système hybride	80
IV	8	Détails du système de stockage dans le système hybride (PV/GE/Battery)	81
IV	9	Résumé détaillé des coûts en \$ du système sur toute la durée de vie du projet	82
IV	10	Le coût annuel détaillé de chaque composant du système optimal	83
IV	11	NPC détaillé par type de coût du système optimal	83

Liste des tableaux

IV	12	Coût du système	84
IV	13	Emission en gaz polluant du système hybride PV/diesel	85
IV	14	Propriétés du combustible	85
IV	15	Caractéristiques techniques et économiques du système (PV/diesel)	85
IV	16	Energie annuelle produite	86
IV	17	Energie annuelle consommée	88
IV	18	Paramètres de Fonctionnement du PV	89
IV	19	Détails du groupe électrogène dans le système hybride	88
IV	20	Détails des convertisseurs	89
IV	21	Détails du système de batterie dans le système hybride (PV/GE/Batterie)	90
IV	22	Résumé détaillé des coûts en \$ du système sur toute la durée de vie du projet	93
IV	23	Le coût annuel détaillé de chaque composant du système optimal	93
IV	24	NPC détaillé par type de coût du système optimal	93
IV	25	Coût du système	94
IV	26	Emission en gaz polluant du système hybride PV/GPL	95
IV	27	Comparaison des caractéristiques des divers systèmes	97

Liste des tableaux

IV	28	Comparaison des émissions de gaz polluant	97
----	----	-------------------------------------------	----

Nomenclature, abréviation

V la tension de la cellule.

R_s La résistance de la cellule (Ω).

T_c La température de la cellule en Kelvin.

q la charge d'électron $e = 1.6 \times 10^{-19} C$.

I_0 Le courant de saturation [A].

K La constante de Boltzmann ($1.3854 \times 10^{-23} JK^{-1}$).

n Le facteur de qualité de diode.

B_n Irradiation directe sur un plan incliné.

D_i Irradiation diffuse sur un plan incliné.

R_i Irradiation réfléchis sur un plan incliné.

θ_i L'angle d'incidence.

β Angle d'inclinaison de la surface de captation.

D_h Irradiation diffuse sur un plan horizontal.

β Albédo du sol.

B_n Irradiation directe sur un plan normal.

V_{min} la tension minimale du super condensateur.

η_{mpv} Nombre de module PV.

$\eta_{c/mpv}$ Nombre de cellule par module PV.

$S_{c mpv}$ Surface d'une cellule PV.

η_{r_m} Rendement de référence des modules.

η_{ond} Rendement de l'onduleur.

T_c La température de la cellule en Kelvin.

q la charge d'électron $e = 1.6 \times 10^{-19} C$.

I_0 Le courant de saturation [A].

K La constante de Boltzmann ($1.3854 \times 10^{-23} JK^{-1}$).

β Angle d'inclinaison de la surface de captation.

D_h Irradiation diffuse sur un plan horizontal.

β Albédo du sol.

B_n irradiation directe sur un plan normal.

V_{min} la tension minimale du super condensateur.

η_{mpv} Nombre de module PV.

$\eta_{c/mpv}$ Nombre de cellule par module PV.

$S_{c/mpv}$ Surface d'une cellule PV.

η_{r_m} Rendement de référence des modules.

η_{ond} Rendement de l'onduleur.

F_p Facteur représentant les différentes pertes du système (pertes de connexion, pertes dues à la température, etc...).

β_t Coefficient de variation du rendement.

T_{r_c} Température de référence pour l'efficacité des cellules PV.

$Noct$ Température normale de fonctionnement des cellules PV ;

$T_{a,Noct}$ 20°C ;

$I_{GD,max}$ Intensité maximale du générateur diesel ;

x_{GD} Taux de charge (exprimée en pourcentage de sa puissance nominale) à un instant t .

P_c puissance totale des générateurs photovoltaïque

E besoin journalier

Ens Ensoleillement du site d'installation

Cp Facteur de conversion appliqué pour tenir compte de différentes pertes qui égale à 0,75.

N_{pv} Nombre de panneau

P_{pv} Unitaire : puissance du module photovoltaïque.

CB capacité total des batteries en ampère heure [Ah]

E besoin journalières en [Ah /j]

N_j nombre de jour d'autonomie

η rendement de la batterie

PDD profondeur de décharge (0.7)

VB tension de la batterie.

Abréviation :

PV : photovoltaïque

SEH : système d'énergie hybride

HOMER: hybrid optimization Model for Electric Renewable

TNFC : température nominale de fonctionnement de la cellule

CC : courant continu

AC : courant alternatif

NPC : une valeur actuelle nette

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement l'électricité est devenue la forme d'énergie plus fonctionnelle à bénéficier. Elle est basée généralement sur les ressources fossiles limitées, le pétrole, le gaz et le charbon. Ces derniers deviennent de plus en plus rares et le besoin énergétique du monde augmente constamment due à l'agrandissement de la population.

Des milliers de recherches ont été effectuées afin de trouver des moyens de production de l'électricité de source renouvelable (solaire, photovoltaïque...) favorable sur tous les plans (environnementaux, techniques et économiques) afin de minimiser les endommagements causer par les énergies non renouvelables telle que le réchauffement climatique. Pour exploiter cette énergie et la consommer, il faudra la produire dans des unités de production de l'électricité de grande puissance, la transporter et la distribuer aux consommateurs ce qui implique un cout financier très élever pour l'électrification des sites isolés dans notre pays. Adopter système hybride est le contournement du problème de l'utilisation d'un générateur seul qui coute cher.

Cette méthode de combinaison de plusieurs sources a été conçue et exploiter dans les sites isolés et non connectés aux réseaux est plus rentable, on distingue plusieurs unes ; hybrides photovoltaïque-GPL-diesel, éolien-diesel et éolien- photovoltaïque-diesel.

Notre travail se constitue d'une combinaison de trois sources d'énergie photovoltaïque-diesel-GPL de production continue de l'énergie électrique. L'autonomie de ce système sera assurée par un système de stockage qui est destiné à alimenter un petit village habité au cours de toute l'année

Afin d'accomplir cette étude, le présent mémoire est structuré de quatre chapitras en plus de l'introduction générale et la conclusion générale

Au cours du premier chapitre nous avons identifié les énergies renouvelables en générale puis plus précisément l'énergie photovoltaïque ; son historique ; son potentiel dans le monde et dans l'Algérie.

Dans le deuxième nous venons d'évoquer l'hybridation du système SEH : présentation ; définition et structure et ses déférentes configuration (CC et AC) ainsi que leurs intérêts

diminution du carburant et la conservation de la qualité de service 24/24- 7/7 puis on a circonscrit les deux types les plus intéressants avec et sans stockage ; la deuxième partie du chapitre est concernée à une étude plus détaillée sur les composants du SEH et le enfin le groupe électrogène.

Le troisième propose la modélisation et le dimensionnement des différents constituants basique de la gamme photovoltaïque incluant la source primaire (solaire), ce volet affecté un aspect de modélisation d'un système hybride photovoltaïque/diesel/GPL, ce dernier sera constitué de deux sources de production, moyen de stockage et système de supervision

Le dernier chapitre, quant à lui, sera concerné à la deuxième partie du thème qui est optimisation et simulation d'un système d'énergie hybride PV/diesel/GPL, on l'a effectuée à l'aide d'un logiciel (HOMER) et enfin, nous exposons l'ensemble des résultats obtenus numériquement que nous interprétons

Nous clôturons notre étude par une conclusion générale en mettant en avant l'efficacité d'hybridation des centrale GPL en énergie photovoltaïques et la nécessité de l'accusation des études pour endurer un système hybride typique qui assure une rentabilité technique et économique meilleures que les centrales diesel seuls, ainsi que les perspectives d'intégration les énergies renouvelables dans les réseaux isolés alimenté par une centrale Diesel que nous étudions.

Chapitre I

I.1. Introduction

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future, C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires. Il est évident que la dynamique énergétique du 21ème siècle rassemblera de nouveaux acteurs issus du secteur des énergies renouvelables assurant ainsi un développement durable. [1]

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. [2]

Dans ce premier chapitre nous allons faire une présentation générale sur les énergies renouvelables, leurs avenir et plus précisément sur l'énergie photovoltaïque.

I.2. Les différents types d'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables se positionnent comme une solution adéquate à l'épuisement des ressources d'énergies fossiles, et qui peut couvrir la demande mondiale de l'énergie électrique tout en préservant notre environnement. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, la croissance des végétaux... On les qualifie d'énergies "flux", leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir. [3]

Et de cela on différencie plusieurs types des énergies renouvelables, qu'on peut citer comme suit :

I.2.1. L'énergie hydraulique :

Cette énergie provient de la force de l'eau en mouvement, Plusieurs technologies permettent d'exploiter cette énergie, les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité. [4]



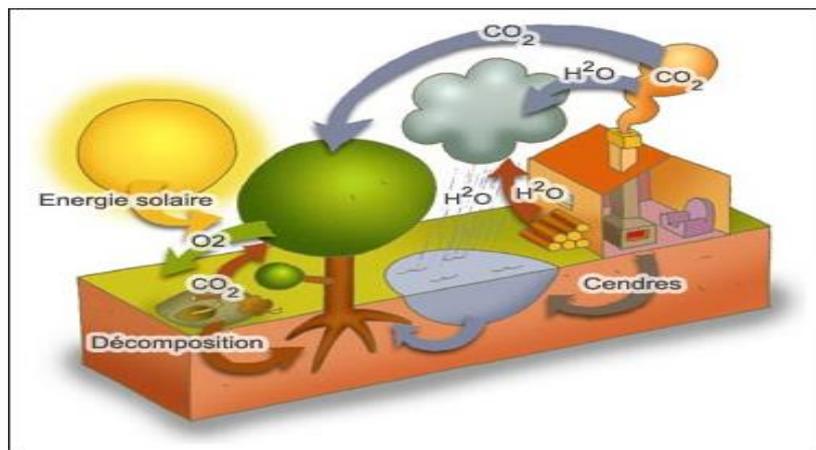
a) barrage

b) hydrolienne

c) marémotrice

Figure.I.1 : Différent types de l'hydraulique.

I.2.2. L'énergie la biomasse : (Masse des végétaux) regroupe le bois, la paille, les rafles de maïs, le biogaz et les biocarburants. Le bois issu des déchets de la forêt ou des industries du bois est brûlé pour produire de la chaleur. Il représente 14 % de la consommation énergétique mondiale.

**Figure I.2** : Energie biomasse

I.2.3. L'énergie la géothermie : Cette énergie Utilisant la chaleur du sous-sol, la géothermie peut permettre de chauffer des locaux (avec une température moyenne ou faible), ou de produire de l'électricité par vapeur interposée (avec une température élevée).

I.2.4. L'énergie éolienne : L'énergie éolienne est l'énergie renouvelable tirée du vent. Lorsque les éoliennes sont équipées d'un générateur électrique, on peut aussi les appeler des aérogénérateurs. Plusieurs de ceux-ci peuvent être regroupés sur un même site pour former un parc éolien.



Figure.I.3 : Eolienne à axe vertical et horizontal.

I.2.5. Le solaire : Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KW c/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. [5]

L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

- **L'énergie solaire thermique :** qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.
- **L'énergie solaire photovoltaïque :** qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.
- **L'énergie solaire passive :** est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage.

I.3. L'énergie solaire dans le monde :

En 2016, près de 75 GW de panneaux photovoltaïques ont été installés dans le monde. Cela équivaut à l'installation de plus de 31 000 panneaux photovoltaïques par heure et représente une croissance de 48 % par rapport à 2015. La puissance installée mondiale en matière de solaire photovoltaïque s'élève en 2016 à 303 GW. [6]

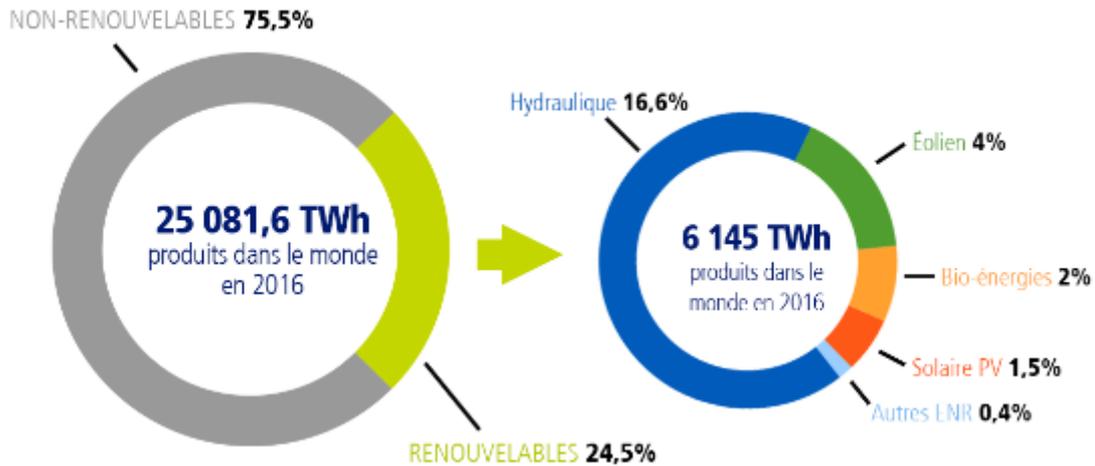


Figure.I.4 : Part des ENR dans la production mondiale d’électricité en 2016.

I.4. Potentiel solaire en Algérie :

L’étude de gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l’énergie solaire. Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l’évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné et au cours d’une période donnée. Son évolution peut se faire à partir des données de l’irradiation solaire globale. L’Algérie dispose d’un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d’insolation moyenne nationale dépasse les 2000 heures annuellement. Cette valeur peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, l’énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d’environ 7 KWh/m²/jour. Elle est répartie comme suit : Au Nord : 5,6kWh/m² /jour ; Au sud : 7,2kWh/m² /jour [7].

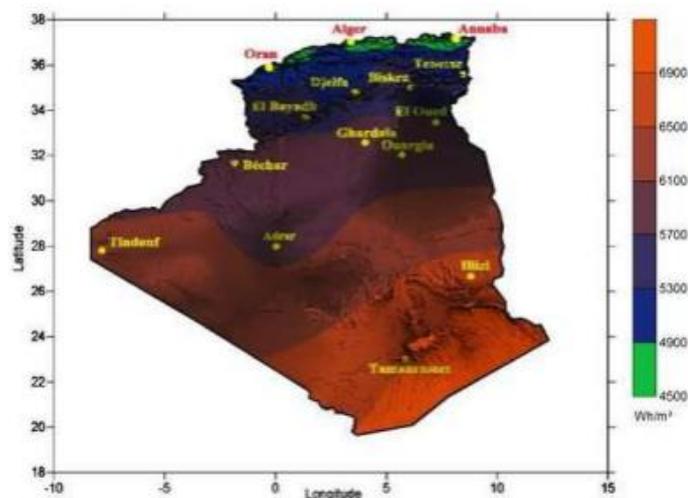


Figure I.5: Moyenne annuelle de l’irradiation globale reçue sur surface horizontale.

L'Algérie s'engage donc avec une grande volonté sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions sérieuses et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile [7]

Ainsi, un programme très ambitieux est envisagé pour développer les énergies renouvelables durant la période 2015-2030, il consiste à installer une capacité totale de 22000 MW, et le solaire photovoltaïque sera la principale source de production d'énergie propre car il représenterait 62% de la capacité totale projetée à 2030.

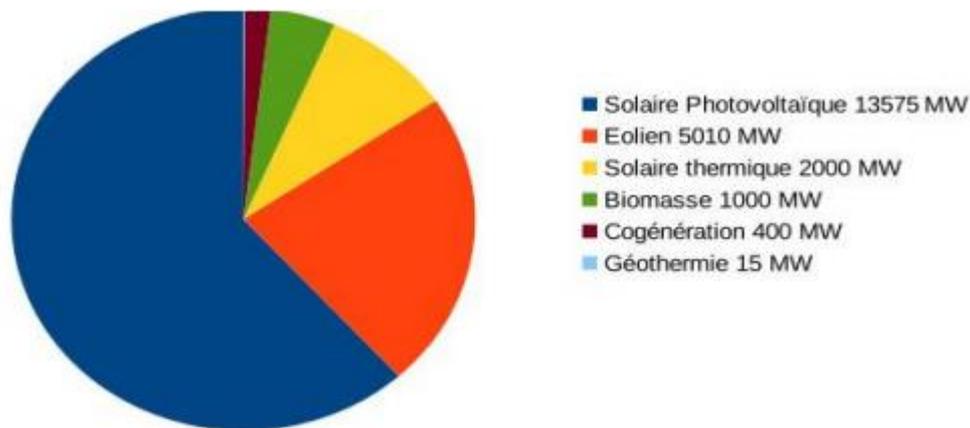


Figure I.6 : Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables.

Dans notre étude le système hybride est basé partiellement sur l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque.

I.5 Le solaire photovoltaïque :

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. On utilise des convertisseurs photovoltaïques ou cellules photovoltaïques qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque. [8]

I.5.1. Historique :

Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, l'effet photovoltaïque permet la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. Ce principe repose sur la technologie des semi-conducteurs. Il consiste à utiliser les photons pour libérer les électrons et créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule qui génère un courant électrique continu. L'héliogénération est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium. Mais ce

n'est qu'en 1954, avec la réalisation des premières cellules photovoltaïques au silicium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie. Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux vers les années 60 avec l'équipement de satellites spatiaux. Puis à partir de 1970, les premières utilisations terrestres ont concerné l'électrification des sites isolés. Au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et est même devenue familière des consommateurs à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires. Le progrès des techniques de production de cellules photovoltaïques ainsi que l'augmentation des volumes de production ont entraîné, à partir des années 1990, une baisse des prix. La production de modules se fait en Chine (près de 60 % de la production totale), au Japon, aux EU, en Allemagne et en Europe, avec en particulier des grandes compagnies comme Yingli Green Energy, First Solar et Suntech Power. La production mondiale de modules photovoltaïques est passée de 5 MWc en 1982 à plus de 18GWc en 2013. Concernant l'Algérie, le groupe algérien Condor Electronics, s'est lancé en juillet 2013 dans la production des panneaux photovoltaïques dont la puissance varie entre 70 W et 285 W et à des prix compétitifs. Dans le cadre de la concrétisation du programme national algérien des énergies renouvelables, un projet de 400 MW en photovoltaïque a été lancé, faisant partie du programme complémentaire de production de l'électricité, prévu pour l'été 2014. Ce projet consiste en la réalisation de 23 centrales solaires photovoltaïques, dans la région des hauts plateaux et dans la région du sud-ouest ; ainsi que dans la région du grand sud. Dans la dizaine d'années qui viendront, il est prévu la réalisation d'un parc d'énergies renouvelables de 5539 MW. L'objectif à 2030 est de 12 000 MW en énergies renouvelable pour la consommation interne d'électricité. La puissance photovoltaïque installée cumulée dans le monde a atteint 138,9 GW à la fin 2013. [2]

I.5.2. La conversion de la lumière en électricité :

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité [9]

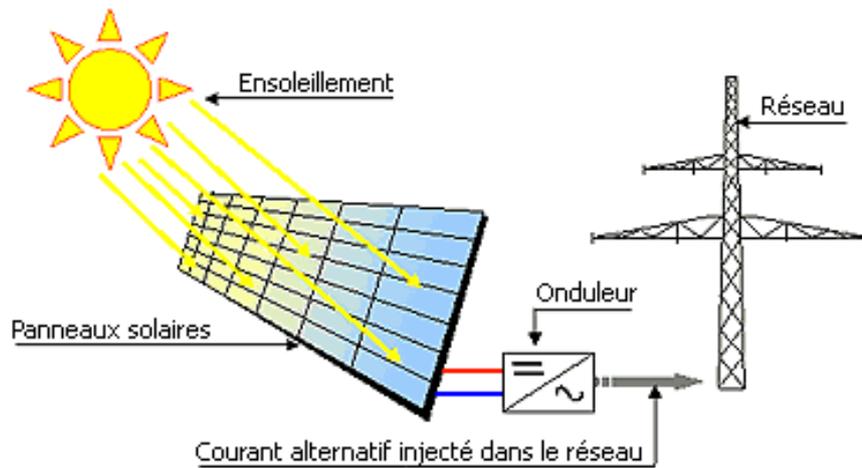


Figure I.7: conversion de l'énergie solaire en électricité.

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les modules photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable.

- Dans un isolant électrique : les électrons de la matière sont liés aux atomes et ne peuvent pas se déplacer.
- Dans un conducteur électrique (un fil de cuivre par exemple) les électrons sont totalement libres de circuler et permettent le passage d'un courant.
- Dans un semi-conducteur : la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ces photons apportent une énergie permettant aux électrons de se déplacer, il y a donc courant électrique sous l'exposition à la lumière

I.5.3. Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité (courant continu CC). Son principe réside en une collision des photons incidents (flux lumineux) avec les électrons libres et les électrons de valence en leur communiquant une énergie. Si cette énergie est supérieure ou égale à l'énergie de gap (E_g) de ce semi-conducteur, l'électron passe de la bande de valence à la bande de conduction en laissant un trou derrière lui, d'où l'apparition des paires électron-trou dans différents points de la jonction [10] Si les photons ont une énergie très supérieure à E_g , ils passent de la bande de valence à

un niveau instable de la bande de conduction. L'excès d'énergie sera transmis sous forme de phonons au réseau cristallin puis perdu en chaleur et l'électron prendra un niveau stable dans la bande de conduction. Si les photons ont une énergie inférieure E_g ils ne seront pas absorbés et leurs énergies ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque.

I.5.4. Cellules photovoltaïques ou photopiles

Les cellules photovoltaïques ou photopiles sont des composants électroniques à semi-conducteur qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Les matériaux les plus connus sont :

- ❖ Le silicium (Si)
- ❖ Le sulfure de cadmium (Cds)
- ❖ L'arséniure de gallium (As Ga)
- ❖ Le tellure de cadmium (Cd Te)
- ❖ Le germanium (Ge)
- ❖ Le phosphore d'indium (InP)

Toutefois, le matériau le plus couramment utilisé est le silicium pur obtenu à partir de la silice (Quartz ou sable) par transformations chimiques et métallurgiques [11]

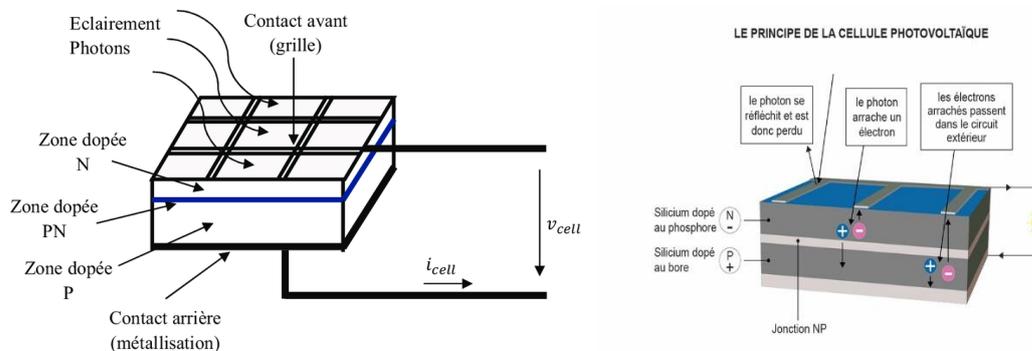


Figure.I.8 : principe de fonctionnement d'une cellule solaire.

I.5.5. Différents types des cellules solaires :

Il existe trois types principaux de cellules, répartie à base de leurs technologies de fabrication, généralement les technologies les plus répandues sont à base de silicium, notamment d'autres matériaux sont aussi utilisés, comme les matières organiques.

a) Cellules mono- cristallines :

Les cellules sont fabriquées avec du silicium parfaitement cristallisé découpé dans des barres. C'est le matériau le plus répandu, et de plus il a l'avantage d'avoir un très bon rendement, entre 12 % et 16 %. L'inconvénient en est le prix, du fait d'un procédé de fabrication long et énergivore. Il est utilisé en extérieur pour les fortes et moyennes puissances (habitations, relais, télécommunications...).

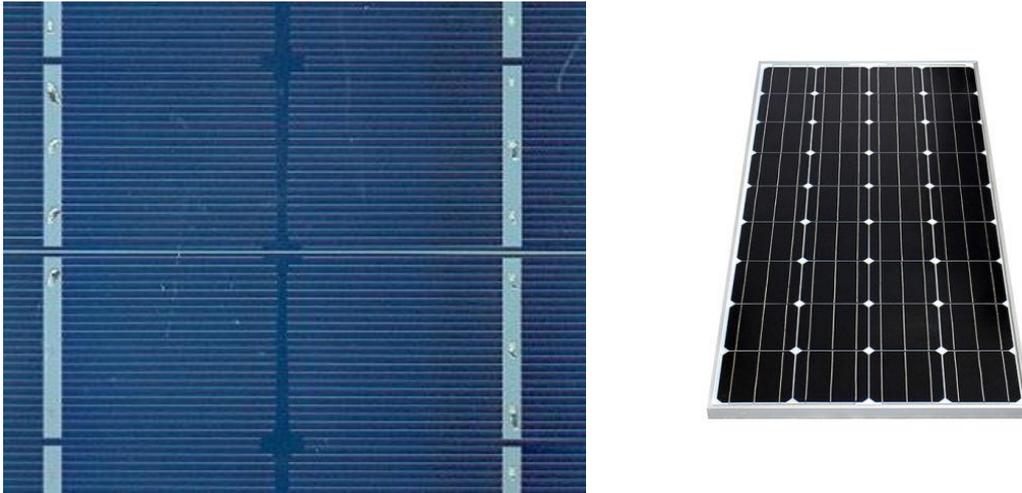


Figure I.9: Cellule photovoltaïque (monocristalline)

b) Cellules polycristallines :

Les cellules polycristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles proviennent aussi du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et hétérogènes [12]. Les cellules poly- cristallines sont caractérisées par :

- Coût de production moins élevé.
- Procédé moins gourmand en énergie.
- Rendement de 13 % et jusqu'à 20 % en labo.

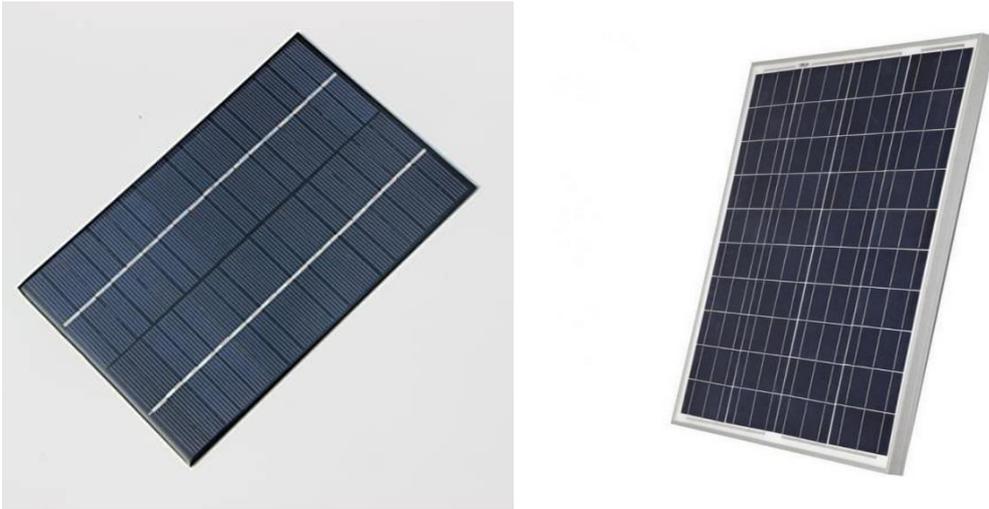


Figure I.10 : Cellule PV poly cristalline

c) Cellules amorphes :

Le silicium amorphe est apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin. Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible)

- ❖ Coût de production bien plus bas.
- ❖ Rendement de seulement 6 % par module et de 14 % en labo.
- ❖ Fonctionne sous très faible éclaircissement. [13]

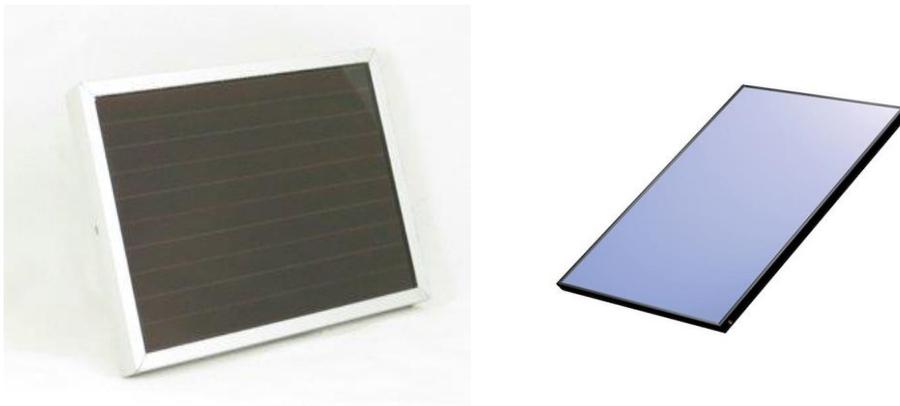
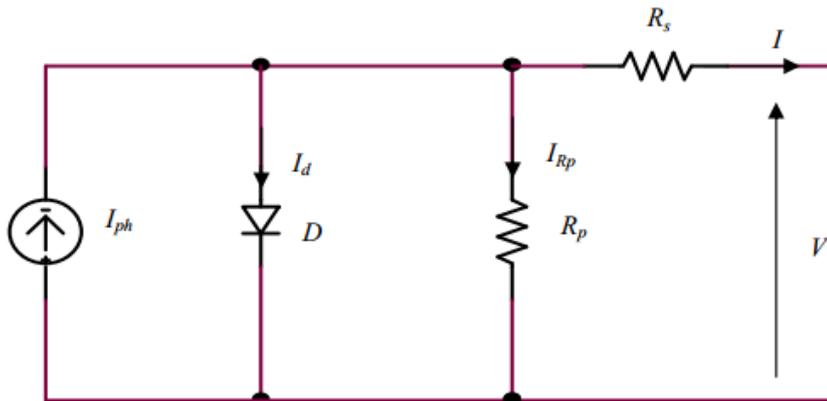


Figure I.11: Cellule PV poly amorphes

I.6. La modélisation d'une cellule solaire

1.6.1. Circuit équivalent et modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque

On a pris le modèle fréquemment utilisé afin de décrire les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque, modèle qui prend en compte les différentes résistances internes [14].



R_p représente la résistance shunt qui modélise les fuites par l'effet de bord autour de la cellule solaire

R_s prend en considération les contacts ohmiques entre le métal et le semi-conducteur ainsi que la résistance intrinsèque du silicium

I_{ph} est le courant photovoltaïque engendré par les radiations lumineuses, et la diode D représente la jonction PN de la cellule

I et V sont respectivement le courant et la tension de sortie.

A partir du modèle précédent, on a d'après la loi de Kirchhoff [14] :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{Rp}$$

D'autre part:

$$I_{cc} = I_{ccr} \frac{G}{1000} \quad (1-1)$$

Où I_{ccr} est le courant de court-circuit de référence (correspondant à un éclairement de référence de 1000 W/m^2) et G (W/m^2) est l'éclairement solaire.

De plus, le courant absorbé par la résistance parallèle est donné par :

$$I_{Rp} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1-2)$$

Et le courant traversant la diode est exprimé par :

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{nV_T}\right) - 1 \right] \quad (1-3)$$

Ou V_T est la tension thermique, elle est donnée par :

$$V_T = \frac{KT_c}{q} \quad (1-4)$$

Avec :

- I: Le courant de cellule.
- V : La tension de cellule.
- R_s : La résistance série de la cellule [Ω].
- T_c : La température effective de la cellule en Kelvin [$^{\circ}\text{K}$].
- q: La charge d'électron $e=1.6 \times 10^{-19}\text{C}$.
- I_0 : Le courant de saturation [A].
- K: La constante de Boltzmann ($1.3854 \times 10^{-23} \text{JK}^{-1}$).
- n: Le facteur de qualité de diode.

I.7. Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque :

i. Avantages

- ❖ Une haute fiabilité ou l'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- ❖ Leur montage est simple et ses installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- ❖ Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits. Il ne nécessite ni combustible, ni un transport, ni un personnel hautement spécialisé.
- ❖ Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes

ii. Inconvénients

- ❖ Source diffuse du rayonnement solaire qui nécessite de grandes surfaces,
- ❖ Technologie coûteuse,
- ❖ Facteur de charge faible,
- ❖ Stockage difficile,
- ❖ Difficulté à recycler les composants du système,
- ❖ Investissement élevé dépendant des décisions politiques. [15]

I.8. L'avenir des énergies renouvelables

La fin du 20^{ème} siècle aura été la période de redécouverte de ces énergies ancestrales grâce à de nouvelles technologies de mise en œuvre, et nous sommes encore dans la phase initiale de ce phénomène.

Le fait de se situer en ce moment dans une telle phase est peu propice à une bonne évaluation du potentiel de ces énergies au cours du demi-siècle à venir. En effet dans la phase actuelle de redécollage de ces énergies on peut observer des taux de croissance très élevés, de 20 ou même 30 % par an, sur certaines filières tels le solaire photovoltaïque, l'énergie éolienne ou les biocarburants.

Les énergies renouvelables aujourd'hui requièrent des efforts de recherches, ces efforts pour être efficaces doivent relever d'une logique très décentralisée et irriguer une multitude de petites équipes. Il ne s'agit donc pas, si on veut être efficace, de crédits massifs venant se déverser sur ce secteur, ce ne sont pas les laboratoires de recherche, ni les entreprises qu'il convient de subventionner, mais pour un temps le prix des énergies qu'elles fourniront sur les marchés.

I.9. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une description générale sur les différents moyens de production d'énergie électrique d'origine renouvelables. Nous avons cité aussi les différentes notions qui entrent dans la conception de l'énergie solaire photovoltaïque. Nous avons ainsi abordé tous les éléments déterminants un système PV.

Nos études sont basées sur l'énergie photovoltaïque, c'est l'énergie la plus intéressante elle est disponible avec un immense potentiel.

Chapitre II

II.1. Introduction :

La combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu'économique. Il existe plusieurs combinaisons de systèmes hybrides, à savoir : éolien-diesel [16, 17, 18], photovoltaïque-diesel [19], et éolien photovoltaïque-diesel [20, 21,22]

Les systèmes hybrides les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables sont les Systèmes d'Énergies Hybrides (SEH). Ces systèmes combinent et exploitent plusieurs sources disponibles interconnectées entre elles pour fournir l'alimentation électrique, en général une ou plusieurs sources conventionnelles (groupe électrogène) et au moins une source d'énergie renouvelable. Plusieurs classifications des systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi. Le but d'un système d'énergie hybride est d'assurer la fourniture de l'énergie demandée par la charge et de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable.

Ce type de SEH utilise les petites sources d'énergies renouvelables connectées au bus CC quand il existe une production en CA, elle vient de générateur diesel. Une autre possibilité de convertir la puissance continue en puissance alternative à l'aide d'un onduleur

II.2. Présentation du système hybride :

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Le système qui nous intéresse regroupe deux parties pour la production de l'énergie passant par un stockage électrochimique.

II.3. Définition d'un système hybride :

Les systèmes hybrides sont les technologies émergentes de production d'électricité qui intègrent deux ou plusieurs sources de production issues autant des sources renouvelables, que des sources conventionnelles (généralement les générateurs Diesel) ou d'une combinaison des deux sources. La présente étude est focalisée sur les systèmes constitués de générateurs Diesel et d'une ou plusieurs sources d'énergies renouvelables qui sont les systèmes hybrides les plus rencontrés actuellement en zone rurale d'Afrique subsaharienne. Dans les sous-sections suivantes, nous passons en revue les enjeux, les typologies, les défis actuels des systèmes hybrides avec un focus sur le système hybride PV/générateurs Diesel. [23]

II.4. Structure du système hybride

Pour structurer un système hybride, trois critères peuvent être pris en compte [24] :

- ❖ La présence ou non de sources d'énergie classique, comme un groupe électrogène, une micro turbine à gaz, etc.
- ❖ La présence ou non de dispositifs de stockage. La présence d'un stockage permet de satisfaire la demande des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une source primaire à convertir en électricité (soleil, vent). Ces dispositifs peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoir d'hydrogène, etc.
- ❖ La structure du système peut contenir des modules photovoltaïques, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection des sources utilisées est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le profil de consommation de la charge électrique alimentée. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle.

II.5. Classification des système hybrides :

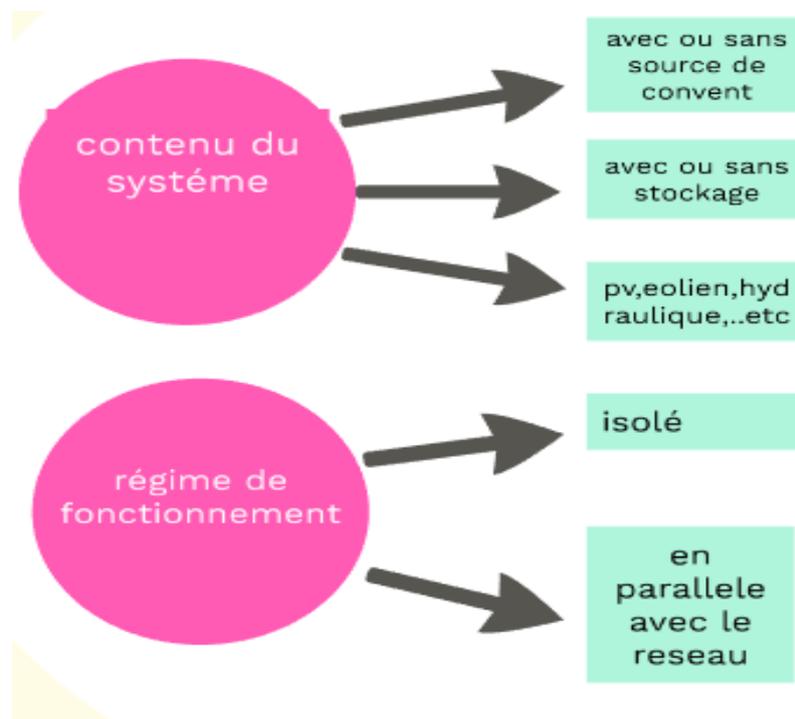


Figure II.1 Classification du système hybride

II.5.1. Différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides :

Les générateurs électriques d'un Système Hybride peuvent être connectés de différentes manières, qu'ils soient à énergie renouvelable pure, non renouvelable pure ou mixte. Deux configurations s'imposent parmi les systèmes d'énergie hybride constitués de sources d'énergie renouvelable, avec ou sans stockage [25]

I.5.2. Architecture à bus à CC :

Dans le système hybride présenté dans la figure I, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à CA fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. L'onduleur doit alimenter les charges à CA à partir du bus à CC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter des charges. Le générateur diesel ne peut donc pas alimenter les charges à CA directement. L'onduleur doit alimenter les charges à CA à partir du bus à CC et doit suivre la consigne fixée pour

L'amplitude et la fréquence. Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter les pics de charge, alors que le générateur diesel est dimensionné pour alimenter les pics de charge et les batteries en même temps. La puissance délivrée peut être contrôlée par la commande du courant d'excitation de la partie électrique du générateur diesel ou en incorporant un régulateur de charge dans les sources d'énergie renouvelable. Les avantages et les désavantages d'un tel système sont présentés ci-après [25]

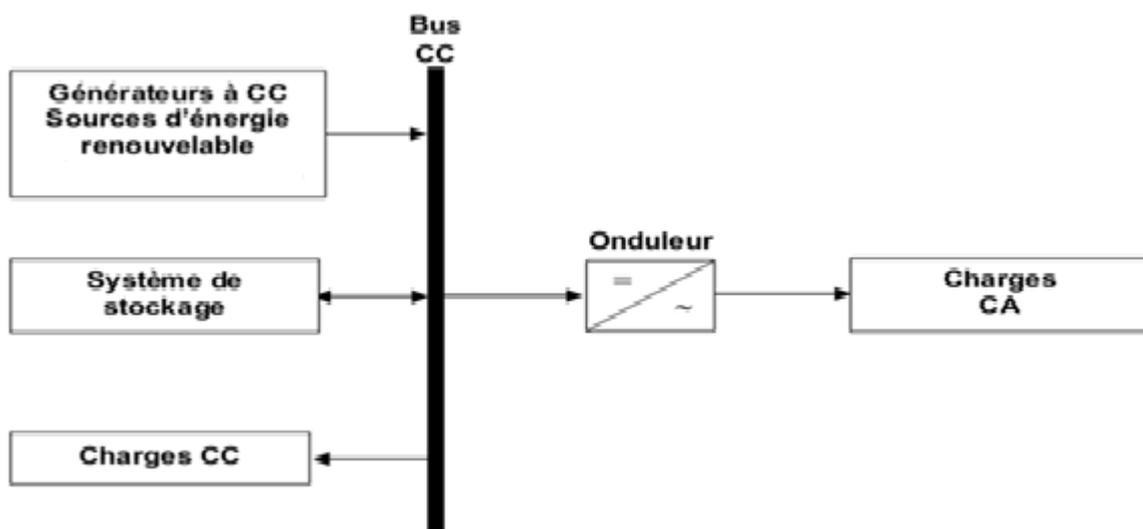


Figure II.2 : Configuration du Système Hybride à bus CC

II.5.3. Architecture mixte à bus à courant continu (CC)/courant alternatif (CA) :

La configuration à deux bus, à CC et à CA, est présentée dans la Figure Celle-ci à des performances supérieures par rapport à la configuration antérieure. Dans cette configuration, les sources d'énergie renouvelable peuvent alimenter une partie de la charge à CA directement, ce qui permet d'augmenter le rendement du système. Les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui, en fonctionnement normal, réalise la conversion CC/CA (fonctionnement onduleur). Quand il y a un surplus les batteries se charge (fonctionner en redresseur). L'onduleur bidirectionnel peut alimenter les pics de charge [25]

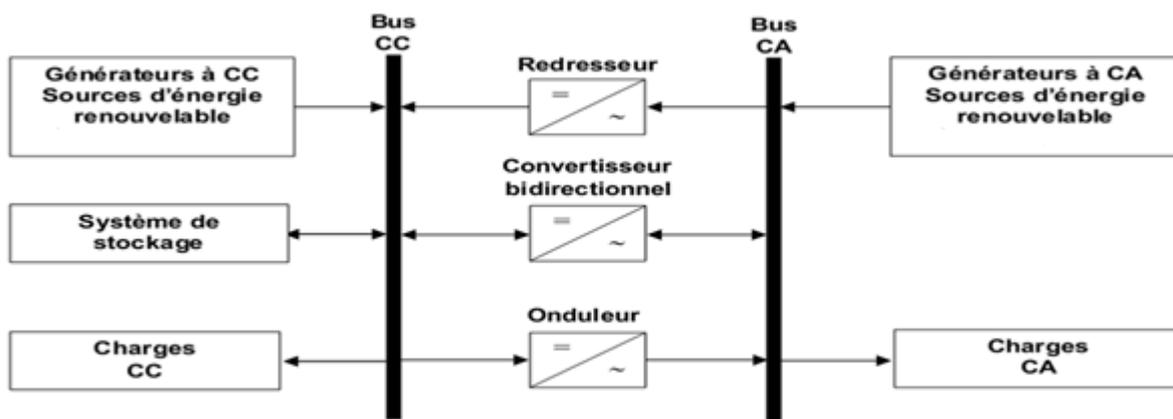


Figure II.3 : Configuration du Système hybride à deux bus à CC et à CA

II.6. Configuration générale PV/Diesel du concept Flexy-Energy :

Au sein du Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) de la fondation 2iE3 ont initié en 2009 un concept dénommé « Flexy-Energy ». Le concept « Flexy Energy » se définit comme une approche originale de production d'énergie durable sous formes électrique, thermique et/ou mécanique en optimisant non seulement la combinaison de plusieurs sources d'énergie d'origines différentes, disponibles dans un milieu donné, mais aussi la gestion de la production et des charges à alimenter par le biais de systèmes intelligents. [26]

Une application du concept « Flexy-Energy » en milieu sahélien a été faite pour les systèmes hybrides PV/Diesel. En effet, la région sahélienne d'Afrique subsaharienne est caractérisée par un fort ensoleillement (4-5 kWh/m²/jour), une agriculture propice aux oléagineux et au Jatropha, toutes des bioénergies pouvant permettre de produire des biocarburants. De plus, l'électrification décentralisée (rurale ou isolée) y est actuellement

dominée par les générateurs Diesel à cause de leur relative facilitée d'acquisition (faible coût d'investissement, disponibilité sur le marché). Des études expérimentales réalisées à cet effet par Yamegueu et al (2012) sur un prototype hybride PV/Diesel sans batteries de stockage (champ PV de 2,85 kWc, et un générateur Diesel de 9,2 kW) ont permis de définir une architecture générale de systèmes PV/Diesel sans batteries de stockage qui, de par sa flexibilité en gestion des sources de production et de la demande pourrait être fiable et rentable en zone rurale sahélienne. La figure présente le schéma général du système PV/Diesel sans batteries de stockages établit suivant les principes du concept "Flexy-Energy"

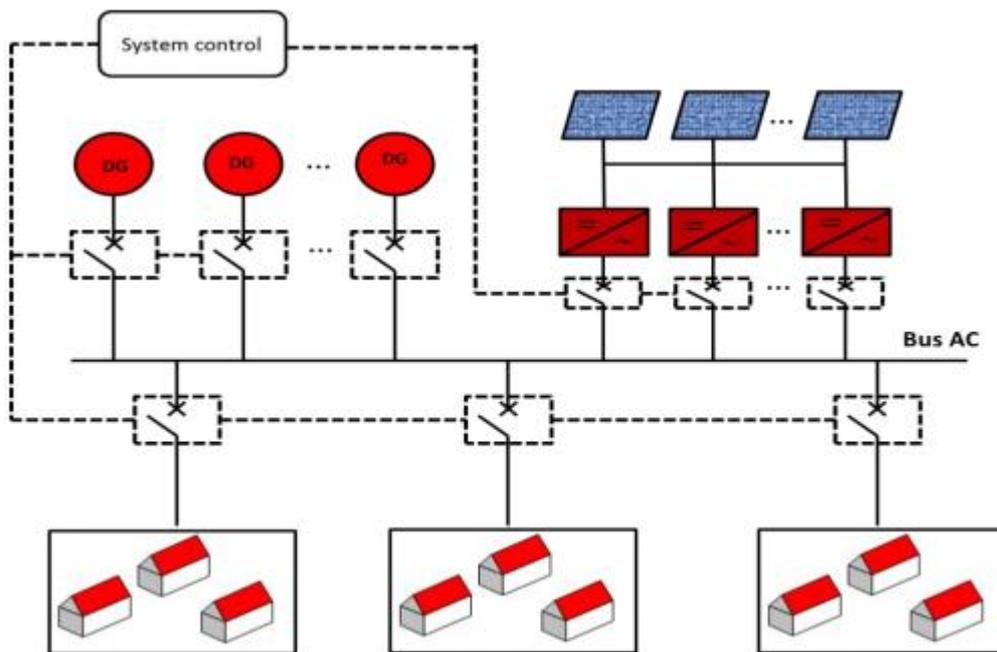


Figure II.4 : Architecture des systèmes PV/Diesel sans batteries de stockage (type Flexy-Energy)

Le système PV/Diesel présenté à la figure implique un couplage complexe entre les différents composants de production d'électricité (système solaire PV et générateurs Diesel) et les différents types de charges (charges critiques, charges secondaires et charges diffamables). On peut observer sur cette figure qu'un champ PV de plusieurs strings connectés à des onduleurs est couplé en parallèle avec plusieurs générateurs Diesel, eux aussi couplés entre eux pour alimenter les différentes charges. [27]

II.7. Les différentes combinaisons de système hybride :

Il existe plusieurs combinaisons [25] :

- ❖ Photovoltaïque-groupe électrogène

- ❖ Eolien-diesel
- ❖ Eolienne-photovoltaïque-diesel
- ❖ Photovoltaïque-éolien, stockage à batteries,
- ❖ Photovoltaïque -éolien, stockage à hydrogène,

Le groupe électrogène et le moteur diesel ne sont pas des sources d'énergie renouvelable en soit, ils sont utilisés généralement dans les systèmes hybride comme alimentation de secours.

*L'avantage d'un système hybride par rapport à un système pur éolien ou pour pur

Photovoltaïque, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux. La forme et le type de lâchage, le régime de vent, le rayonnement solaire, le coût, la disponibilité de l'énergie, le coût relatif de la machine éolienne, le champ photovoltaïque, le système de stockage électrochimique et d'autre facteurs d'efficacité. Les systèmes photovoltaïques sont actuellement économiques pour l'installation de faible puissance. Pour les systèmes d'énergie autonomes le coût de stockage représente les plus grandes contraintes du coût global du système pour l'installation de grande puissance. et aussi minimiser le coût de stockage et optimiser sa capacité est la raison essentielle de la combinaison des systèmes éoliens et photovoltaïque. [28]

II.8. Avantage d'un système hybride

- ❖ Non dépendant d'une seule source d'énergie.
- ❖ Capable de satisfaire des charges évolutives.
- ❖ Exploitation simple, travaux de maintenance et révision réduits.
- ❖ Faibles couts liés au cycle de vie de l'électricité pour des applications

II.9. Inconvénients :

- ❖ Coût de capital élevé comparé aux générateurs diesel.
- ❖ Plus complexe que les systèmes électriques isolés ; nécessite le stockage de batterie et le conditionnement de l'électricité. [29]

II.10. INTERET DES SYSTEMES HYBRIDES :

Un système PV autonome peut donner une réponse fiable pour la consolation des besoins des utilisateurs, sous réserve que ceux-ci soient bien connus et maîtrisés, ce qui n'est pas toujours le cas, spécifiquement pour faire face à l'évolution de la consommation dans le temps. Sur le plan technique, le fait de disposer d'un groupe électrogène, source d'énergie pilotable à la demande, permet de réduire la taille du champ PV et de la batterie, car l'énergie manquante peut être à tout moment fournie par le groupe électrogène, diminuant ainsi l'investissement par rapport à des système autonomes. Dans un réseau isolé alimenté par une centrale Diesel et PV,

l'intégration d'un contrôleur hybride permet de maximiser la taille du centrale PV et diminue au maximum le carburant, conservant la qualité de service 24/24- 7/7

I.11. Différents types des systèmes hybrides photovoltaïques :

On appelle « centrale PV hybride », la combinaison d'un générateur solaire avec un ou plusieurs générateurs utilisant d'autres sources d'énergie primaire pour la production d'électricité décentralisée en vue de palier aux carences de l'énergie solaire et de réduire son coût d'installation.

Il existe plusieurs types de systèmes PV hybrides pour la production d'électricité décentralisée. Dans cette étude, nous ne nous intéresserons seulement qu'au système hybride PV-diesel-GPL. On distingue deux types de configurations possibles : système hybride PV/diesel avec ou sans batterie de stockage.

II.11.1. PV- diesel avec batterie

Le groupe électrogène fonctionnant généralement en appoint, le générateur PV fournit la plupart de l'énergie demandée. Dans l'éventualité de mauvaises conditions météorologiques ou d'une demande excessive, le groupe électrogène est programmé pour se mettre en marche dès que la batterie d'accumulateurs est déchargée jusqu'à un certain pourcentage (50%) [30] de sa charge nominale. De cette façon, les accumulateurs sont chargés avant qu'ils n'atteignent leur seuil d'épuisement qui risquerait de les endommager. L'utilisation de la batterie et du groupe électrogène comme appoint réduit le coût d'installation et augmente la fiabilité du système. A titre d'exemple, à Tarryall Resort,

Catherine Lake, près de Keewatin (Ontario), la mise en place du système hybride PV-DIESEL avec stockage qui substituait deux groupes (un en plein temps de 7,5kW et un appoint), leur a permis de faire des économies de combustible et d'entretien au cours de la première année d'utilisation d'environ 7 000 \$. Le coût initial du système hybride élevé à 36 000 \$ a été récupéré en six ans d'exploitation [31]

II.11.2. PV- diesel sans batterie

Ce système d'alimentation des zones hors réseau est encore quasi inexistant. Dans ce type de système sans batterie, un groupe qui fonctionne en appoint aura un fonctionnement aléatoire dû à l'intermittence de la ressource solaire et du profile de charge qui peut être variable. Cela pourrait réduire sa durée de vie. Aussi, en faisant fonctionner le générateur PV en appoint, bien qu'on réduise la taille du groupe électrogène et donc par conséquent la

consommation en carburant et l'émission de CO₂, on augmente son temps de fonctionnement, ce qui réduit sa durée de vie. [32]

II.12. Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH :

Compte tenu de la nature aléatoire et intermittente des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des SEH comportant ce type de sources est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge. Le moyen le plus simple d'éviter une augmentation du risque de ne pas satisfaire complètement la charge est de faire fonctionner les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesel en parallèle, de façon continue (le générateur diesel fonctionne sans arrêt) [33]. Dans ce type de fonctionnement, les sources d'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesel. [34]

II.13. Les composants du système hybride

Comme pour toutes les technologies individuelles, il y a deux facteurs clés à considérer au moment d'évaluer la pertinence d'un système : les coûts et la fiabilité technique du système.

Cette section décrit les différents composants du système hybride PV-diesel pour donner une compréhension des composantes et certains aspects de leurs fonctionnements, qui est importante pour le fonctionnement du système hybride.

II.14. Générateur photovoltaïque

Les panneaux sont généralement des parallélépipèdes rectangles, rigides et minces (quelques centimètres d'épaisseur), dont la longueur et la largeur sont de l'ordre du mètre, pour une surface de l'ordre du m², et une masse de l'ordre de la dizaine de kg. Divers éléments (branchements électriques, fixations et éventuel cadre pour assurer une étanchéité) sont inclus. [35]



Figure II.6 : Structure d'un générateur photovoltaïque

Il existe également des modules sous forme de membranes souples et résistantes, ainsi que des panneaux à concentration, plus complexes mais exploitant mieux l'élément le plus cher du panneau, la cellule photovoltaïque. Leurs rendements est un peu plus faible que celui des cellules qui les constituent, du fait des pertes électriques internes et des surfaces non couvertes ; le rendement (par m²) du panneau complet est plus faible d'environ 10 à 15% que celui de chaque cellule. La puissance crête d'un panneau photovoltaïque est de l'ordre de 100 à 200 watts/m² (soit un rendement de 10 à 20%, les fabricants annonçant environ 15% pour leurs meilleurs panneaux), ce qui donne une puissance crête de 50 à 250 W par panneau, selon ses caractéristiques, notamment sa taille. Cette puissance est livrée sous forme de courant continu, ce qui est parfait pour un branchement sur une batterie et pour de nombreuses applications, mais implique une transformation en courant alternatif par un onduleur s'il s'agit de l'injecter dans un réseau de distribution. La tension délivrée dépend du type des panneaux et du branchement des cellules. Elle est de l'ordre de 10 à 100 volts.

L'énergie réellement captée par un module dépend de la surface et de la puissance nominale du panneau mais aussi de l'ensoleillement, variable selon la latitude, la saison, l'heure de la journée, la météo et le masquage subi. [35]

Les générateurs Diesel sont généralement faciles à installer. De plus, leur modularité et leurs coûts d'investissement font d'eux le moyen idéal de production d'électricité pour des zones sous-équipées et pour lesquelles l'énergie électrique constitue un facteur de développement incontournable ou pour des régions dont la faiblesse des besoins ne justifie pas la mise en œuvre de moyens plus lourds (réseaux insulaires par exemple). Un générateur de 100 kW coûte par exemple 16 k€ et celui de 160 kW coûte 28 k€ au Nigéria.

De manière générale, le coût d'investissement des générateurs Diesel varie de 150 €/kW à 800 €/kW suivant les régions. De plus, le développement de la cogénération pour la production de l'énergie électrique et thermique permet d'atteindre de nos jours des rendements énergétiques globaux compris entre 80 et 85%

II.15. Générateur Diesel

Les générateurs de type diesel sont équipés d'un moteur diesel qui transforme la combustion interne ou l'énergie du combustible (fuel) en énergie mécanique et d'un générateur synchrone (à rotor bobiné) qui transforme cette énergie mécanique en énergie électrique. [27]

La mission d'un générateur Diesel est de fournir de l'énergie électrique au système avec une onde sinusoïdale d'amplitude et fréquence constante. De ce fait ils doivent s'adapter à la charge considérée comme une véritable perturbation vis à vis leurs fonctionnements à travers les différentes boucles de contrôle. Ils existent différents types de machines diesel qui vont de quelques KVA jusqu'à quelques dizaines de MVA. Leur rendement électrique avoisine le 35-40%. Ce rendement diminue largement si le taux de charge diminue en dessous de 40%. Par conséquent, Les générateurs diesel présentent des dynamiques élevées et sont bien adaptés aux applications où des demandes soudaines de puissance sont prévues il n'est pas convenable qu'ils travaillent au-dessous de cette charge minimale [27]. De plus, ils peuvent assurer des transitions sans interruptions entre le mode îlotée le mode parallèle, ces générateurs sont ainsi adaptés aux applications de micro réseaux considérés.

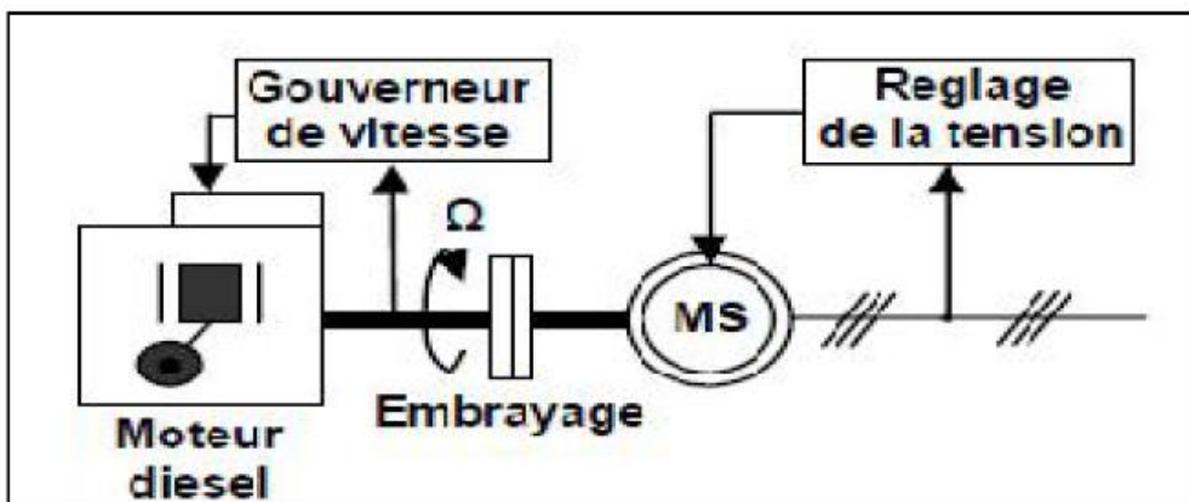


Figure II.7 : Constituions de groupe diesel

Le générateur diesel est constitué par :

Le moteur diesel : c'est le générateur de puissance mécanique ; la vitesse et le couple sont asservis par un régulateur de vitesse en jouant sur le débit de fuel ce qui permet le réglage de la puissance active fournie au système

L'alternateur : il s'agit d'une machine synchrone (MS) ; il est la source d'énergie électrique et est asservi par un système d'excitation qui s'occupe de maintenir constante. La tension de sortie de l'alternateur en jouant sur la puissance réactive fournie au réseau. Cette puissance réactive fournie est limitée ($\cos \varphi = 0,8$; donnée constructeur).

II.16. Les contraintes de production d'électricité par les générateurs diesel :

Les conditions énergétiques, économiques et environnementales de fonctionnement des générateurs diesel approvisionnant les réseaux autonomes ne sont pas optimaux et devraient être améliorées.

A. Contraintes Techniques :

Les générateurs diesel convertissent le combustible en électricité. On obtient sur de tel générateur, un rendement électrique de l'ordre de 45%, 30 % restent dans la chaleur latente des fumées, 12 % sont dissipés dans le refroidissement du bloc moteur, et 6% pour le refroidissement du circuit d'huile. Le solde, soit 7%, n'étant que peu exploitable (radiation du groupe) [36]

En effet, On peut résumer les Contraintes Techniques des générateurs diesel comme suivant :

- ❖ La durée de vie d'un générateur diesel s'estime de 05ans parfois moins.
- ❖ L'entretien et maintenance sont très compliqués.
- ❖ Les pannes répétitives et vieillissement rapide.
- ❖ La viscosité inadéquate de l'huile de lubrification se porte directement sur la consommation de carburant qui augmente lors du fonctionnement chargé du moteur.
- ❖ Le facteur d'utilisation supérieur à 30%, L'utilisation du générateur diesel sous faibles facteurs d'utilisation (faible charge ou charge partielle) est très néfaste au niveau de l'usure et entraîne des consommations élevées de carburant.
- ❖ L'insonorisation, La réglementation française impose un maximum de 85 dB à un mètre 17 Le niveau de sonorisation a été mesuré par un sonomètre.

En effet, l'exploitation des centrales diesel est non optimale et très dispendieuse.

B. Contraintes économiques :

Les générateurs diesel, tout en étant relativement peu chers à l'achat, ils sont généralement chers à exploiter et maintenir, particulièrement au niveau de la charge partielle, en raison du prix élevé du carburant livré aux sites isolés. Ainsi, puisque le prix du combustible diesel est très dépendant du mode de transport employé, ce sont les difficultés de transport et les particularités de livraison qui font varier ce coût et augmenter davantage le coût d'exploitation des générateurs diesels. Les coûts de production de l'électricité à partir du diesel sont plus chers que les coûts moyens des autres moyens de production (turbine à gaz par exemple).

Alors que le prix moyen de vente de l'électricité s'établit pour l'ensemble de l'Algérie c.-à-d. un prix uniforme de l'électricité, ce qu'il subit des pertes économiques supplémentaires chaque année. En revanche, Dans le cas de l'extension de centrale, l'exploitation de cette augmentation de puissance crée un surcoût dû aux adjonctions et aux modifications.

C. Contraintes environnementales :

La plupart des générateurs Diesel ont un taux élevé du gaz d'échappement par kilowatt généré variant de 10 à plus de 15 kg/kW [36]. Alors ils ont un impact significatif sur le plan environnemental en contaminant l'air local et le sol (générateurs vieilles et rouillées) et contribuant grandement à l'effet de serre (favorisant l'émission d'importantes quantités de GES). Au total, les émissions de gaz à effet de serre (GES) résultant de l'utilisation des générateurs sont estimées à 140000 tonnes pour les abonnés des réseaux isolés. Cette quantité d'émissions équivaut à la quantité de GES émise par 35 000 automobiles durant une année. Les rejets industriels sous leurs différentes formes, constituent aujourd'hui une préoccupation aussi bien au niveau national qu'international en raison des impacts négatifs que ces derniers entraînent sur l'environnement. Cependant, la production d'électricité est une source appréciable d'émission de gaz à effet de serre en raison des consommations volumineuses de combustibles fossiles. [37]

II.17. Les impacts de l'émissions de gaz à effet de serre sur notre planète :

Les experts climatiques internationaux s'accordent à penser qu'un lien étroit existe entre l'accroissement des émissions de CO₂ et la variabilité du climat. Il y'a cependant, encore beaucoup d'incertitudes sur l'évolution des changements du climat. Les experts parlent d'un grand chambardement climatique, auquel se rattacheraient la plupart des phénomènes constatés ces derniers temps : la sécheresse, la désertification, les cyclones, les pluies

torrentielles, les canicules et les écarts de températures. Ceci affecterait grandement les glaces polaires, et fera monter le niveau des mers menaçant ainsi la vie de plusieurs millions d'habitants. Il est donc urgent de lutter par tous les moyens contre le réchauffement climatique qui menacerait notre planète.



Figure II.9 : les gaz à effet de serre

L'algérien comme 178 pays dans cette planète engagée dans le **Protocole de Kyoto** doivent donc multiplier leurs actions dans le secteur de la production d'énergie propre. Des sources renouvelables, propres et inépuisables d'énergie, telle que l'énergie éolienne, attirent plus que jamais l'attention d'ingénieurs, des écologistes et des financiers. Le développement et l'intégration de systèmes de production d'électricité propres (photovoltaïque par exemple) contribueront à la réduction de ces émissions atmosphériques. En effet, l'hybridation des centrales diesel de (6MVA) pour prendre en charge 20% de la puissance maximale appelée permettront d'éviter l'émission de 1,2 million de tonnes de CO₂ et 5 mille tonnes de Nox. [38]

II.18. Batteries de stockage

L'énergie solaire n'est pas disponible tout le temps pour diverses raisons : météo, temps dans la journée, saisons ...etc. Donc on doit réserver l'énergie électrique pour faire

fonctionner les systèmes photovoltaïques pour cela que l'utilisation des batteries solaires pour le stockage de l'énergie est nécessaire pour garantir une disponibilité permanente et constante de cette dernière, quels que soient les conditions atmosphériques ou l'horaire du moment.

Généralement, les batteries solaires sont très coûteuses, elles doivent être utilisées avec prudence afin de prolonger leur durée de vie sans procéder à un entretien plus fréquent.

*Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales

- ❖ Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple).
- ❖ Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

II.19. Batteries de stockage de l'énergie photovoltaïque [39]

Une batterie solaire est un appareil destiné à stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires photovoltaïques. Le courant qui y entre ou qui en sort est forcément continu et non alternatif (comme dans le réseau électrique domestique). Les batteries sont indispensables dans les installations autonomes, car les modules photovoltaïques ne fonctionnent que lorsqu'il y en a de la lumière ; pour consommer de l'électricité le soir ou la nuit, il faut que les batteries en aient emmagasiné l'énergie électrique la journée.

Son fonctionnement de base est identique à celui des autres types de batteries (batterie de démarrage des voitures, batterie de téléphone ...) ; c'est-à-dire que l'énergie est stockée sous forme chimique. Le plomb et l'acide sont les composants les plus utilisés pour réagir entre eux à l'intérieur, ce qui permet d'accumuler ou de restituer de l'électricité au moment voulu.

Cependant, la façon dont on utilise les batteries solaires n'est pas la même, ce qui implique des technologies différentes. Par exemple, les batteries de voiture sont fortement sollicitées au démarrage, et se rechargent ensuite très vite. A l'inverse, les batteries solaires sont vidées lentement sur de longues périodes, et parfois ne se rechargent qu'après quelques jours. C'est pour cela qu'elles sont également appelées « batteries stationnaires », ou « batteries à décharge lente ».

Le terme exact, quand on parle de batteries, est « batterie d'accumulateurs ». Elles sont en effet constituées de plusieurs éléments ou accumulateurs ayant chacun une tension de 2 V.

Pour obtenir une tension supérieure, ces éléments sont assemblés en série. On peut trouver des batteries solaires de 2 V, 6 V, 12 V qui sont les plus courants, 24 V ou même 48 V.



Figure II.9 : Une gamme de puissance de différents constructeurs de batteries solaires

II.20. Caractéristiques principales d'une batterie [40]

Les caractéristiques principales d'une batterie sont :

-Capacité en Ampère heure

Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.

-Rapports de chargement et déchargement

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

- Température

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

-La durée de vie

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles).

-Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommages. Les fabricants de batteries de nickel-Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages. Cependant, elle affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

-Le rendement

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

-Le taux d'autodécharge

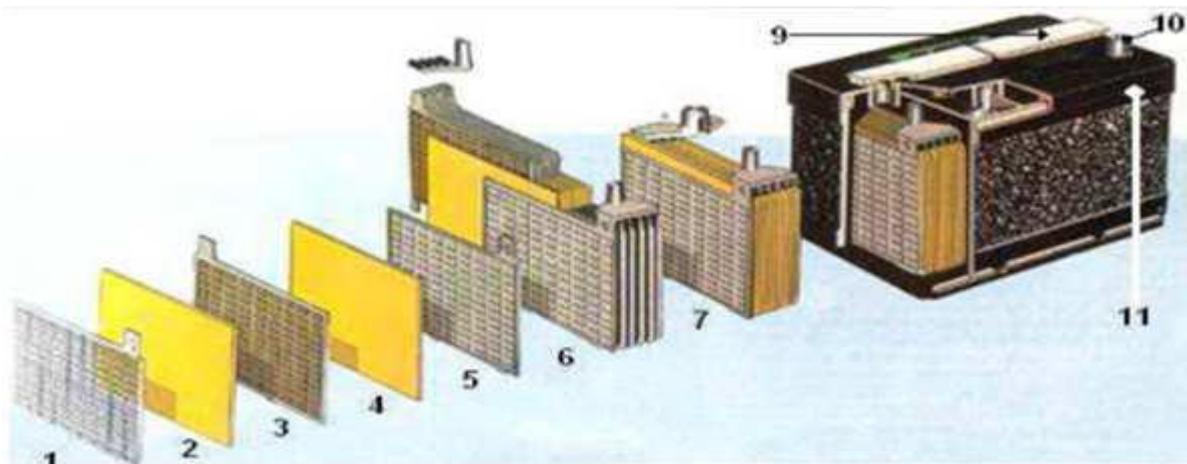
L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

II.20.1. Types d'accumulateurs (batteries) :

Dans le système PV on distingue plusieurs types de stockage les puissances rencontrées sont inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Les deux principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans le système photovoltaïque sont :

II.20.2. Accumulateurs au plomb acide

Une batterie acide-au-plomb est une source d'énergie électrique. Cette dernière est obtenue par transformation directe d'une énergie chimique en une énergie électrique. Rechargeable, il s'agit historiquement du premier dispositif de ce type qui a été développé et commercialisé. Chaque batterie acide-au-plomb est habituellement constituée de plusieurs cellules dont la tension cellulaire qui dépend de l'état de charge est de l'ordre de 2 V. Les cellules sont associées en série et permettent ainsi d'atteindre des tensions nominales de 6, 12,24 V et au-delà. Chaque cellule est composée d'un couple d'électrodes positive et négative isolées par un séparateur microporeux, destiné à éviter les courts circuits tout en laissant circuler les ions. Les électrodes positives sont à base de peroxyde de plomb (PbO_2), les électrodes négatives sont à base de plomb métal (Pb) et l'électrolyte est une solution aqueuse d'acide sulfurique (H_2SO_4). [41]



- ❖ 1 : Grille.
- ❖ 2 : Séparateur.
- ❖ 3 : Plaque positive.
- ❖ 4 : Plaque négative.
- ❖ 5 : Batterie.
- ❖ 6 : Faisceau négatif.
- 7 : Élément complet.
- 8 : Pont.
- 9 : Rampe de bouchons
- 10 : Borne.
- 11 : Bac.

Figure II -10 : Construction d'une batterie acide-au-plomb.

Les batteries contiennent en poids environ 60 % de plomb, de 10 à 30 % d'électrolyte, de 5 à 10 % de matériaux pour la caisse (polypropylène par exemple) et de 20 à 40 % d'autres Matériaux (silicone pour les batteries à électrolyte gélifié, séparateurs des électrodes, etc.). Ces proportions sont variables en fonction des fabricants et des technologies. La

concentration de l'électrolyte en acide sulfurique au repos varie entre 30 % et 40 % en fonction de la technologie.

II.20.3. Fonctionnement :

Le fonctionnement de la batterie acide-au-plomb réside dans le couplage de deux électrodes : une positive (PbO_2) et une négative (Pb) qui sont immergées dans une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4). [42]

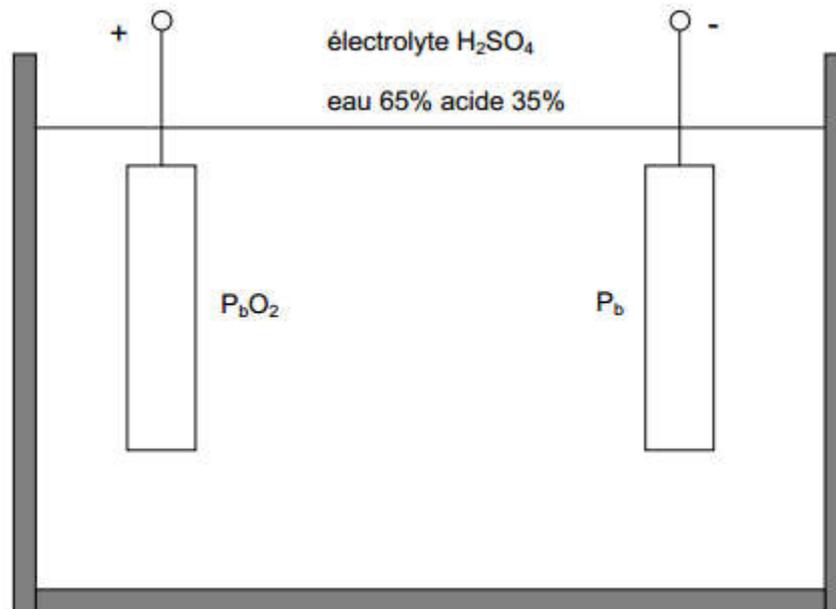


Figure II.11 : Accumulateur acide-au-plomb chargé

Les réactions chimiques de charge et de décharge sont des réactions d'oxydoréduction entre l'électrode négative, l'électrode positive et l'électrolyte.

La décharge de la batterie acide-au-plomb consomme les solides des électrodes (Pb et PbO_2) et les ions H^+ de l'électrolyte et conduit à la formation de sulfate de plomb ($PbSO_4$) sur les électrodes : [42]



A l'inverse, la charge de l'accumulateur au plomb forme les solides des électrodes et libère H^+ de l'électrolyte (la concentration en acide augmente, le pH diminue), et le sulfate de plomb $PbSO_4$ disparaît des électrodes :



Les réactions électrochimiques aux électrodes se résument comme suit :

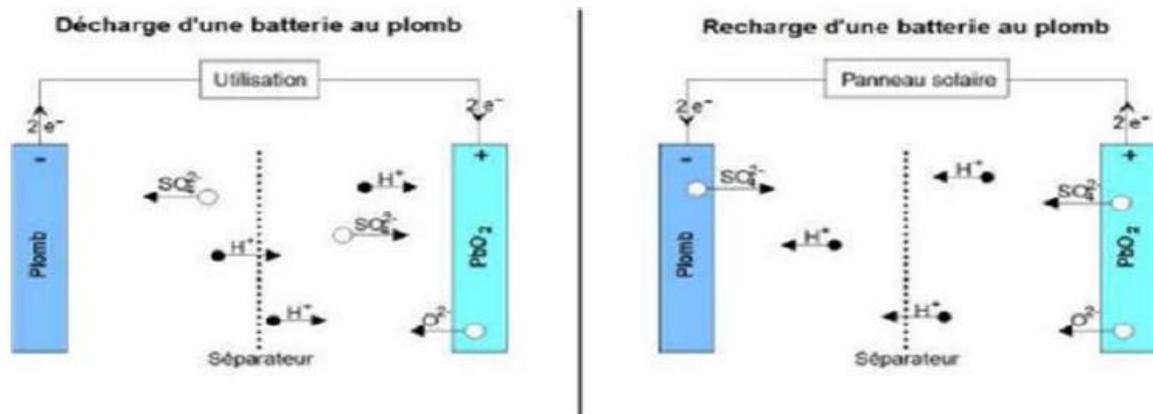
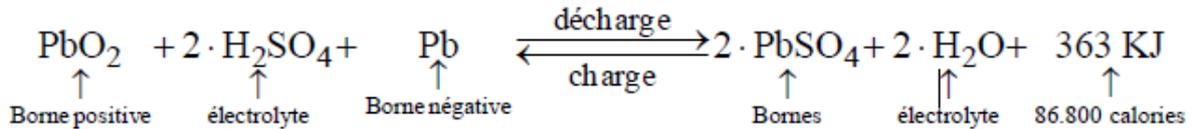
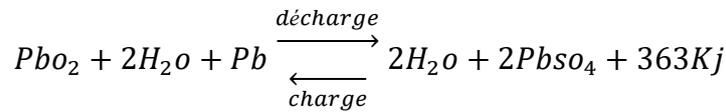


Figure II.12 : Principe de fonctionnement de l'accumulateur acide-au-plomb

De plus, à la fin de la charge, le courant de charge déclenche l'électrolyse de l'eau contenue dans l'électrolyte, produisant un dégagement d'hydrogène à l'électrode négative et d'oxygène à l'électrode positive.

Les batteries acide-au-plomb peuvent soit être « ouvertes », les gaz peuvent alors s'échapper par les orifices prévus et il est nécessaire d'ajuster régulièrement le niveau d'eau (excepté pour les batteries dites « sans entretien »), soit « à recombinaison de gaz » (en anglais VRLA pour « Valve-Regulated Lead-Acid battery ») avec un électrolyte sous forme de gel (dit gélifié) ou absorbe dans une matière fibreuse (dit absorbe) qui ne nécessite ainsi pas d'ajustement du niveau d'eau.

II.20.4. Etat de décharge de la batterie

Quand la batterie se décharge, les matériaux actifs : le dioxyde de plomb au niveau de l'électrode positive et le plomb spongieux au niveau de l'électrode négative réagit avec l'acide sulfurique pour former le sulfate de plomb PbSO4 et de l'eau H2O. Pendant cette

phase, la concentration de l'acide décroît et la tension de la batterie décroît également avec le temps ; se ille dépasse une certaine valeur définie par les constructeurs, ceci peut attaquer les plaques (formation du sulfate de plomb $PbSO_4$), qui ne sont plus détruites par la suite ; ce phénomène aura comme conséquences la sulfatation de l'accumulateur qui entraîne une perte de capacité, et un vieillissement de la batterie [43]

L'évaluation du courant de décharge et la tension au cours d'une décharge d'une batterie plomb-acide est présenté dans la figure suivante:

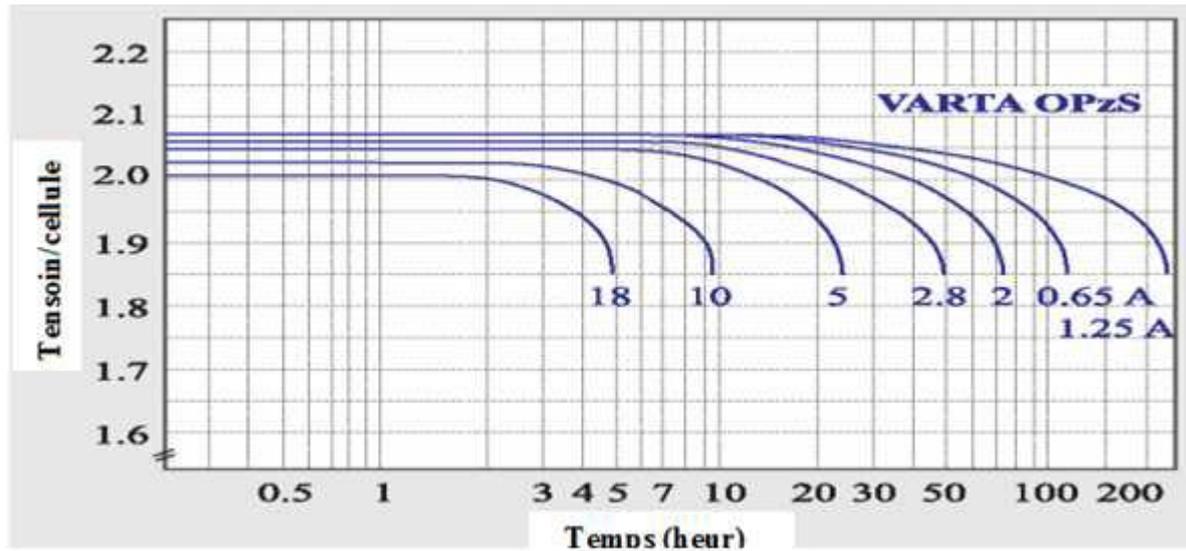


Figure II.13 : Courbes caractéristiques de décharge d'une batterie de type VARTA-OPzS.

Les typiques de fin de décharge, la tension à ces taux de décharge peut également être remarqué où la tension commence à baisser fortement. Par ailleurs, la fin de décharge, la tension varie entre 1,75 à 1,9V, en fonction du type de batterie et le courant de décharge. Augmentation de la capacité du service est obtenue à des taux inférieurs de décharge. Au taux de décharge plus élevée, l'électrolyte dans la structure des pores de la plaque devient appauvri et il ne peut pas se diffuser rapidement pour maintenir la tension de cellule. Toutefois, la décharge intermittente, laisse le temps pour la diffusion d'électrolyte qui permettra d'améliorer le rendement en vertu des taux élevés de décharge.

II.20.5. Etat de charge

Pendant la charge, le sulfate de plomb $PbSO_4$ formé au niveau des deux électrodes se convertit au PbO_2 au niveau de l'électrode positive et au Pb au niveau de l'électrode négative, et les ions de sulfate se retournent dans la solution pour former l'acide sulfurique. Pendant cette phase, la concentration de l'acide augmente et la tension de la batterie croit également avec le temps, quand elle atteint une tension suffisamment élevée, « tension de gazéification

», l'électrolyse de l'eau contenue dans la batterie devient trop rapide et un dégagement gazeux (oxygène et hydrogène) aura lieu à l'intérieur de la batterie. [44]

En fin de charge, la tension de la batterie augmente rapidement, donc on doit limiter le courant de charge pour maintenir la tension de la batterie à une tension inférieure à la tension de gazéification. Si on trace en fonction du temps la différence de potentiel entre les deux bornes de la batterie, on constate qu'après un court régime transitoire elle s'établit aux environs de 2.2 V. En fin de charge (le point 2.4 V/élément), on remarque un accroissement rapide de la tension. [44]

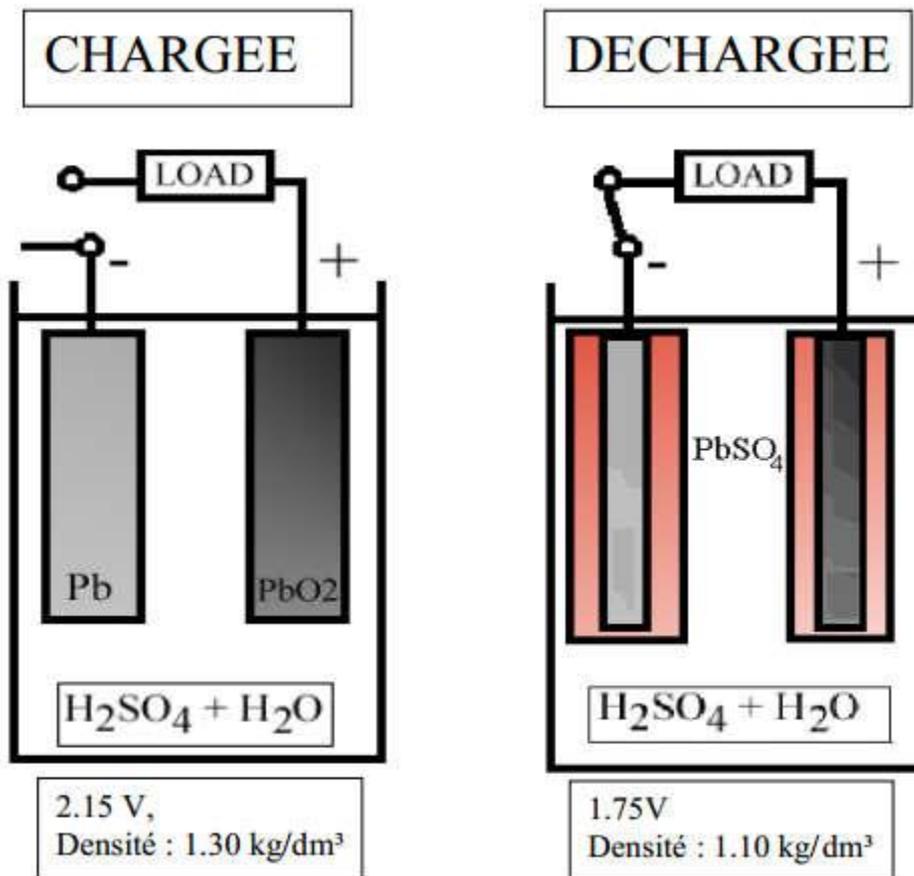


Figure II.14 : Charge et décharge d'un accumulateur

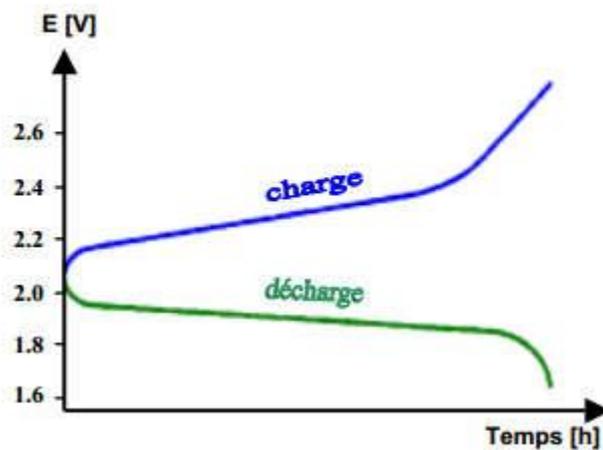


Figure II.15 : Courbe de charge et décharge d'une batterie acide-au-plomb

II.20.6. Accumulateurs au Nickel- cadmium :

Les batteries de nickel- Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium [45]. La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- ❖ Très bonne résistance mécanique.
- ❖ Possibilité de supporter des décharges profondes.
- ❖ Pas d'émanations toxique à partir de l'électrolyte.
- ❖ Ne craint pas de gel.

II.20.7. Caractéristique de décharge :

La caractéristique de décharge des cellules Ni-Cd varie suivant leur technologie, la température et le niveau du courant. On ne présente pas ici de courbe particulière, chaque fournisseur ayant des données différentes [46]

Un point important à noter est que le Ni-Cd peut être complètement déchargé, ce qui rend la présence d'un régulateur de décharge superflu si les utilisateurs tolèrent de fonctionner jusqu'à 0V. Contrairement aux batteries au plomb qui n'admet pas cette décharge, les batteries au Ni-Cd ont une capacité qui varie peu avec le courant de décharge : par exemple à une capacité de 102 Ah / 5 h correspond une capacité de 110 Ah / 100 h. [46]

II.20.8. Influence de la température

La capacité de la batterie plomb est également affectée par la température : elle diminue d'environ 1% par degré au-dessous de 20°C. En outre, des températures extrêmes accélèrent le vieillissement, l'autodécharge et de l'utilisation d'électrolyte [47].

Pour le Ni-Cd il perd la moitié de sa capacité par rapport à 20°C. A basse température, le Ni-Cd ne gèle pas contrairement au plomb. Ce dernier point peut justifier le choix du Ni- Cd pour des applications dans les pays froids ou en haute altitude.

Par contre, l'utilisation dans les pays chauds, il est préférable d'utiliser le plomb car le Ni- Cd à un taux de pertes internes qui est environ 4 à 5 fois plus élevé que celui du plomb. A 40°C, les pertes internes peuvent atteindre 1.2% de la capacité nominale, ce qui pour une batterie dimensionnée avec 5 jours d'autonomie oblige à installer un générateur 6% plus puissant pour tenir compte de ces pertes. [46].

II.21. Les onduleurs :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande [48]

Principe de fonctionnement d'un onduleur : Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde.

Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion [48]

- ❖ Onduleur Monophasé.
- ❖ Onduleur Triphasé.

II.21.1. Onduleur triphasé :

Afin de convertir la tension à la sortie du générateur photovoltaïque en tension alternative on doit utiliser un onduleur de tension MLI. Un onduleur autonome est un convertisseur statique assurant la conversion continu-alternatif ; il permet d'obtenir une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace à partir d'une tension continue donnée. [49]

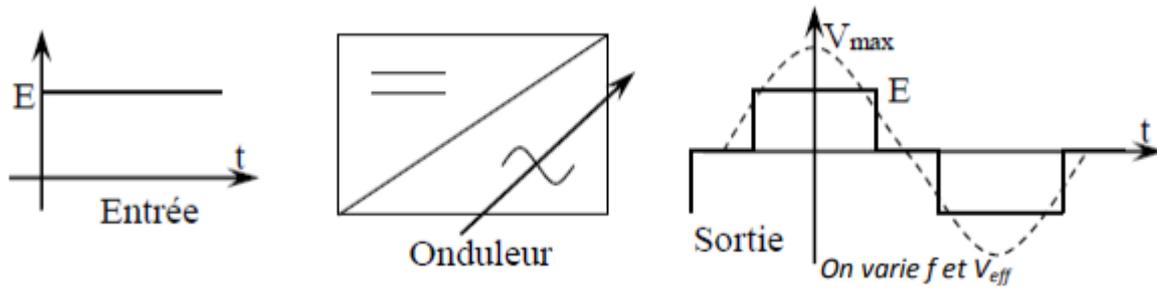


Figure II.16 : Symbole d'un convertisseur continu alternatif .

Selon la nature de la source à l'entrée, on distingue :

- ❖ Onduleur de tension
- ❖ Onduleur de courant

II.21.2. Domaine d'utilisation des onduleurs :

Les onduleurs sont utilisés dans plusieurs applications industrielles :

- Alimentation sans interruption : En temps normal, la batterie est maintenue en charge, mais l'énergie est fournie par le réseau via le redresseur et l'onduleur. En cas de défaut de réseau, l'énergie est fournie par la batterie via l'onduleur.

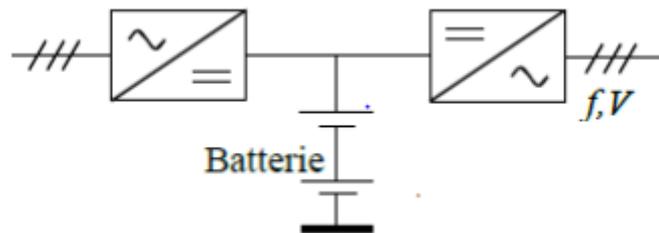


Figure II.17 : Alimentation sans interruption [50]

- Alimentation des moteurs à courants alternatifs à fréquence et tension variables : (éventuellement réversible)

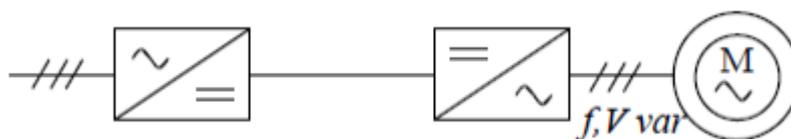


Figure II.18 : Alimentation d'un moteur à courant alternatif à travers un onduleur [50]

- Alimentation de charges réactives (fours, ou onduleurs "à résonance", ...)

II.21.3. Choix de l'onduleur :

- Calcul de la puissance de l'onduleur [51] :

La puissance de l'onduleur est obtenue par la formule suivante :

$$P_n(w) \geq \frac{P(w)}{k}$$

Où :

P_n = puissance nominale de l'onduleur

P = puissance de pointe de l'ensemble des charges

k = taux de charge de l'onduleur

La puissance de pointe de l'ensemble des charges correspond au pic sur le profil de charges journalier. La puissance de pointe est de 2100 W. Il est recommandé de ne pas charger les onduleurs à plus de 80% de leur puissance pour garantir leur longévité, ainsi on obtient une puissance de l'onduleur,

$$P_n(w) \geq \frac{2100}{0.8}$$

$$P_n(w) \geq 2625$$

Pour le choix définitif nous avons retenu un onduleur chargeur monophasé Quattro 5000 VA 48V DC/230V AC de chez Victron dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau

Tableau II.1 Caractéristiques techniques de l'onduleur Quattro 5000 VA

Fabricant	victron
Model	Quattro
Puissance nominale continue	5 000 VA/ 4000 W
Tension d'entrée CC	12V/24V/48 V
Puissance nominale en crête	10 000 W
Rendement max	95%



Figure II.19 : Onduleur Quattro 48V/5000VA [51]

*Les onduleurs multifonctionnels conçus pour les mini-réseaux hybrides sont différents des onduleurs réseau qui ajustent leurs tension, fréquence et phase à celles du réseau, fixées par la centrale principale de production. Pour des raisons de sécurité, les onduleurs réseau doivent se déconnecter automatiquement en cas de perte de la production principale. À l'inverse, les onduleurs multifonctionnels employés dans les systèmes hybrides sont conçus pour constituer le mini-réseau, en établissant la tension et la fréquence de celui-ci. Ils sont aussi dénommés onduleurs en îlotage.

II.22. Central hybride PV/diesel GPL

La nature intermittente de la ressource solaire et pour assurer une fiabilité de la production électrique, il est nécessaire d'associer cette source d'énergie à un système contrôlable. L'intégration de l'énergie solaire aux systèmes diesels se présente ainsi comme une solution technologique appropriée pour la production efficace d'électricité et à coût réduit. Aussi, cette technologie est particulièrement bien adaptée pour les zones rurales dans le grand sud algérien où la fourniture en électricité est majoritairement assurée pour l'instant par les centrale et microcentrale diesels GPL [52]

II.22.1. Les GPL

Les GPL étant les seuls combustibles conventionnels, à la fois disponibles, accessibles partout et plus propres, ils sont le complément naturel des énergies renouvelables : ils apportent l'énergie nécessaire lorsque les éléments naturels (air, soleil, eau) ne sont pas ou plus à même d'en fournir. Ils permettent également la production localisée d'électricité grâce

à de générateurs indépendants et à la micro cogénération. Pour ces productions autonomes d'énergie, l'empreinte carbone des GPL est plus faible que celle du charbon, du fuel ou de l'essence.

Les gaz butane et propane, les GPL, sont une énergie exceptionnelle en raison de leurs origines, de leurs caractéristiques, de leurs applications et de leur filière. En tant qu'énergie moins polluante, faiblement émettrice de CO₂, performante et novatrice, les GPL offrent de nombreux avantages pour les consommateurs et les secteurs professionnels comme pour l'environnement. Avec une disponibilité immédiate et en tous points du globe, des atouts environnementaux, leur origine double (gaz – pétrole), leur facilité de transport et leur variété d'usages, les GPL permettent d'assurer et de contribuer, sans délai, à un modèle énergétique durable, compétitif et plus sûr. La combustion des GPL est propre et ils contribuent au développement des énergies renouvelables. Ils sont accessibles et indispensables à des centaines de millions de personnes dans le monde aujourd'hui. C'est une énergie multi usages bénéficiant de milliers d'applications. Elle est facilement transportable, stockable et utilisable quasiment partout dans le monde et ses ressources sont assurées pendant plusieurs décennies. A usage équivalent, les GPL produisent moins de gaz à effet de serre que l'essence, le gazole et l'électricité d'origine thermique.[52]

Les GPL sont une source d'énergie qui favorise l'innovation :

Les GPL étant les seuls combustibles conventionnels propres disponibles partout, ils apportent l'énergie nécessaire lorsque les éléments naturels (air, soleil, eau) ne sont pas ou plus à même d'en fournir. Ils sont le complément naturel des énergies renouvelables. Ils permettent également la production localisée d'électricité grâce à de générateurs indépendants et à la micro cogénération.

II.23. Groupe Electrogène :

II.23.1. Généralités

Le groupe diesel est actuellement utilisé dans plusieurs applications. Il est employé pour couvrir les besoins au pic de consommation et surtout pour l'approvisionnement en électricité dans les cites isolés en particulier en cas de secours dans des alimentations par des sources d'énergie intermittentes.

Le groupe électrogène comporte un moteur soit diesel ou essence, qui entraîne une machine électrique, généralement constitués d'un moteur tournant à une vitesse fixe accouplé à un alternateur synchrone ou asynchrone l'excitation de la génératrice synchrone [35]se fait avec un système à redresseur tournant et pour la génératrice asynchrone elle se fait à partir des

batteries de condensateurs. Le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone. La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel. Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constant [53].

Le couple développé par le moteur diesel peut être modélisé d'une manière simple par une fonction de transfert de premier ordre de constante de temps (τ_c) représentant la constante de la combustion. [54]

τ_c Représente le retard pur à l'allumage. On a alors :

$$C_{diesel} = \frac{F}{1 + \tau_c P} + e^{-\tau_a P}$$

Où :

F : est un gain relatif au niveau de carburant.

C_{diesel} : couple développée par le moteur.

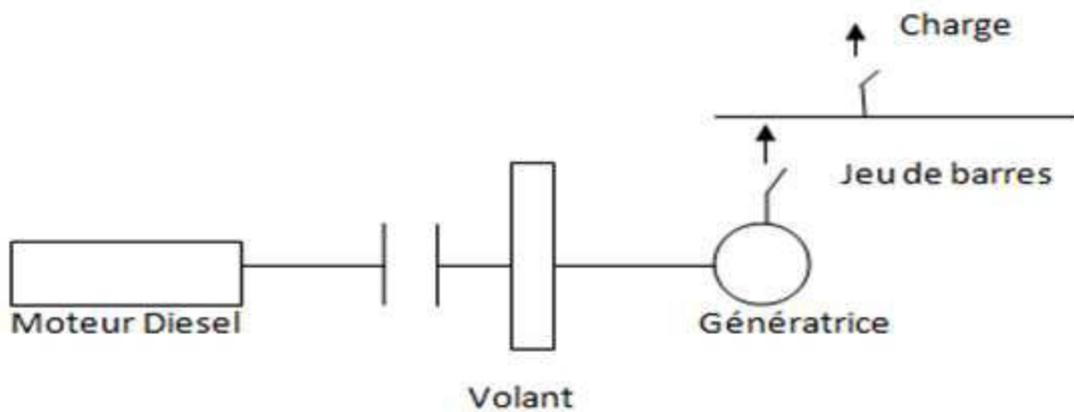


Figure II.20 : Groupe Electrogène.

Le groupe électrogène est utilisé pour fournir de l'énergie dans les trois cas suivants [43] :

- ❖ Fournir de l'énergie de base, dans les centrales électriques diesel.
- ❖ Fournir de l'énergie de remplacement, lorsque l'énergie de base est couteuse.
- ❖ Fournir de l'énergie de secours, lorsque l'énergie de base vient à manquer.

Pour examiner le groupe électrogène, il est logique d'examiner à la norme internationale ISO 8528 qui distingue trois catégories des groupes électrogènes comme :

- ❖ Classe 1 : groupes électrogènes pour les consommateurs avec des exigences mineures pour la stabilité dans et le comportement de tension de fréquence.

- ❖ Classe 2 : groupes électrogènes pour les consommateurs, qui exigent la stabilité de tension similaire à réseaux publics, bien que plus élevés écarts sont reconnus lors du chargement la variation. (Les systèmes d'éclairage, pompes électriques, des ventilateurs et des ascenseurs)
- ❖ Classe 3 : groupes électrogènes pour les consommateurs avec des exigences élevées à la fréquence et stabilité de la tension. (Installations de télécommunication, dispositifs avec un circuit électronique sensible) Back-up de puissance de la pénétration renouvelables élevé (les petits systèmes hybrides <10 kW) est généralement fourni par le groupe électrogène phase combustible unique. [43]

II.24. Conclusion :

Durant le présent chapitre, nous avons donné une aperçue générale sur les systèmes hybrides et différentes configurations d'un système d'énergie hybride diesel qui permet de satisfaire des charges évolutives avec un faible cout. Ce dernier se compose d'un générateur photovoltaïque et de batteries de stockage puis on s'est appondue sur les différents types et les caractéristiques des accumulateurs. Parmi ces différents types, on a retenu la batterie acide-au-plomb vu qu'elle est la plus utilisée. Pour cette dernière, nous avons illustré son principe de fonctionnement durant les cycles de charge et de décharge puis on a passé aux onduleurs ; leurs types ; domaine d'utilisation et leurs choix.et en fin on a cité l'utilisation des GPL qui sont une source d'énergie qui favorise innovation.

Les connaissances retenues durant ce chapitre nous ont permet de bien savoir les systèmes hybrides. Ceci nous a conduits à l'écriture du prochain chapitre pour déterminer le dimensionnement, modélisation, et stratégie de gestion.

Chapitre III

III.1. Introduction :

Une source PV et grâce à une centrale hybride permet de produire un maximum d'énergie et d'assurer sa demandée par la charge. Les performances d'un système hybride PV/diésel, le rendement et la durée de vie, sont influencées en partie par sa conception (dimensionnement des composants, et la stratégie de gestion) et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement (gestion et contrôle de système) [55]. Dans ce chapitre nous avons étudié les dimensionnements et la stratégie de gestion d'un SEH qui a pour but de démontrer par approche numérique au niveau de la consommation en carburant du générateur Diesel.

Afin d'étudier en détail le fonctionnement d'un centrale hybride PV/Diésel, nous étudions de la modélisation des composants principaux du système hybride PV/Diésel. Et ensuite nous essayons de dimensionnement et élaborer une stratégie de gestion de centrale hybride PV/Diésel.

Finalement, nous présentons Rotation des groupes électrogènes et l'écoulement de puissance.

III.2. Principaux composants systèmes hybride PV/Diésel :

Un système hybride PV/Diésel est compose dans son ensemble d'un [56] :

- ❖ Deux sources de production ; Système photovoltaïque et un ou plusieurs Générateur diesel.
- ❖ Moyen de stockage : électrochimique (batteries) ou électrique (super capacités),
- ❖ Réseau/Charge (village, foyer...)
- ❖ Système de contrôle et supervision de composant du système hybride.

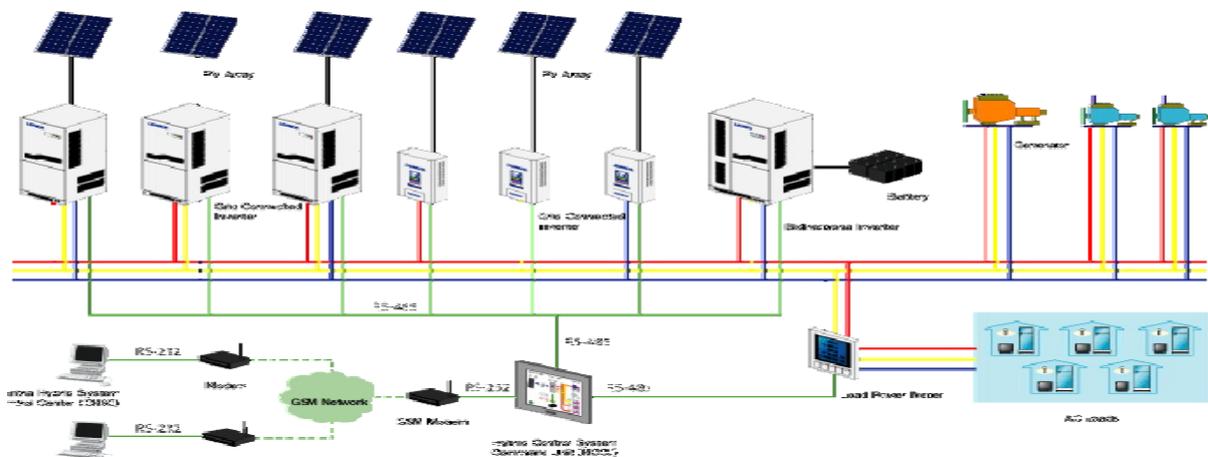


Figure III.1: Exemple d'un système hybride PV/Diésel de 100Kw

Le champ d'application de système hybride PV/Diésel est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes. On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance dans le tableau ci-après.

Tableau III.1 : classement par gamme de puissance

Puissance	Application
Faible : inférieur à 5 KW	Système autonome : station de télécommunication, pompage de l'eau...
Moyenne : entre 10 à 250Kw	Alimentation d'un village isolé, d'un hameau, des zones rurales...
Grande : supérieure à 500 KW	Grands réseaux isolés comme par exemple réseaux isolés au grand sud...

Dans cette étude, nous étudions une centrale hybride PV/Diésel de moyenne ou grand puissance (de quelque centaine KW jusqu'à quelle que MW) avec un système de stockage, pour adopter un modèle qui nous permet de tenir compte des interactions entre les différents éléments tout en donnant lieu à une modélisation simple du système global.

III.2.1. Modélisation de la cellule photovoltaïque

La modélisation d'une cellule solaire consiste à expliquer ses différents phénomènes photovoltaïques, il suffit par la suite de les mettre en équations [57].

L'effet photovoltaïque est défini par une différence de potentiel entre deux matériaux semi-conducteurs, lorsque leur jonction commune est illuminée par la radiation des photons. Le principe physique d'une cellule photovoltaïque est représenté par le circuit équivalent, schématisé par la figure.

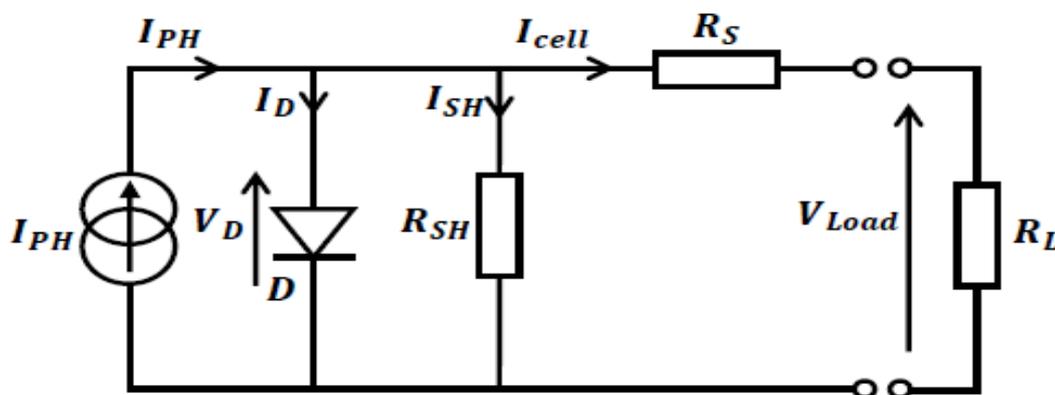


Figure III.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

L'insertion de chaque élément dans le modèle de la cellule photovoltaïque (source de courant, diode, résistances), reflète un phénomène physique qui se déroule à l'intérieur de la cellule photovoltaïque. Nous définissons ces éléments comme suite :

III.2.2.1. La source de courant I_{ph} :

Les photons génèrent des paires électrons-trous au niveau de la jonction « $P-N$ » où existe un champ électrique dû à cette jonction, ce qui en résulte un déplacement de ces charges libres ($\vec{F} = q * \vec{E}$)

En effet, le déplacement présente un courant électrique, qui est à l'origine des photons il doit être modélisé par une source de courant et non de tension (le déplacement des charges avec vitesse, représente le courant électrique). L'intensité de cette photo courante est linéairement proportionnelle à l'irradiation.

III.2.2.2. La diode :

Lorsque la cellule solaire est illuminée et mise en circuit ouvert (aucun courant débité), les paires électrons-trous générées et séparées ne circulent nulle part, ce qui augmente la densité des électrons dans la région et les trous dans la région. Cet excès d'électrons doit traverser la jonction, afin de préserver l'état stable des régions et l'insertion d'une diode (une cellule solaire n'est qu'une diode à jonction), en parallèle avec la source de courant, s'avère nécessaire pour acheminer ce courant selon une polarisation directe de la diode (courant direct).

III.2.2.3. La résistance R_S :

La résistance R_S présente la totalité des résistances confrontées à la trajectoire parcourue par les électrons, elle englobe :

1. La résistance interne du matériau semi-conducteur
2. La résistance du contact entre le matériau et les deux grilles métalliques.
3. La résistance des métaux (grilles) qui servent à la collecte des électrons.

III.2.2.4. La résistance R_{SH} :

Un dernier phénomène qui peut surgir dans une cellule solaire, il s'agit du phénomène de recombinaison des charges. Parfois, la séparation des charges libres (électrons-trous) par le champ interne de la jonction, peut ne pas être accomplie, car un phénomène de recombinaison très rapide se manifeste (les électrons et les trous se recombinent dès qu'ils sont générés). Dès que ces paires sont générées, une photo courante apparaîtra, mais ce dernier ne va pas parcourir la charge, ni la diode (les charges libres n'ont pas quitté la région), il doit être

acheminé par une autre voie (recombinaison des charges), c'est pourquoi nous devons insérer une résistance de grande valeur en parallèle, aussi, avec la source de courant modélisant ce phénomène.

III.3. Modélisation d'un système hybride PV/diésel

L'architecture complète du système hybride PV/diésel étudié dans le cadre de ce travail est illustrée dans la figure. Tous ses composants (les sources, les batteries et les convertisseurs) seront modélisés par la suite ;

III.3.1. Modélisation du générateur photovoltaïque

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément.

Nous avons utilisé le modèle de Singer [58] qui est basé sur un schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque constitué d'une diode, deux résistances et un générateur de courant. Ainsi est représenté par la figure ci-dessous.

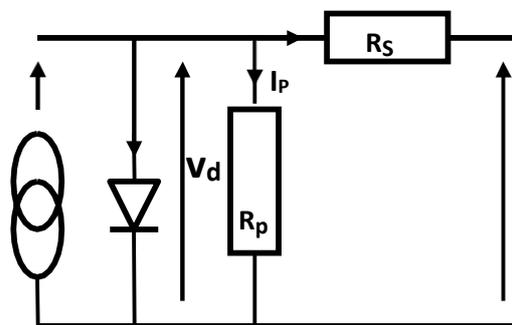


Figure III.3 : Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

La loi de Kirchhoff nous permet d'écrire la relation suivante [59] :

$$I_l = I_j + I_p + I \quad (3-1)$$

Le courant qui passe dans la résistance shunt est donné par l'expression :

$$I_p = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (3-2)$$

Le courant de jonction est donné par

$$I_j = I_0 = \left[\exp \left[\frac{e(V + IR_s)}{AKT} \right] \right] \quad (3-3)$$

Si on suppose que $\exp(e/AkT) \gg 1$; $I_j = I_p$ donc

$$\lambda = e / \exp(e/AkT) \gg 1$$

D'où

$$I_l = I_s \left[1 - \left(\frac{I_0}{I_{sc}} \right) \exp \left[\lambda (V + I_{RS}) \right] \right] \quad (3-4)$$

La tension en circuit ouvert est donnée par

$$V_0 = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_0} \right] \quad (3-5)$$

Avec $I_s/I_0 = 10^{-8}$ pour $T=25^\circ\text{C}$ et $G=1000\text{W/m}^2$

Généralement on prend $I_s/I_0 = 10^{-9}$ d'où

$$I_{sc} = \left[1 - 10^{-9} \exp \left(\frac{20.7}{V_{oc}} (V + I_{RC}) \right) \right] \quad (3-6)$$

$$V = V_{oc} \left[1 + \frac{1}{20.7} \ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_{sc}} \right) \right] - R_s I_s \quad (3-7)$$

Au point de puissance maximale la tension peut s'exprimer par

$$V|I = I_m = \frac{P_m}{I_m} \quad (3-8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial I} \Big|_{I = I_m} = \frac{\partial}{\partial I} \left(\frac{P_m}{I} \right) \Big|_{I = I_m} = \frac{P_m}{I_m^2} \quad (3-9)$$

En remplaçant ces deux valeurs respectivement dans l'équation (3.7) nous aurons les équations suivantes [52]

$$\frac{P_m}{I_m} = v_{oc} \left[1 + \frac{1}{20.7} \ln \left[\frac{I_{sc} - I_m}{I_{sc}} \right] \right] - R_s I_m \quad (3-10)$$

$$\frac{P_m}{I_m} = \left[\frac{v_{oc}}{20.7} \left[\frac{1}{I_{sc} - I_m} \right] \right] + R_s \quad (3-11)$$

Le modèle référence peut être utilisé pour déplacer la courbe pour différents éclairagements et température. Alors la nouvelle valeur du courant de court-circuit I_{sc} et de la tension de circuit ouvert V_{oc} sous les conditions considérées (G , T) seront :

$$I_{sc}(G, T) = I_{sc}^{st} G (1 + \alpha \Delta T) \quad (3-13)$$

$$V_{oc}(G, T) = V_{oc}^{st} (1 - \gamma \Delta G) \ln(1 + \beta \Delta G) \quad (3-14)$$

$$P_m = P^{st} \frac{I_s(Q, T) V_{oc}(G, T)}{I_{sc}^{st} V_{oc}^{st}} \quad (3-15)$$

Où :

K : constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$) ;

e : charge élémentaire ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$) ;

A : facteur d'idéalité de la jonction.

I : courant fourni par le groupe de panneaux (A) ;

V : tension bornes du groupe de panneaux (V) ;

T : température de jonction de la cellule photovoltaïque ;

I_p : courant photo généré dû à la génération de porteurs par l'illumination ;

I_0 : le courant de saturation ;

R_s : résistance série ;

R_p : résistance shunt.

La puissance produite du Module PV peut être calculé d'après l'équation suivante :

$$P = \eta \cdot S \cdot G \cdot \text{in} \quad (3-16)$$

Où :

S , représente la surface totale du générateur PV (m^2) ;

η , le rendement instantané du générateur photovoltaïque.

G_{inc} , l'irradiation solaire sur un plan incliné (W/m²).

Le rendement du générateur PV instantané est représenté par l'équation suivante :

$$\eta = \eta_r(1 - \gamma(T_c - T_0)) \quad (3-17)$$

γ , est le coefficient de température (°C) déterminé expérimentalement, il définit comme étant la variation du rendement du module pour une variation de 1°C de la température de la cellule. Ces valeurs typiques de ce coefficient se situent entre 0.004 et 0.006 (°C) et $r\eta_r$ est le rendement de référence de module sous conditions standards (T=25°C, G=1000W/m² et AM1.5). [59]

III.4. Influence du gisement solaire sur le générateur photovoltaïque :

La quantité d'énergie produite par un système photovoltaïque dépend fortement, des caractéristiques électromécaniques de chacun des éléments du système, de la surface des champs capteur, de la quantité d'énergie solaire incidente sur la surface de la partie captation de ce système, de la température ambiante qui influe aussi sur la réponse de ce type de système. [60]

$$P_{pv} = P_{pvc} \times \frac{G_{inc(i)}}{G_{npv}} \quad (3-18)$$

Avec :

P_{pv} : La puissance délivrée par le panneau solaire à l'instant (i) ;

P_{pvc} : La puissance de crête de panneau solaire ;

$G_{inc(i)}$: L'irradiation globale reçue par le panneau solaire à l'instant (i) ;

G_{npv} : L'irradiation nominale du panneau solaire ;

Généralement les différentes composantes du rayonnement solaire sont mesurées sur un plan horizontal et normal respectivement pour la composante globale, Diffuse et directe. Pour reconstituer cette composante sur un plan ayant une inclinaison et orientation quelconque il suffit de reporter chacune de ces composantes sur le plan considéré.

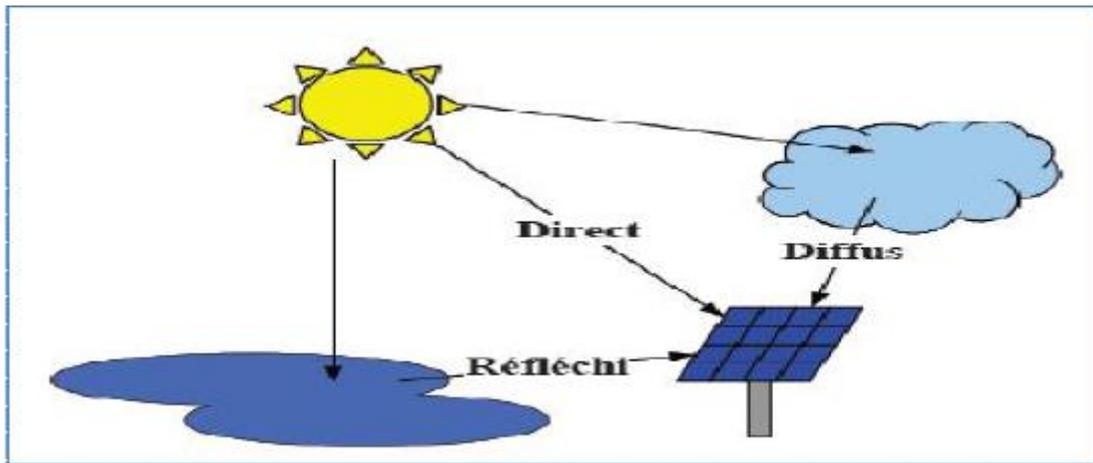


Figure III.4: les différents types de l'irradiation solaire

L'irradiation globale sur un plan incliné est calculée par la relation suivante :

$$G_{inc} = B_{in} + D_i + R_i \quad (3-19)$$

Avec :

B_{in} : irradiation directe sur un plan incliné ;

D_i : irradiation diffuse sur un plan incliné ;

R_i : irradiation réfléchis sur un plan incliné ;

Dans le cas de la disponibilité de l'éclairement du au rayonnement direct, il suffit de multiplier l'éclairement du au rayonnement direct sur un plan normal par le cosinus de l'angle d'incidence sur plan considéré. Pour cela la relation proposée est donnée comme suit :

$$B_{in} = B_n \cos(\theta_i) \quad (3-20)$$

Dans le cas où il n'est disponible que l'éclairement global et diffus cette composante sera calculer comme suit :

$$B_{in} = R_b(GH - DH) \quad (3-21)$$

Avec :

B_n , B_{in} , GH , DH , R_b et θ_i sont respectivement les valeurs des éclairements du au rayonnement direct sur un plan normal, sur un plan incliné, global sur un plan horizontal, diffus sur un plan horizontal, le facteur de forme. Ce dernier est donné par la relation suivante :

$$R_b = \frac{\cos(\theta_i)}{\sin(h)} \quad (3-22)$$

Avec :

θ_i Est l'angle d'incidence donné par :

h , est la hauteur du soleil donnée comme suit :

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (3-23)$$

h , φ , δ et ω sont respectivement la hauteur du soleil, la latitude du lieu, la déclinaison du soleil et l'angle horaire.

Par définition l'éclairement du au rayonnement diffus est l'éclairement qui nous provient de toute la voûte céleste à l'exception de celui qui nous provient du disque solaire. La distribution complexe et la variété de cette composante qui est bien sûre due à la diffusion par les différents constituants de l'atmosphère, une hypothèse commune a été prise par les différents scientifiques pour pouvoir quantifier cette composante. On suppose alors que la distribution de cette dernière est une distribution isotrope Sous cette hypothèse, Liu et Jordan a donné une expression permettant de reporter la composante diffuse disponible pour une surface horizontale, sur un plan ayant une inclinaison β . Cette relation est donnée par :

$$D_n = D_h \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (3-24)$$

Avec :

β : Angle d'inclinaison de la surface de captation ;

D_h : irradiation diffuse sur un plan horizontal.

Par ailleurs, il a été montré que la distribution du rayonnement solaire dans la voûte céleste est anisotrope et l'hypothèse qui considère la distribution anisotrope du rayonnement diffus conduit à des erreurs considérables dans la reconstitution de la composante diffuse sur un plan incliné.

Temps et Coulson ont développé un nouveau modèle dans lequel ils considèrent que la distribution de l'éclairement du au rayonnement diffus suit une distribution anisotrope. Dans

leur relation, une simple correction a été apportée pour tenir compte de ce phénomène. Ils proposent alors la relation suivante :

$$D(\beta, \gamma) = D_h \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) [1 + \sin^3(90 - h)] \quad (3-25)$$

Dans leur formulation (3.27), Coulson a supposé que la distribution diffuse dans l'atmosphère soit composée de trois parties, une partie isotrope caractérisée par le premier facteur de forme, le second facteur de forme représente l'effet de l'horizon durant les périodes où l'état du ciel est clair et le troisième facteur caractérise la quantité de l'éclairement du rayonnement diffus provenant de la zone circum solaire. Ainsi la quantité d'énergie collectée par n'importe quel capteur plan qu'il soit de conversion photovoltaïque ou thermodynamique de l'énergie solaire dépend d'une part des caractéristiques thermomécaniques ou électromécaniques. Et d'autre part, de leurs configurations géométriques. [60]

En supposant que l'irradiation réfléchi par le sol et incident sur un plan incliné est isotrope, Liu et Jordan a proposé l'équation suivante :

$$R_{in} = GH\rho \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (3-26)$$

Avec :

β : Albédo du sol.

B_n : irradiation directe sur un plan normal

III.5. Modélisation du système de stockage

Les systèmes de stockage d'électricité peuvent se décomposer en deux grandes familles, les systèmes de stockage à long terme (batteries) et les systèmes de stockage à court terme (Super capacités). [60]

III.5.1. Le système de stockage à long terme (batteries) :

Le modèle le plus simple d'une batterie est constitué d'une source de tension correspondant à la tension de circuit ouvert V_o en série avec une résistance ($r_s = R_{ohm} + R_{int}$) constituée de deux termes. R_{int} (résistance interne) terme variable représente la réaction chimique et correspond aux chutes de tension dues à une réaction d'activation et à la

concentration d'électrolytes. R_{ohm} (résistance ohmique) est constante et correspond à la résistance des conducteurs. [60]

La tension de sortie ($V_t = V_o - r_s$) est régie par la loi classique des générateurs de tension non idéaux. En effet avec ce modèle, la puissance maximale qui peut être délivrée a pour valeur :

$$P_{max} = \frac{V_0^2}{4(R_{ohm} + R_{in})} \quad (3-27)$$

D'où : V_{minest} la tension minimale du super condensateur

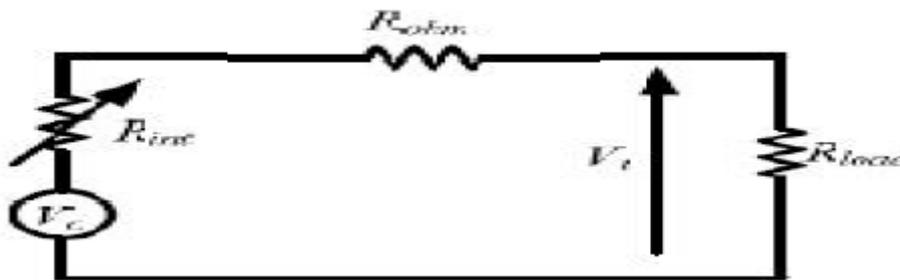


Figure III.5: Le modèle le plus simple d'une batterie.

III.6. Modélisation des convertisseurs :

Les convertisseurs statiques sont utilisés pour l'adaptation des sources. D'un part, un hacheur réalisant la conversion DC-DC est couramment utilisé pour maximiser l'énergie pouvant être soutirée des panneaux photovoltaïques grâce à un contrôle MPPT, mais également pour adapter le niveau de tension du générateur PV à celui du bus continu. D'autre part, pour l'alimentation des charges électriques alternatives, il est nécessaire des convertisseurs DC-AC ou « **onduleur** ».

III.6.1. Convertisseur DC/DC :

De façon à maximiser l'énergie photovoltaïque produite, il faut en permanence se trouver sur le point de puissance maximale, Sachant que la tension du bus continu est celle de l'accumulateur et qu'elle fluctue en fonction de son état de charge et de sa puissance, un convertisseur DC/DC connecté entre les générateurs photovoltaïques et ce bus permet de remplir cette fonction en ajustant en permanence la tension aux bornes des panneaux photovoltaïques.

La méthode la plus simple consiste à modifier en continu la tension imposée au générateur PV, de mesurer la puissance fournie et d'ainsi, toujours tenter de s'approcher le plus possible de la puissance maximale. Cela peut même se traduire par des pertes (ou plutôt

"un manque de gain ») apportées par cette recherche. Alors le rendement total est le produit du rendement énergétique du convertisseur par le rendement de la recherche du MPP :

$$\eta_{Tot} = \eta_{Chop} \cdot \eta_{MPPT} \quad (3-28)$$

Ce rendement de "tracking" du point de puissance maximale est intimement lié à la dynamique de la recherche mais il est globalement très bon (autour de 99%). Les pertes énergétiques de le hacheur à commande MPPT sont en fonction de la puissance fournie côté bus continu, elles ont été approchées par un polynôme du second degré :

$$P_{lossChop} = \alpha_{Chop} \beta_{Chop} \cdot P_v + \gamma_{Chop} P_{pv}^2 \quad (3-29)$$

III.6.2. Convertisseur DC/AC :

Différentes technologies sont présentes sur le marché. Il est possible de différencier les onduleurs à commande MLI (Haute Fréquence (HF)) des onduleurs à commande pleine onde (Basse Fréquence (BF)). De même, ces onduleurs peuvent être munis d'un transformateur ou non. L'équation générale de rendement énergétique d'un onduleur et s'exprime comme suite [61] :

$$\eta_{onduleur} = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \quad (3-30)$$

Généralement, le rendement énergétique d'un onduleur n'est pas constant. Les pertes au sein de ces convertisseurs dépendent de leur point de fonctionnement. De façon à favoriser de bons rendements sur cycle plutôt qu'un unique rendement maximal élevé et pour harmoniser les données de constructeurs, les constructeurs sont contraints de quantifier les performances de leurs onduleurs avec le rendement européen η_{Eu} . Celui-ci correspond à une pondération des rendements à divers pourcentages de la puissance nominale de l'onduleur

$$\eta_{Eu} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.1 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.2 \cdot \eta_{100\%} \quad (3-31)$$

Dans notre cas, de façon à quantifier de la manière la plus précise possible les pertes du convertisseur à chaque instant, celles-ci ont été calculées à l'aide d'un polynôme du second ordre validé expérimentalement :

$$P_{loss\ inv} = \alpha_{inv} + \beta_{inv} P_{load} + \gamma_{inv} P_{load}^2 \quad (3-32)$$

Avec :

α_{inv} , β_{inv} , γ_{inv} , 3 paramètres constants pour l'onduleur considéré et P_{load} la puissance électrique appelée côté AC par le consommateur. Par exemple, un onduleur de puissance nominale 4,5 kVa (Trace Engineering SW 4548 E, 48 V - 230 V 50 Hz). La valeur des 3 paramètres trouvés expérimentalement pour cet onduleur sont récapitulés [61].

Tableau III.2 : paramètres de modélisation des pertes de l'onduleur T race Engineering. [60]

Paramètre	Valeur	Unité
α_{inv}	43.9	[SI]
β_{inv}	$3,34 \cdot 10^{-5}$	[SI]
γ_{inv}	$4,6 \cdot 10^{-3}$	[SI]

Le paramètre α_{inv} rend compte des pertes à vide de l'onduleur, celles-ci sont loin d'être négligeables. Ce modèle de pertes a été normalisé de façon à pouvoir être utilisé pour différents dimensionnements de l'onduleur. En ce sens, les effets d'échelle ont pour cela été négligés. IL est donc possible de tracer l'évolution du rendement de l'onduleur en fonction de la puissance appelée côté AC pour plusieurs dimensionnements.

III.7. Modélisation de la partie puissance de l'onduleur triphasé :

Le schéma électrique de l'onduleur dans l'environnement système hybride est un onduleur triphasé bidirectionnel basé sur un pont de transistors IGBT. Pour ce type de convertisseurs, les stratégies de commutation souvent utilisées sont à PWM (Pulse Width Modulation en anglais ou MLI, Modulation de Largeur d'Impulsions, en français) ou SVM (Space Vector Modulation en anglais où MVS, Modulation du Vecteur d'Espace en français). La stratégie de commutation SVM a plusieurs avantages par rapport à la stratégie de commutation PWM classique, à cause d'une meilleure utilisation du bus à CC, moins

d'harmoniques sur les courants et les tensions et moins de pertes dues aux commutations.
[62]

III.7.1. Modélisation du générateur solaire PV :

La puissance horaire délivrée par le générateur solaire PV, de surface de captation totale $A_{pp}(m^2)$, lorsqu'il reçoit une irradiation horaire incidente Gh_{inc} , est donnée par :

$$P_{Gpv}(t) = G_{in}(t) * \eta(t) * A_{pv} = G_{inc}(t) * \eta(t) * \eta_{mpv} * \eta_{c/mpv} * S_{cmpv} \quad (3-33)$$

Où le rendement du système $\eta(t)$ est donnée par :

$$\eta(t) = \eta_m(t) * \eta_{ond} * F_p \quad (3-34)$$

Et, le rendement des modules $\eta_m(t)$ est donnée par :

$$\eta_m(t) = \eta_{r_m} * \{1 - \beta_t * [T_c(t) - T_c - T_{r_c}]\} \quad (3-35)$$

Avec :

η_{mpv} : Nombre de module PV ;

$\eta_{c/mpv}$: Nombre de cellule par module PV ;

S_{cmpv} : Surface d'une cellule PV ;

η_{r_m} : Rendement de référence des modules ;

η_{ond} : Rendement de l'onduleur ;

F_p : Facteur représentant les différentes pertes du système (pertes de connexion, pertes dues à la température, etc....) ;

β_t : Coefficient de variation du rendement ;

T_{r_c} : Température de référence pour l'efficacité des cellules PV ;

T_c : Température des cellules PV.

Cette dernière est calculée par la relation suivante :

$$T_c(t) = T_a(t) + \left(\frac{Noct - T_{a,Noct}}{G_{T,Noct}} \right) * Gh_{inc}(t) \quad (3-37)$$

Avec :

$T_a(t)$: Température ambiante horaire ;

$Noct$: Température normale de fonctionnement des cellules PV ;

$T_{a,Noct} : 20^{\circ}\text{C} ;$

$G_{T,Noct} = 800\text{W}/\text{m}^2.$

III.8. Modélisation du générateur diesel :

Courant fourni par un générateur diesel à un instant t est donné par [61] :

$$I_{GD}(t) = I_{GD,max} * x_{GD}(t) \quad (3-38)$$

Où :

$I_{GD,max}$: Intensité maximale du générateur diesel ;

x_{GD} : Taux de charge (exprimée en pourcentage de sa puissance nominale) à un instant t .

Pour un nombre de générateurs η_{GD} , le courant total généré à un instant t est donné par :

$$I_{GD}(t) = \sum_{i=1}^{\eta_{GD}} I_{GD_i,max} * x_{GD_i}(t) * \varepsilon_i(t) \quad (3-39)$$

ε_i : Traduit l'état d'arrêt ou de marche du groupe à un instant t ($\varepsilon_i(t) = 1$ si le groupe est en marche et $\varepsilon_i(t) = 0$ si le groupe est à l'arrêt).

Un générateur diesel est caractérisé par sa consommation (horaire ou spécifique) de carburant.

La consommation horaire d'un générateur diesel est donnée par la formule suivante :

$$q_{GD}(t) = a * P_{GD}(t) + b * P_{GD,nom} \quad (3-40)$$

Où :

a ($\frac{1}{\text{kWh}}$) et b ($\frac{1}{\text{kWh}}$) Constantes ;

p_{GD} Et $P_{GD,nom}$ Respectivement la puissance délivrée à un instant t et la puissance nominale du générateur diesel. Leurs expressions sont :

$$P_{GD}(t) = \sqrt{3} I_{GD}(t) * U_{GD,maxAC} * \cos(\phi) \quad (3-41)$$

$$P_{GD,nom} = \sqrt{3} I_{GD,max} * U_{GD,nomAC} * \cos(\phi) \quad (3-42)$$

$U_{GD,nomAC}$ et $\cos(\phi)$ Sont respectivement la tension nominale du générateur diesel et le facteur de puissance.

Pour un nombre de générateurs η_{GD} , on a :

$$P_{GD}(t) = \sum_{i=1}^{\eta_{GD}} \sqrt{3} I_{GD_i}(t) * U_{GD_i,maxAC} * \cos(phi) * \varepsilon_i(t) \quad (3-43)$$

$$P_{GD.nom} = \sqrt{3} I_{GD_i,max} * U_{GD,nomAC} * \cos(phi) * \varepsilon_i(t) \quad (3-44)$$

D'où à un instant t, la consommation en carburant des générateurs diesels est donnée par :

$$q_{GD}(t) = \sqrt{3} \cos(phi) * \sum_{i=1}^{\eta_{GD}} I_{GD_i,max} * U_{GD_i,maxAC} * (a * x_{GD_i}(t) + b) * \varepsilon_i(t) \quad (3-45)$$

III.9. Dimensionnement des systèmes SEH :

III.9.1. METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT :

La conception d'un système d'énergie hybride (SEH) exige la sélection et le dimensionnement de la combinaison la plus appropriée des différents composants du système, ainsi que l'implémentation d'une stratégie de fonctionnement efficace. Les logiciels de dimensionnement sont des outils indispensables pour l'analyse et la comparaison des différentes combinaisons possibles des sources utilisées dans les SEH [23]. Les principaux facteurs pour le dimensionnement sont :

- ❖ Les conditions environnementales du site (ensoleillement, température, humidité, vitesse du vent) ;
- ❖ Le profil de la courbe de charge (consommation) ;
- ❖ Les ressources financières ;
- ❖ La disponibilité de la technologie et le support technique.

III.9.2. Dimensionnement des systèmes :

Afin de comparer les différentes configurations de manière raisonnable, les mêmes conditions de demande en quantité d'énergie et de temps de disponibilité du service ont été gardées pour effectuer les calculs de dimensionnement. Pour des raisons techniques et écologiques, un groupe électrogène ne doit pas fonctionner toute la journée. C'est pour cette raison que les batteries sont intégrées comme moyen d'élargissement pour la disponibilité horaire des différents systèmes. Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement des systèmes

d'énergie hybrides et systèmes d'énergie renouvelable parmi lesquels : HOMER, RESCREEN, PVSYST (PV seul), RETSCREEN, SOMES, RAPSIM, SOLSIM, HYBRID2... Tous ces logiciels ont pour but d'optimiser les systèmes hybrides, mais les stratégies d'optimisations sont différentes. [63]

III.10. Dimensionnement du Groupe électrogène :

Le groupe électrogène est utilisé dans les centrales hybrides comme une alimentation de secours dans le cas où les conditions climatiques sont défavorables pendant un certain temps. Il doit alimenter la charge pendant cette période La puissance du groupe est donnée par la relation. [64]

$$P_{GE} \geq \frac{P_{Ch}}{N_{GE}} \quad (3-46)$$

Si on utilise plusieurs groupes électrogènes :

$$P_{GE} \geq P_{Ch} \quad (3-47)$$

Pour la génératrice d'appoint, on utilise habituellement un moteur diesel pour les petites puissances (< 5 kW).



Figure III.6: Groupe électrogène.

III.11. Dimensionnement du régulateur :

Le courant maximal fourni par le module 130W est de 3.94A. L'intensité du courant maximal fournie par le régulateur est la somme des intensités de chaque panneau mise en

parallèle, soit de 31.52A et la puissance totale des récepteurs est de 1032.13W. Tous les récepteurs étant en parallèle, le courant maximal appelé est donc de 43.33A.[64]

Le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter à un instant donné. Il doit être sans problème géré par le régulateur pour estimer ce courant. Le plus sûr est de prendre 1.5 fois le courant maximal totale au point de puissance maximal pour un régulateur série.

- ✓ Tension d'alimentation : 24V
- ✓ Courant d'entrée : 47.28A
- ✓ Courant de sortie : 64.995A

III.12. Dimensionnement de l'onduleur :

L'onduleur tient compte de la puissance totale des appareils à CA et le nombre d'appareils utiliser. On peut prendre une marge de sécurité. [64]

- ❖ Tension d'entrée : 24V
- ❖ Puissance conseillée (Pn : puissance nominale=2000W)
- ❖ η Le rendement de l'onduleur environ (80 à 90%), en prend dans les calculs $\eta=0.9$
- ❖ Tension de distribution : 220V ,50 HZ

III.13. Dimensionnement de l'onduleur :

L'onduleur tient compte de la puissance totale des appareils à CA et le nombre d'appareils utiliser. On peut prendre une marge de sécurité. [64]

- ❖ Tension d'entrée : 24V
- ❖ Puissance conseillée (Pn : puissance nominale=2000W)
- ❖ η Le rendement de l'onduleur environ (80 à 90%), en prend dans les calculs $\eta=0.9$
- ❖ Tension de distribution : 220V ,50 HZ

III.14. Dimensionnement du champ photovoltaïque :

Selon la puissance demandée par la charge et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur [65], la puissance nominale que doit fournir le générateur photovoltaïque est calculé par l'expression suivante :

$$P_c = \frac{E \left(\frac{Wh}{j} \right) \cdot 1 \left(\frac{kW}{m^2} \right)}{E_{ns} \left(\frac{KWh}{m^2 \cdot j} \right) \cdot cp} \quad (3-48)$$

Avec :

P_c : puissance totale des générateurs photovoltaïque

E : besoin journalier

E_{ns} : Ensoleillement du site d'installation

C_p : Facteur de conversion appliqué pour tenir compte de différentes pertes qui égale à 0,75.

III.15. Détermination du nombre de module :

Le nombre de panneaux à installer se calcule par [65] :

$$N_{pv} \geq \frac{P_c(W)}{P_{pv\text{unitaire}}(W)} \quad (3-49)$$

Avec :

N_{pv} : Nombre de panneau

P_{pv} :Unitaire puissance du module photovoltaïque.

III.15.1. Capacité du Système de Stockage :

L'autonomie d'un système photovoltaïque est la durée pendant laquelle peut fonctionner le système sans que les panneaux PV ne produisent de l'électricité. Cette autonomie est fixée par la taille des batteries et on devra tenir compte de quelques principes élémentaires lors du dimensionnement comme par exemple l'énergie consommée, la puissance moyenne... En effet, un sous-dimensionnement des batteries sera moins coûteux mais ces dernières seront exposées à de profondes décharges et donc a une durée de vie plus courte tandis qu'un surdimensionnement sera plus onéreux. Dans ce dernier cas, du fait du surdimensionnement, les batteries seront rarement complètement chargées avec pour conséquence des phénomènes de sulfatation et au final une durée de vie plus courte [66].

Nous voyons ainsi qu'un sous dimensionnement aussi bien qu'un surdimensionnement des batteries conduisent au même résultat : la réduction de la durée de vie des batteries, d'où l'importance d'un dimensionnement optimal. Le dimensionnement des batteries requiert donc une attention particulière afin d'augmenter la durée de vie de ces dernières et par la même occasion diminue le cout global du système. La capacité nominale des batteries est donnée par la relation suivante :

$$C_B(Ah) = \frac{E \cdot N_j}{V_B \cdot \eta \cdot PDD} \quad (3-50)$$

Avec :

CB : capacité totale des batteries en ampère heure [Ah]

E : besoins journaliers en [Ah /j]

Nj : Nombre de jour d'autonomie

η : rendement de la batterie

PDD : profondeur de décharge (0.7)

VB : tension de la batterie.

III.16. STRATEGIE DE GESTION DU SYSTEME HYBRIDE :

La stratégie de gestion est très importante dans toute unité de production. Mettre en place une stratégie de gestion des ressources disponibles dans une unité permet d'une part de minimiser le coût d'exploitation sur sa durée de vie et d'autre part de garantir sa viabilité qui est un facteur primordial pouvant motiver tout financement. [67]

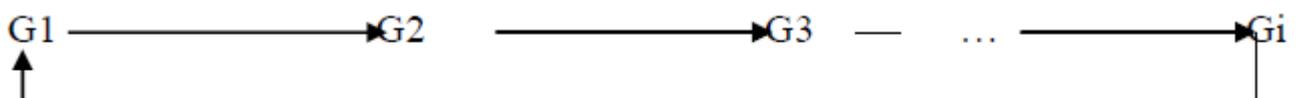
La stratégie de gestion proposée ici est basée sur des concepts énergétiques à travers l'automatisation, c'est-à-dire comment câbler le système avec des automates de telle sorte que le démarrage et l'arrêt des groupes se fassent sans l'intervention de l'homme quand on a un besoin énergétique et de garantir une meilleure utilisation de l'ensemble des groupes.

III.16.1 Démarrage et arrêt

Lorsqu'il y a une demande ($p_c \neq 0$), un groupe électrogène démarre et ensuite le générateur PV peut injecter sur le réseau. Dès que la puissance générée par ces deux sources n'arrive plus à couvrir la demande, un autre groupe démarre automatiquement pour combler le déficit ainsi de suite. Inversement, lorsque la charge diminue les groupes électrogènes s'arrêtent progressivement jusqu'à l'arrêt complet de tous les groupes et le générateur PV dans le cas où la demande serait nulle. [67]

III.16.2 Rotation des groupes électrogènes

La rotation des groupes électrogènes permet d'utiliser les groupes dans les meilleures conditions, autrement dit, elle permet de ne pas surexploiter un groupe au profit des autres. Les groupes électrogènes seront sollicités tour à tour à intervalle de temps régulier de 5h. Soit G_i désignant un groupe électrogène en marche. [67]



NB : Pour éviter des coupures de longue durée dues à des pannes, à chaque fois qu'un groupe électrogène tombera en panne ou rencontrera un problème au démarrage pendant un temps de 10 secondes, le relai sera directement donné au groupe électrogène suivant.

III.17. Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des centrales hybrides :

Compte tenu de la nature aléatoire de l'énergie solaire, la difficulté principale des centrales hybrides PV/Diésel est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge. Le moyen le plus simple d'éviter une augmentation du risque de ne pas satisfaire complètement la charge est de faire fonctionner de la source solaire PV et les générateurs diesels en parallèle, de façon continue (au moins un générateur diesel doit fonctionner sans arrêt). [68] Dans ce type de fonctionnement, la source solaires PV agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesels. Ces derniers peuvent fonctionner à une puissance très basse, mais l'économie de carburant est modeste à cause du rendement très faible (en fonctionnement à vide, la consommation de carburant s'estime à 25-30% de la consommation à pleine charge)¹⁸. Ainsi, garder un moteur diesel au régime de ralenti pour une demande de puissance nulle suppose une consommation de carburant non négligeable si l'énergie solaire PV est suffisante pour alimenter la plupart de la charge, la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner les générateurs diesels par intermittence [69]. En fonctionnement intermittent, les générateurs diesels démarrent et s'arrêtent en fonction de la variation de l'énergie solaire PV et de la charge. Le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels peut, par conséquent, être élevé. Le problème dans ce cas est l'usure prématurée des générateurs diesels et de leurs démarreurs. [70] Un autre problème devant être pris en compte quand le générateur diesel fonctionne par intermittence est le temps nécessaire pour le démarrage et l'arrêt. Le système peut, par exemple, s'effondrer subitement pendant le démarrage du générateur diesel, si l'énergie solaire PV diminue plus vite que le temps nécessaire pour la phase de démarrage. Il arrive parfois que la production d'énergie solaire PV soit plus importante que la consommation de la charge. Si l'excès d'énergie dans le réseau ne peut pas être éliminé, la production d'énergie renouvelable doit alors être limitée ou même arrêtée. En général, les systèmes sans stockage utilisent une charge de délestage (ballast) pour maintenir l'équilibre énergétique et la stabilité de la fréquence. D'autres applications nécessitent des systèmes de commande supplémentaires pour maintenir la qualité de la tension. Tous ces dispositifs, tels

que les charges de délestage et les systèmes de commande, augmentent le coût d'investissement qui peut ne pas être justifié par les avantages du système hybride PV/Diésel. Seule une stratégie de commande adéquate peut permettre d'intégrer de manière optimale différents composants et donc de rendre le système rentable. Une autre perturbation qui peut poser des problèmes est la surtension. Une surtension peut être causée par un court-circuit, l'arrêt d'une charge importante ou la connexion d'un banc de condensateurs. Donc, les facteurs peuvent affecter le fonctionnement d'un centrales hybrides PV/Diésel sont résumés comme suit [70] :

- ❖ **Les variations de la charge à long terme** : les régions isolées avec des petits réseaux électriques peuvent subir des changements rapides dans leurs besoins en électricité (généralement, la demande augmente).
- ❖ **Les variations de la charge à court terme** : en général, la demande en électricité varie beaucoup sur des intervalles de temps assez courts, de l'ordre de quelques minutes. Des valeurs minimales sont suivies par des pics.
- ❖ **La nature intermittente de l'énergie solaire.**
- ❖ **Les perturbations du réseau** : les défauts, tels que les courts circuits, peuvent non seulement arrêter les systèmes, mais aussi, au pire des cas, détruire certains composants.

La stratégie de gestion doit donc gérer les modes de compensation de puissance à court terme ou à long terme. Elle permet de contrôler le démarrage des générateurs diesel, de contrôler les cycles de charge/décharge des batteries et d'exploiter la charge de délestage (ballast) pour dissiper les excédents de puissance et pour améliorer la qualité de la puissance transmise au réseau, en termes de fluctuation et d'harmoniques. L'utilisation de plusieurs générateurs diesel permet ici de limiter le dimensionnement du système de stockage et donc son coût. Durant la journée, l'énergie produite par le parc PV alimente les charges avec un seul générateur diésel et permet de recharger les batteries. Les autres générateurs diesel se mettent en route automatiquement et successivement en fonction de l'augmentation de charge (demande), de la variation des conditions atmosphériques(ensoleillement) et de la puissance fournie par le parc solaire et les batteries. Les générateurs sont ainsi utilisés au maximum de ces possibilités et la consommation de fuel est minimale. La mise en place de la stratégie de commande passe par deux étapes : dans un premier temps, on réalise une répartition initiale, basée sur les constantes de temps de chacune des charges et sources, pour donner les

consignes primaires (mode de fonctionnement et exploitation) qui sont utilisées par le module de décision.

Dans un deuxième temps, on établit l'ordre de priorité pour chaque élément (système de supervision). Cette partie permet d'exprimer les consignes finales pour les générateurs diesel, batteries et le charge de délestage (ballast). La connaissance du comportement énergétique de chacune des sources et charges est nécessaire pour la mise au point de la stratégie de gestion d'énergie.

Tableau III.3 : Classification des sources et charge dans un système PV/Diésel [70]

Production	Consommation
<ul style="list-style-type: none"> • Système PV • Générateurs Diésel 	<ul style="list-style-type: none"> • Réseau/charge • Charge de délestage (ballast)
<ul style="list-style-type: none"> • Batteries 	

Dans l'équations si dessous, La convention de signes utilisée est comptée positive pour les éléments qui fournissent de l'énergie et négative pour ceux qui en absorbent. Les générateurs Diésel doit toujours recevoir des consignes positives, les charge de délestage (ballast) ne reçoit que des consignes négatives. Quant à la batterie, elle agit de manière bidirectionnelle et elle est considérée comme une source/charge.

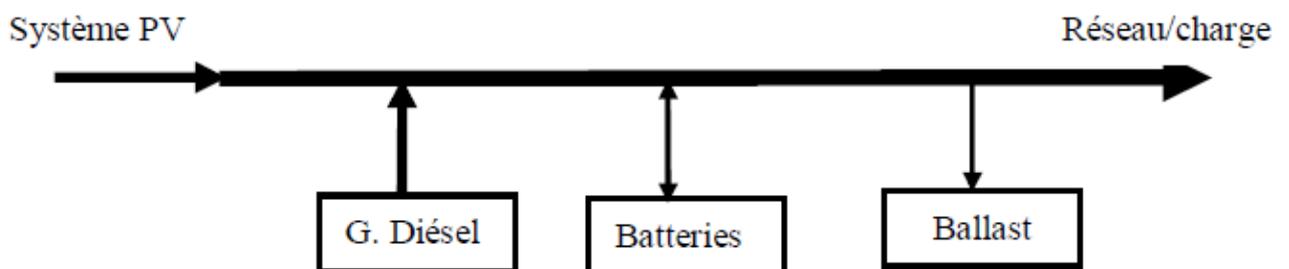


Figure III.7 : Ecoulement de puissance dans la centrale hybride PV/Diésel.

III.18. Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à l'étude de modélisation, dimensionnement et stratégie de gestion d'un système hybride. Dans ce contexte on a commencé par description générale de principales composantes d'un SEH. et une étude détaillée sur la modélisation de : la cellule PV ; système hybride ; le générateur photovoltaïque et le système de stockage.

Puis l'Influence du gisement solaire sur le générateur photovoltaïque .la deuxième partie de chapitre était sur le dimensionnement des systèmes SEH et la méthodologie de dimensionnement et enfin on a cité à stratégie de gestion et les problèmes du fonctionnement d'un système hybride.

Chapitre IV

IV.1. Introduction

La configuration du SEH dépend évidemment des ressources énergétiques disponibles ainsi que des contraintes de l'utilisation. Ceci requiert une campagne de mesure et une analyse préalable des spécificités du site. Pour créer une base de référence pour notre étude nous avons choisi d'adopter des données disponibles et accessibles (NASA) Données satellites mondiaux de la NASA. Disponible sur le site Web « NASA Surface météorologie and Solar Energy Data Set ». [37]

A présent il existe divers dispositifs de simulation, parmi eux HOMER, sont utilisés dans les milieux universitaires. C'est pourquoi, dans ce travail, nous étudierons le principe de l'étude de modélisation et d'optimisation d'un système hybride (photovoltaïque -diesel-GPL) autonome.

Le site considéré dans cette étude représente le site Djelfa situé au Nord Algérien (située au pied de l'Atlas saharien)

IV.2. Présentation du logiciel HOMER

IV.2.1. Définition du logiciel HOMER

Le logiciel de modélisation énergétique HOMER (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables) a été initialement développé dès 1993 par le National Renewable Energy Laboratory pour les programmes d'électrification rurale. Depuis 2009, il est disponible sous la licence HOMER Energy.

HOMER est un outil puissant pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, composés de groupes électrogènes, de systèmes de cogénération, d'éoliennes, de systèmes photovoltaïques, de systèmes hydrauliques, de batteries, de piles à combustible, de la biomasse et bien d'autres. Que l'installation soit reliée au réseau électrique ou non, HOMER permet de déterminer comment les sources d'énergies intermittentes comme l'éolien et le solaire peuvent être intégrées de manière optimale au sein des systèmes hybrides. [71]. L'espace HOMER se présente comme ainsi :

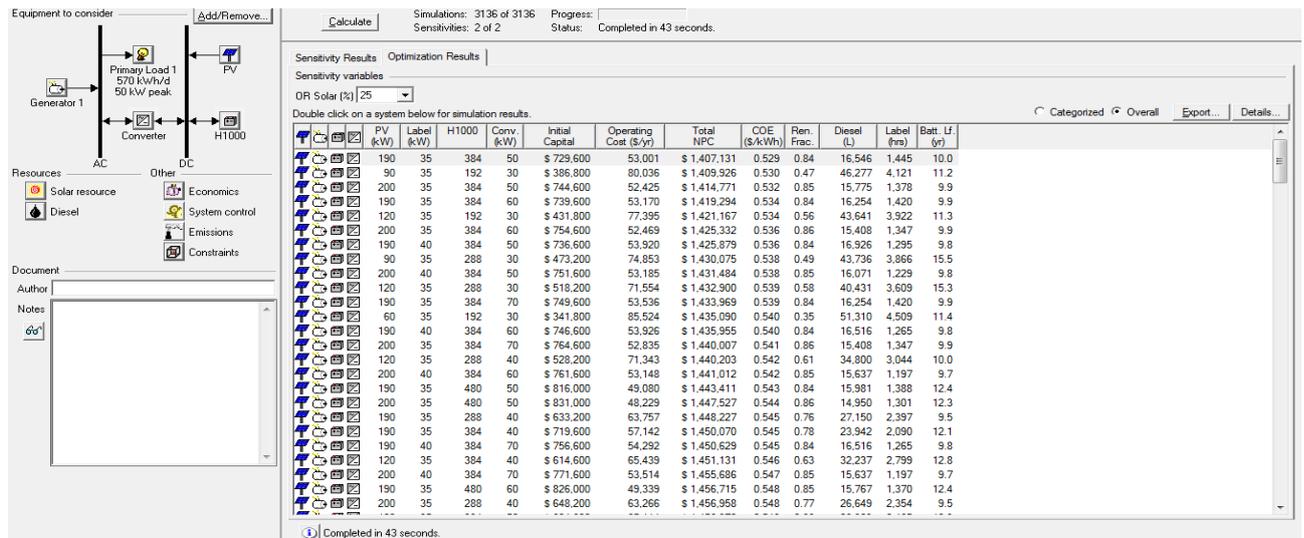


Figure (IV.1) : Espace de travail sous HOMER

IV.2.2. Description d'HOMER

Le logiciel calcule et affiche alors les résultats sous forme de tableaux et de graphiques. Il s'utilise selon un processus fréquentatif. Homer s'utilise pour simuler des systèmes de production d'électricité et optimiser l'efficacité et les coûts ainsi l'analyse de comportement du système.

Logiciel fonctionne sur une base horaire, la durée de la simulation est établie sur une année.

Tout d'abord Homer est un modèle économique. Il permet à comparer les différentes combinaisons de tailles et de nombres de composants, et d'étudier comment les variations de la disponibilité des ressources affectent le coût d'installation et d'exploitation des différentes solutions de systèmes. [71]

IV.3. Caractéristique du site choisis

IV.3.1. Données géographique

Djelfa est une wilaya algérienne située dans les hauts-plateaux, à 300 km du sud d'Alger. Vaste de 32256,35 km², son climat continental est marqué par des hivers froids et humides et des étés secs et chauds.

L'amplitude thermique est élevée. La population de la wilaya est de 1491370 habitants.

Les coordonnées géographiques sont :

Latitude : 35.1° N

Longitude : 3.0° E

L'altitude : 1140m.

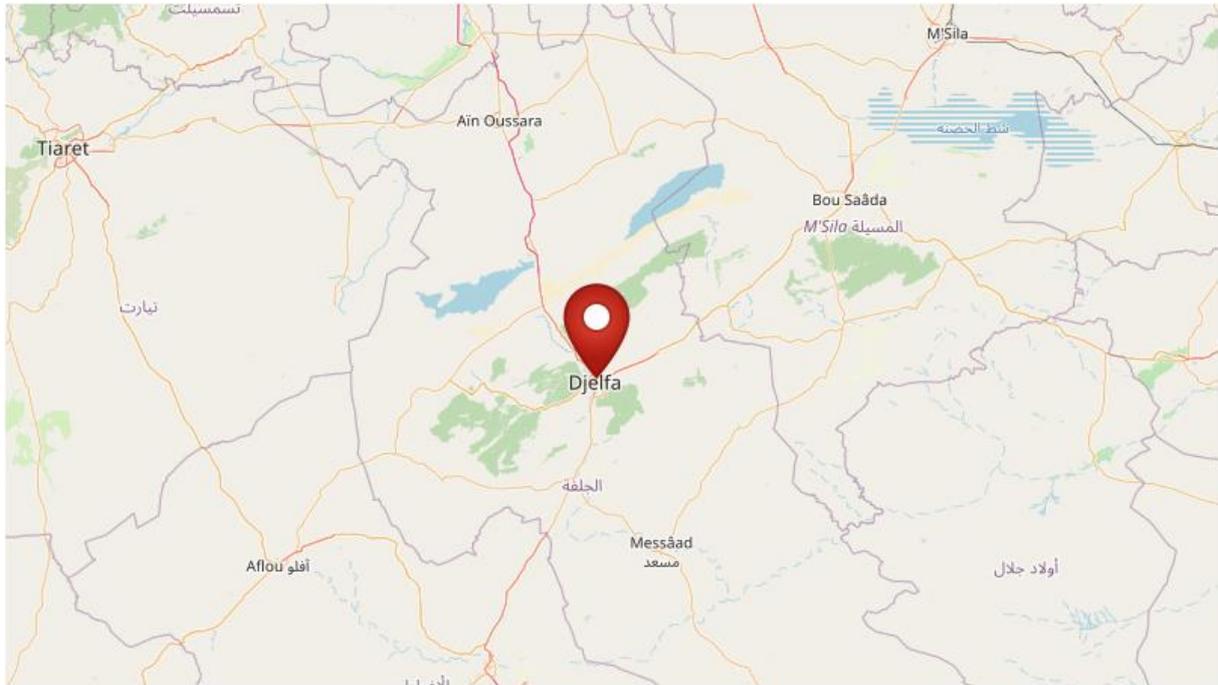


Figure IV.2 : La localisation de la Djelfa.

IV.3.2. Données climatiques

Dans le tableau suivant nous avons les données climatiques du site choisis (Djelfa) :

Tableau IV.1 : Données climatiques du Djelfa.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Déc
Tmax (C°)	5,8	7,1	10,4	13,7	18,6	24,2	28,4	28,1	22,7	17,3	10,9	7,1
Tmin (C°)	5,4	7,0	10,8	14,5	19,9	26,0	30,4	30,0	24,0	17,7	10,8	6,7
Humidité%	73,0	67,7	60,4	54,3	48,1	38,5	29,9	31,0	44,0	53,9	65,4	73,9
kWh/m² /j	2,48	3,36	4,48	5,63	6,64	7,32	7,42	6,50	4,98	3,54	2,59	2,17

IV.5.1. Bilan énergétique

Le bilan énergétique du village (Djelfa) type isolé non raccordé au réseau de distribution d'énergie classique et équipée de l'ensemble des appareils permettant de fournir le confort aux occupants.

Tableau IV.2 : l'estimation des besoins énergétiques journalier

Appareils électriques	Puissance Totale(W)	Heure fonctionnement(h)	Energie totale (kWh /J)
Réfrigérateur	110	10	1,200
Climatisation	150	8	1,300
Lampe	240	3	0,750
Téléviseur	865	7	3,375
Divers	251	8,5	0,25
Total	7 kWh/j		

IV.4. Caractéristique météorologiques

IV.4.1. Les données relatives à l'éclairement

Mesuré sur une surface horizontale, le rayonnement solaire quotidien varie entre 2,17[KWh/ m²/ j] au mois de décembre et 7,42 [KWh/ m²/ j] au mois de juillet, avec une moyenne annuelle de 4,77 [KWh/ m²/ j].

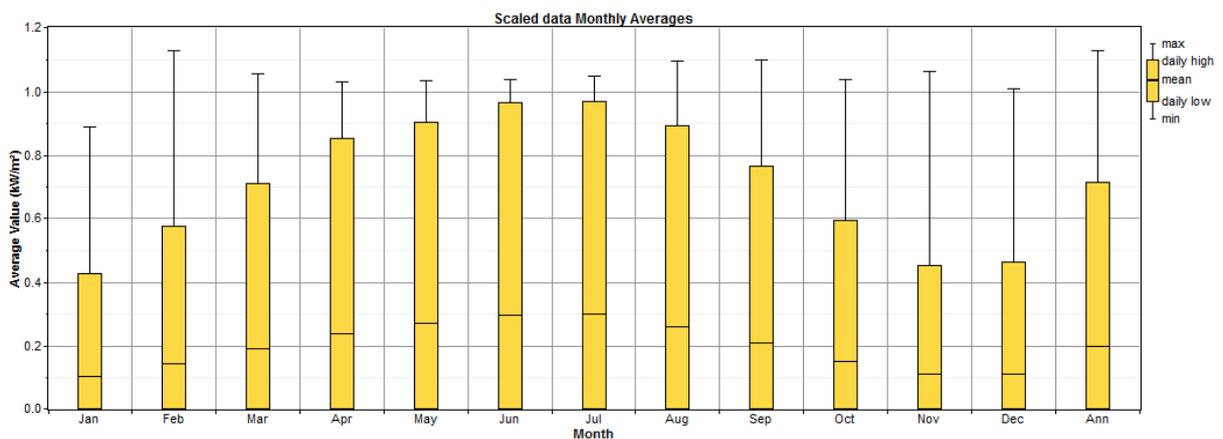


Figure IV. 3 : Profil de l'éclairement moyen mensuel.

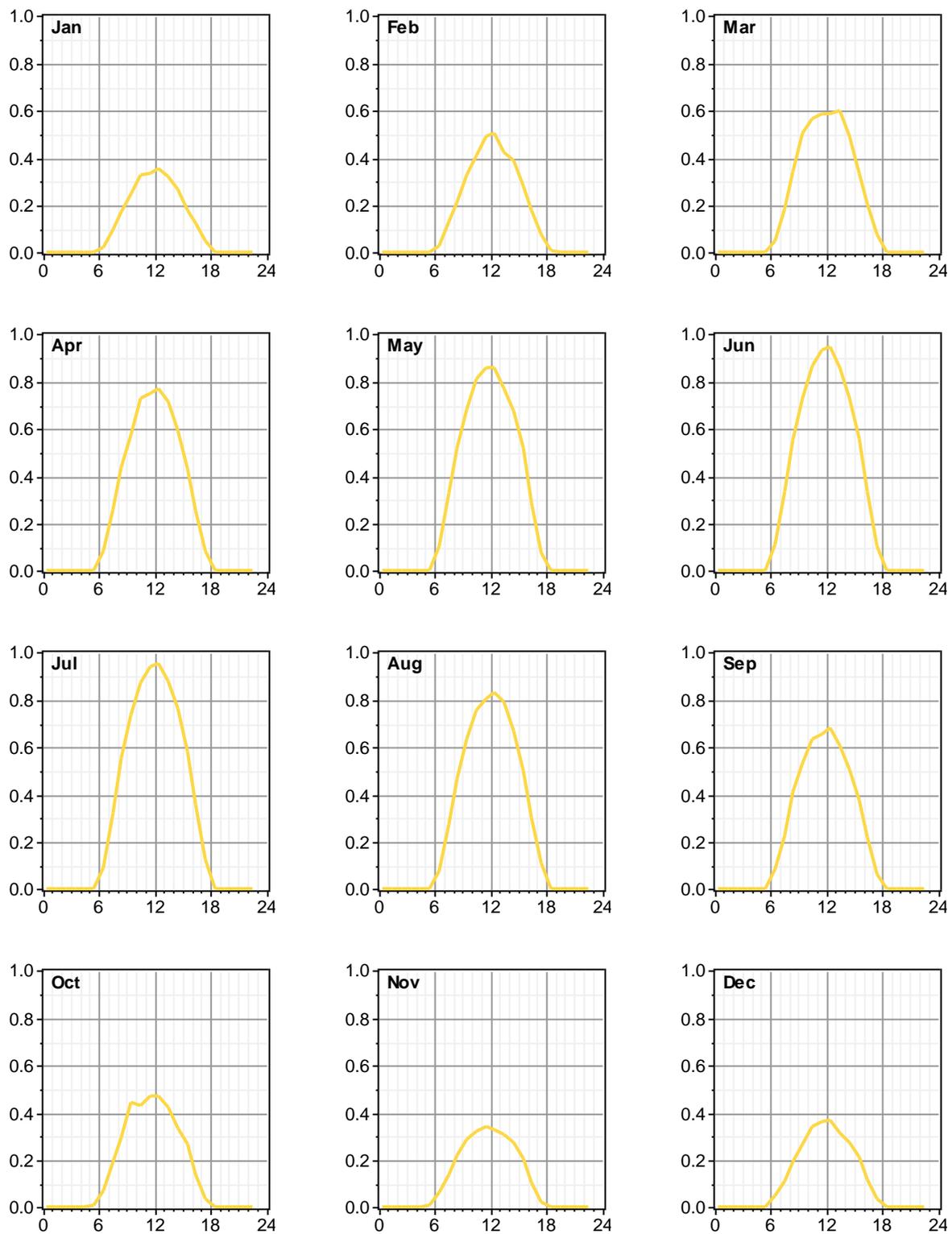


Figure IV. 4 : Variations de l'éclairage au cours des mois.

IV.5.1. Optimisation du premier système hybride (photovoltaïque/diesel)

La figure suivante montre le système global que nous allons étudier en utilisant le logiciel Homer, il contiendra les panneaux solaires, les groupes électrogènes, les convertisseurs et les systèmes de stockage avec batteries.

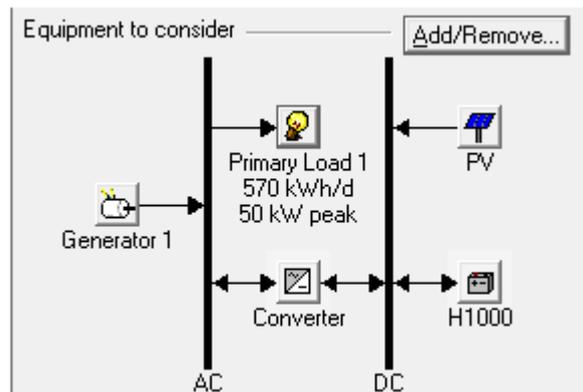


Figure IV. 5 : Montage électriques du système autonome.

IV.5.1.1. Cas d'étude

Charge valeur moyenne : 570 kWh/j

Eclairement, valeur moyenne : 4,77 kWh/m² /j

35kW Diesel Prix du carburant : 0,18 \$/L

Après la compilation de notre système, nous allons entamer l'étape suivante, qui est la simulation, nous allons voir toutes les combinaisons faisables de point de vue économique et technique.

Au moment où la simulation est terminée, il affichera la meilleure combinaison de chaque système trouvé.

À noter que pour notre cas, nous pouvons avoir cinq configurations possibles :

1. PV, groupe électrogène, convertisseur et batteries.
2. Groupe électrogène, convertisseur et batteries.
3. Groupe électrogène, convertisseur et batteries.
4. PV, groupe électrogène, convertisseur.
5. Groupe électrogène, convertisseur.
6. Groupe électrogène.

De ce fait nous allons montrer les résultats d'optimisation et le classement des systèmes obtenus

	PV (kW)	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	190	35	384	50	\$ 729,600	53,001	\$ 1,407,131	0.529	0.84	16,546	1,445	10.0
	90	35	192	30	\$ 386,800	80,036	\$ 1,409,926	0.530	0.47	46,277	4,121	11.2
	200	35	384	50	\$ 744,600	52,425	\$ 1,414,771	0.532	0.85	15,775	1,378	9.9
	190	35	384	60	\$ 739,600	53,170	\$ 1,419,294	0.534	0.84	16,254	1,420	9.9
	120	35	192	30	\$ 431,800	77,395	\$ 1,421,167	0.534	0.56	43,641	3,922	11.3
	200	35	384	60	\$ 754,600	52,469	\$ 1,425,332	0.536	0.86	15,408	1,347	9.9
	190	40	384	50	\$ 736,600	53,920	\$ 1,425,879	0.536	0.84	16,926	1,295	9.8
	90	35	288	30	\$ 473,200	74,853	\$ 1,430,075	0.538	0.49	43,736	3,866	15.5
	200	40	384	50	\$ 751,600	53,185	\$ 1,431,484	0.538	0.85	16,071	1,229	9.8
	120	35	288	30	\$ 518,200	71,554	\$ 1,432,900	0.539	0.58	40,431	3,609	15.3
	190	35	384	70	\$ 749,600	53,536	\$ 1,433,969	0.539	0.84	16,254	1,420	9.9
	60	35	192	30	\$ 341,800	85,524	\$ 1,435,090	0.540	0.35	51,310	4,509	11.4
	190	40	384	60	\$ 746,600	53,926	\$ 1,435,955	0.540	0.84	16,516	1,265	9.8

Figure IV. 6 : Résultats d'optimisation et classement des systèmes

IV.5 .2. Simulation et interprétation

La figure ci-dessus montre toutes les configurations du système faisables pour ce projet. Homer affiche le système le plus rentable par rapport au coût et l'efficacité basé sur son coût nette actuelle « NPC » La ConfigurationPV /GPL / diesel/batteries/convertisseur est la plus rentable conception

	PV (kW)	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	190	35	384	50	\$ 729,600	53,001	\$ 1,407,131	0.529	0.84	16,546	1,445	10.0

Figure IV.7 : système optimal choisi par Homer

IV.5.2.1. Architecture du système optimal

PV : 190 kW

Générateur Diesel: 35 kW

Batteries: 384 Hoppecke 10 OPzS avec 1000 Ah chacune

Onduleur: 50 kW

Redresseur: 50 kW

IV.5.2.2. Production et consommation d'énergie électrique

La production et la consommation d'énergie sur une année sont démontré dans les deux tableaux qui suivent IV-3 et IV-4.

Tableau IV.3 : Energie annuelle produite

Composant	Production (kWh/ans)	Fraction %
PV	262,330	84
Générateur Diesel	50,002	16
Total	312,670	100

Tableau IV.4: Energie annuelle consommée

Composant	Production (kWh/ans)	Fraction %
Charge AC	208,047	100
Total	208,047	100

Quantités	Unité (kWh/ans)	%
Surplus d'électricité	63,177	20,2
Charges électriques non satisfaites	3,33	0,0
Manque de capacité	19,5	0,0

Quantités	Valeurs
Fraction renouvelable	0,840

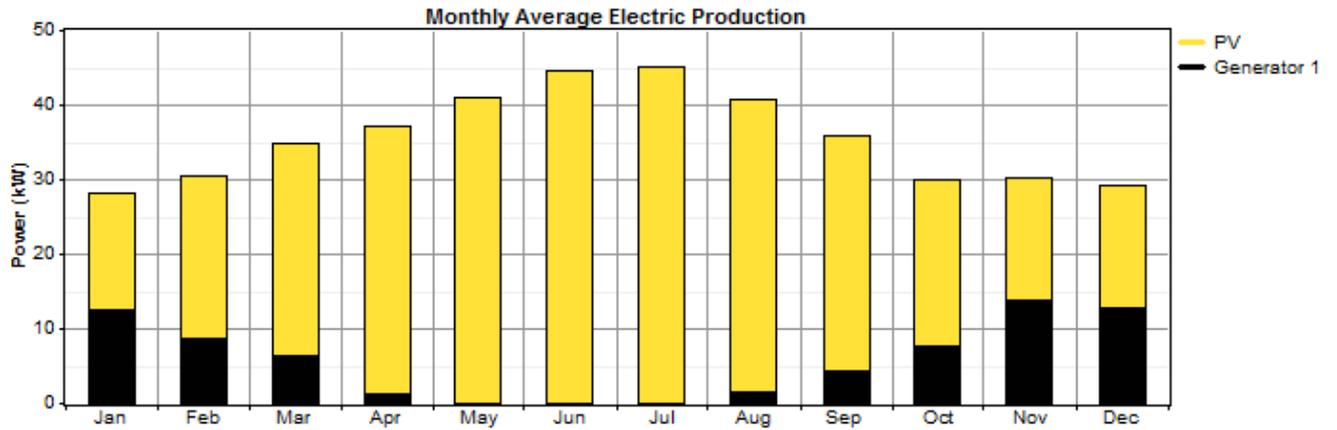


Figure IV. 8 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source.

IV .5.2.3. Détails des composants du système étudié

*Le Générateur Photovoltaïque

Tableau IV.5 : Paramètres de Fonctionnement du PV

Variable	Valeur	Unité
Heures de fonctionnement :	4,380	h/ans
Facteur de capacité (l'état de charge moyenne du PV sur l'année)	15,8	%
Puissance minimale :	0	kW
Puissance moyenne :	719	KWh/j
Puissance maximale :	171	kW
Coût spécifique de l'énergie	0,105	\$/kWh
Pénétration PV :	126	%
Heure de pénétration	4,380	h/ans

Suite à l'analyse des résultats qu'on a eus pour les des puissances moyennes journalières du PV, on distingue que la période de fonctionnement du PV est plus élevée durant les mois d'été, (Juin, Juillet et Aout) et vice versa pendant l'hiver. La production par PV est nulle, ou très faible, aux périodes du pic de consommation électrique (entre 20 h et 22 h), ce qui nécessite soit le recours aux autres générateurs.

*Détails du Groupe électrogène

Tableau IV.6 : Détails du groupe électrogène dans le système hybride

Variable	Valeur	Unité
Heure de fonctionnement	1,455	h/ans
Nombre de démarrage	77	Démarrages/ans
Durée de vie	7,56	Ans
Facteur de capacité	16,4	%
Cout fixe du générateur	15,0	\$/ans
Cout marginal du générateur	0,0450	\$/kWh
Production électrique	50,340	KWh/ans
Puissance moyenne	34,6	Kw
Puissance minimale	10,5	kW
Puissance maximale	35,0	kW
Carburant utilisé annuellement	16,659	L/ans
Utilisation spécifique du carburant	0,331	L/kWh
Apport d'énergie de carburant	163,922	kWh/ans
Efficacité électrique moyenne	30,7	%

*Détails du convertisseur

Le tableau ci-dessous résume les détails de fonctionnement du convertisseur 50KW (onduleur/ redresseur/) dans le système hybride (PV/GE/Batterie) pour l'alimentation du notre village isolé qui se situe à Djelfa.

Tableau IV.7 : Détails du convertisseur dans le système hybride

Quantité	Onduleur	Redresseur	Unités
Capacité	50,0	50,0	KW
Production moyenne	19,8	1,5	KW
Sortie minimum	0,00	0,00	KW
Sortie maximale	45,1	26,3	KW
Facteur de capacité	39,7	3,1	%

Quantité	Onduleur	Redresseur	Unités
Heures d'ouverture	7,436	1,323	Heures / an
L'énergie dans	193,171	15,810	KWh/an
Énergie sur	173,854	13,438	KWh/an
Pertes	19,317	2,371	KWh/an

*Détails De la batterie

Nous avons utilisé une batterie, la tension au bus continu est de 48V, d'après Homer l'autonomie de notre système de stockage pour l'alimentation du village est 22.6 heures la durée de vie pour cette batterie est 10ans.

Tableau IV.8 : Détails du système de stockage dans le système hybride (PV/GE/Battery)

Quantité	Valeur
Taille de la chaîne	24
Chaînes en parallèle	16
Batteries	384
La tension de bus (V)	48

Quantité	Valeur	Unités
Capacité nominale	786	KWh
Capacité nominale utilisable	538	KWh
Autonomie	22,6	Heure
Vie débit	1,320.192	KWh
Usure de la batterie coût	0,288	\$KWh
Coût de l'énergie moyenne	0,010	\$/KWh

Quantité	Valeur	Unités
L'énergie dans	141,691	KWh/an
Énergie sur	122,271	KWh/an
Épuisement de stockage	376	KWh/an
Pertes	19,043	KWh/an
Débit annuel	131,849	KWh/an
Durée de vie prévue	10,0	An

IV.5. 3. Détails économique

Tableau IV.9 : Résumé détaillé des coûts en \$ du système sur toute la durée de vie du projet :

Composant	Capital (\$)	Remplacement (\$)	Autre frais +maintenan ce (\$)	Carburant (\$)	Récupéra tion (\$)	Total (\$)
PV	285,000	71,092	63,433	0,00	-39,843	352,681
Générateur	49,000	57,657	193,656	38,073	-7,298	331,388
Hoppecke 10 OPzS 1000Ah	345,600	300,34	44,179	0,00	-40,522	649,691
Convertisseu r	50,000	20,863	6,392	0,00	-3,883	73,372
Système	729,600	450,045	280,959	38,73	-91,546	1407,131

Tableau IV.10 : le coût annuel détaillé de chaque composant du système optimal :

Composant	Capital (\$)	Remplacement (\$)	Autre frais +mainten ance (\$)	Carburant (\$)	Récupé ration (\$)	Total (\$)
PV	22,295	5,561	2,850	0,00	-3,117	27,589
Générateur	3,833	4,510	15,173	2,978	-571	25,923
Hoppecke 10 OPzS 1000Ah	27,035	23,02	3,456	0,00	-3,170	50,823
Convertisseur	3,911	1,632	500	0,00	-304	5,740
Système	57,074	35,206	21,979	2,978	-9,161	170,075

Tableau IV.11 : NPC détaillé par type de coût du système optimal

Composant	Capital (\$)	Remplacement (\$)	Autre frais +mainten ance (\$)	Carburan t (\$)	Récupé ration (\$)	Total (\$)
PV	285,000	71,092	36,433	0,00	-39,843	352,681
Générateur	49,000	57,657	193,956	38,073	-7,298	331,388
Hoppecke 10 OPzS 1000Ah	345,600	300,434	44,179	0,00	-40,522	649,691
Convertisseu r	50,000	20,863	6,392	0,00	-3,883	73,372
Système	729,600	450,045	280,959	38,073	-91,546	1407,131

***Coût**

Tableau IV.12 : Coût du système

Investissement	729,600	\$
Remplacement et entretien	53,001	\$/ans
CAN total	1407,131	\$
Coût d'énergie	0,529	\$/kWh

IV.5.5. Emission

Tableau IV.13 : Emission en gaz polluant du système hybride PV/diesel

Polluant	Emissions [kg/an]
Dioxyde de Carbone	477
Monoxyde de Carbone	108
Hydrocarbures non brûlés	11.9
Particules	8.11
Dioxyde sulfurique	87.5
Oxydes de Nitrogène	960

IV.5.3. Le Générateur Diesel

Le générateur diesel fonctionne à n'importe quel moment de la journée et d'une manière optimale en plein charge et à charge partielle suite au besoin du site. La mise en marche est en fonction de la demande, de la production des autres générateurs et de l'état de charge des batteries. Le combustible à utiliser est le fuel (moteur diesel), ses propriétés sont résumées dans le tableau ci-suivant :

Tableau IV.14 : Propriétés du combustible

Propriété	Valeur	Unité
PRIX	0,18	\$/L
PCI	43,2	MJ/Kg
Masse volumique	820	Kg/m ³
Pourcentage Carbon	88	%
Pourcentage soufre	0,33	%

Tableau IV.15: caractéristiques techniques et économiques du système (PV/diesel)

Système hybride (PV-Diesel)		
Configuration du système		
PV	190	KW
Génératrice Diesel	35	KW
Batteries	384	KWh
Onduleur	50	KW
Energie de sortie		
Champ PV	262,330	KWh/an
Génératrice Diesel	50,002	KWh/an
Excès d'énergie	63,177	KWh/an

Charge non satisfaite	3,33	KWh/an
Fraction d'énergie renouvelable	0,84	%
Coûts		
Investissement	729,600	\$
Remplacement et entretien	53,001	\$/an
CAN total	1407,131	\$
Coût d'énergie	0,529	\$/KWh

IV.6. Optimisation du deuxième système hybride (photovoltaïque/ GPL)

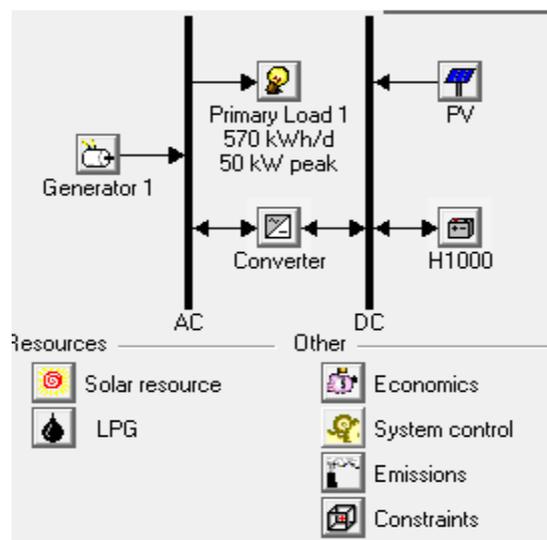


Figure IV. 9 : Montage électriques du système autonome.

IV.6.1.1. Cas d'étude :

Charge valeur moyenne : 570 kWh/j

Eclairement, valeur moyenne : 4,77 kWh/m² /j

35kW GPL Prix du carburant : 0,08 \$/L

Après la compilation de notre système, nous allons entamés la simulation, de ce fait les résultats de l'optimisation et le classement des systèmes obtenus sont montrés dans la figure suivante :

	PV (kW)	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	LPG (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	90	25	192	30	\$ 367,800	49,768	\$ 1,004,002	0.378	0.50	29,276	5,386	14.1
	90	25	192	40	\$ 377,800	49,342	\$ 1,008,562	0.379	0.50	28,838	5,262	14.0
	90	25	192	50	\$ 387,800	49,698	\$ 1,023,104	0.385	0.50	28,823	5,259	13.9
	120	25	192	30	\$ 412,800	48,525	\$ 1,033,117	0.389	0.58	27,577	5,098	14.0
	120	25	192	40	\$ 422,800	47,870	\$ 1,034,741	0.389	0.59	27,012	4,937	13.8
	90	25	192	60	\$ 397,800	50,063	\$ 1,037,778	0.390	0.50	28,823	5,259	13.9
	60	25	288	30	\$ 409,200	49,530	\$ 1,042,360	0.392	0.38	31,119	5,671	20.0
	90	25	288	30	\$ 454,200	46,279	\$ 1,045,806	0.393	0.51	27,574	5,057	19.2
	90	25	288	40	\$ 464,200	45,740	\$ 1,048,909	0.394	0.52	26,929	4,898	18.8
	120	25	192	50	\$ 432,800	48,212	\$ 1,049,117	0.395	0.59	26,995	4,933	13.8
	90	25	192	70	\$ 407,800	50,429	\$ 1,052,453	0.396	0.50	28,823	5,259	13.9
	60	25	288	40	\$ 419,200	49,558	\$ 1,052,715	0.396	0.38	30,938	5,625	20.0

Figure IV. 10 : Résultats d'optimisation et classement des systèmes

IV.6 .2. Simulation et interprétation

La figure ci-dessus montre toutes les configurations du système faisables pour ce projet. Homer affiche le système le plus rentable par rapport au coût et l'efficacité basé sur son coût nette actuelle « NPC » La ConfigurationPV /GPL / diesel/batteries/convertisseur est la plus rentable conception

	PV (kW)	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	LPG (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	90	25	192	30	\$ 367,800	49,768	\$ 1,004,002	0.378	0.50	29,276	5,386	14.1
		35	96	20	\$ 148,400	79,485	\$ 1,164,490	0.438	0.00	51,716	7,174	10.9

Figure IV.11 : système optimal choisi par Homer

IV.6.2.1. Architecture du système optimal

PV : 90 kW

Générateur GPL: 25 kW

Batteries: 384 Hoppecke 10 OPzS avec 1000 Ah chacune

Onduleur: 30 kW

Redresseur: 30 kW

IV.6.2.2. Production et consommation d'énergie électrique

La production et la consommation d'énergie sur une année sont démontré dans les deux tableaux qui suivent IV-16 et IV-17.

Tableau IV.16 : Energie annuelle produite

Composant	Production (kWh/ans)	Fraction %
PV	130.304	50
Générateur Diesel	131.708	50
Total	262.012	100

Tableau IV.17: Energie annuelle consommée

Composant	Production (kWh/ans)	Fraction %
Charge AC	207.998	100
Total	207.998	100

Quantités	Valeurs
Fraction renouvelable	0,497

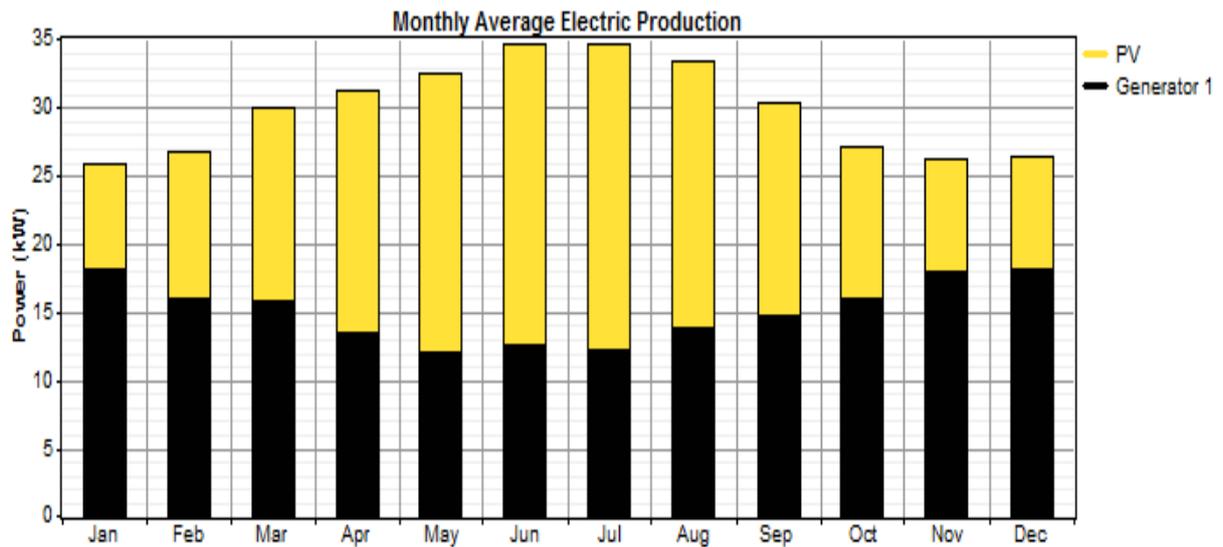


Figure IV. 12 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source

IV .6.2.3. Détails des composants du système étudié

*Le Générateur Photovoltaïque

Tableau IV.18 : Paramètres de Fonctionnement du PV

Variable	Valeur	Unité
Heures de fonctionnement :	4,380	h/ans
Facteur de capacité (l'état de charge moyenne du PV sur l'année)	16,5	%
Puissance minimale :	0	kW
Puissance moyenne :	357	KWh/j
Puissance maximale :	85,1	kW
Coût spécifique de l'énergie	0,100	\$/kWh
Pénétration PV :	62 ,6	%
Heure de pénétration	4,380	h/ans

On remarque que le fonctionnement du PV pendant l'été (Juin, Juillet et Out) contrairement à l'hiver. La production par PV est nulle, ou très faible, aux périodes du pic de consommation électrique (entre 20 h et 22 h), ce qui nécessite soit le recours aux autres générateurs.

*Détails du Groupe électrogène

Tableau IV.19 : Détails du groupe électrogène dans le système hybride

Variable	Valeur	Unité
Heure de fonctionnement	5 ,386	h/ans
Nombre de démarrage	396	Démarrages/ans
Durée de vie	241	Ans
Facteur de capacité	30,1	%
Cout fixe du générateur	7,22	\$/ans
Cout marginal du générateur	0,00944	\$/kWh
Production électrique	131,708	KWh/ans
Puissance moyenne	24,5	Kw
Puissance minimale	7,5	kW
Puissance maximale	25,0	kW
Carburant utilisé annuellement	29,276	L/ans
Utilisation spécifique du carburant	0,222	L/kWh
Apport d'énergie de carburant	198	kWh/ans
Efficacité électrique moyenne	66,649.9	%

*Détails du convertisseur

Le tableau ci-dessous résume les détails de fonctionnement du convertisseur 30KW (onduleur/ redresseur/) dans le système hybride (PV/GE/Batterie) pour l'alimentation du notre village isolé qui se situe à Djelfa.

Tableau IV.20 : Détails des convertisseurs

Quantité	Onduleur	Redresseur	Unités
Capacité	30,0	30,0	KW
Production moyenne	9,8	0,9	KW
Sortie minimum	0,00	0,00	KW
Sortie maximale	28,4	216,3	KW
Facteur de capacité	32,6	3,0	%

Quantité	Onduleur	Redresseur	Unités
Heures d'ouverture	6,736	2,018	Heures / an
L'énergie dans	95,074	9,277	KWh/an
Énergie sur	85,567	7,885	KWh/an
Pertes	9,507	1,392	KWh/an

*Détails De la batterie

Nous avons utilisé une batterie, la tension au bus continu est de 48V, d'après Homer l'autonomie de notre système de stockage pour l'alimentation du village est 22.6 heures la durée de vie pour cette batterie est 10ans.

Tableau IV.21: Détails du système de batterie dans le système hybride (PV/GE/Batterie)

Quantité	Valeur
Taille de la chaîne	24
Chaîne en parallèle	8
Batteries	192
La tension de bus (V)	48

Quantité	Valeur	Unités
Capacité nominale	384	KWh
Capacité nominale utilisable	269	KWh
Autonomie	11 ,3	Heure
Vie débit	660 ,096	KWh
Usure de la batterie coût	0,288	\$KWh
Coût de l'énergie moyenne	0,005	\$/KWh

Quantité	Valeur	Unités
L'énergie dans	50,11	KWh/an
Énergie sur	43 ,311	KWh/an
Épuisement de stockage	188	KWh/an
Pertes	6,620	KWh/an
Débit annuel	46,703	KWh/an
Durée de vie prévue	41 ,1	An

IV.6.3 Détails économique :

Tableau IV.22 : Résumé détaillé des coûts en \$ du système sur toute la durée de vie du projet

Composant	Capital (\$)	Remplacement (\$)	Autre frais +mainten ance (\$)	Carburant (\$)	Récupé ration (\$)	Total (\$)
PV	135,000	33,675	17,258	0,00	-18,873	167,060
Générateur	30,000	131 ,236	344,258	29,940	-3,929	531,503
Hoppecke 10 OPzS 1000Ah	172,800	75,836	22,090	0,00	-9,309	261,417
Convertisseur	30,000	12,518	3,835	0,00	-2,330	44,023
Systeme	367,800	253,265	387,438	29,940	-34 ,440	1004,002

Tableau IV.23 : le coût annuel détaillé de chaque composant du système optimal

Composant	Capital (\$)	Remplacement (\$)	Autre frais +maintena nce (\$)	Carburan t (\$)	Récupé ration (\$)	Total (\$)
PV	10,561	2 ,634	1,350	0,00	-1 ,476	13 ,069
Générateur	2 ,374	10,266	26,930	2,342	-307	41 ,450
Hoppecke 10 OPzS 1000Ah	13,518	5,932	2,728	0,00	-728	20,450
Convertisseu r	2,374	979	200	0,00	-182	3,444
Systeme	28,772	19,812	30,308	2,342	-2,694	78,540

Tableau IV.24: NPC détaillé par type de coût du système optimal

Composant	Capital (\$)	Remplacement (\$)	Autre frais +mainten ance (\$)	Carburant (\$)	Récupé ration (\$)	Total (\$)
PV	135,000	33,675	17,258	0,00	-18,873	167,060
Générateur	30,000	131,236	344,256	29,940	-3,929	531,503
Hoppecke 10 OPzS 1000Ah	172,600	75,836	22,090	0,00	-9,309	261,417
Convertisseur	50,000	12,518	3,835	0,00	-2,330	44,023
Système	367,800	235,265	387,468	29,940	-34,440	1004,02

***Coût**

Tableau IV.25 : Coût du système

Investissement	367,800	\$
Remplacement et entretien	49,768	\$/ans
CAN total	1, 004,002	\$
Coût d'énergie	0,378	\$/kWh

IV.6.4 Emission

Tableau IV.26: Emission en gaz polluant du système hybride PV/GPL

Polluant	Emissions [kg/an]
Dioxyde de Carbone	112
Monoxyde de Carbone	190
Hydrocarbures non brûlés	21.1
Particules	14.3
Dioxyde sulfurique	0.0371
Oxydes de Nitrogène	1,698

IV.6.5. Le Générateur GPL

Le générateur GPL fonctionne à n'importe quel moment de la journée et d'une manière optimale en plein charge et à charge partielle suite au besoin du site. La mise en marche est en fonction de la demande, de la production des autres générateurs et de l'état de charge des batteries. Le combustible à utiliser est le fuel (moteur GPL), ses propriétés sont résumées dans le tableau ci-suivant :

Propriété	Valeur	Unités
PRIX	0,08	\$/L
PCI	45	MJ/Kg
Masse volumique	0,54	Kg/m ³
Pourcentage Carbon	67	%
Pourcentage soufre	0, 33	%

Dans le tableau suivant on montre les différents paramètres et caractéristiques du système PV-GPL :

Système hybride (PV-GPL)		
Configuration du système		
Champ PV	90	KW
Génératrice Diesel	25	KW
Batteries	192	KWh
Onduleur	30	KW
Energie de sortie		
Champ PV	130,304	KWh/an
Génératrice Diesel	131,708	KWh/an
Excès d'énergie	36,307	KWh/an
Charge non satisfaite	52,0	KWh/an
Fraction d'énergie renouvelable	0 ,479	%
Coûts		
Investissement	367,800	\$
Remplacement et entretien	49,768	\$/an
CAN total	1, 004,002	\$
Coût d'énergie	0,378	\$/KWh

IV.7. Comparaison des caractéristiques des divers systèmes

IV.7.1. Technico-économiques

Tableau IV.27: Comparaison des caractéristiques des divers systèmes

Configuration		PV/Diesel	PV/GPL
Configuration du système	Champ PV [KWc]	190	90
	Gén. Diesel [KW]	35	25
	Nombre de batteries	384	192
	Convertisseur [KW]	50	30
Investissement		729,600	367,800
CAN totale		53,001	49,768
Coût de l'énergie		1407,131	1, 004,002

Suit à l'analyse des résultats on remarque que le système hybride PV/GPL est un choix stratégique sur le plan économique et environnementale

IV.7.2 : écologique

Tableau IV.28 : Comparaison des émissions de gaz polluant

Polluant Configurations	PV/Diesel	PV/GPL
Dioxyde de Carbone	477	112
Monoxyde de Carbone	108	190
Hydrocarbures non brûlés	11.9	21.1
Particules	8.11	14.3
Dioxyde sulfurique	87.5	0.0371
Oxydes de Nitrogène	960	1,698

Les émissions du deuxième système sont beaucoup plus faibles par rapport au premier système hybride qui se montrent dans la réduction des émissions de gaz à effet serre.

IV.8. Evolution horaire de la charge du système (PV-Diesel-GPL)

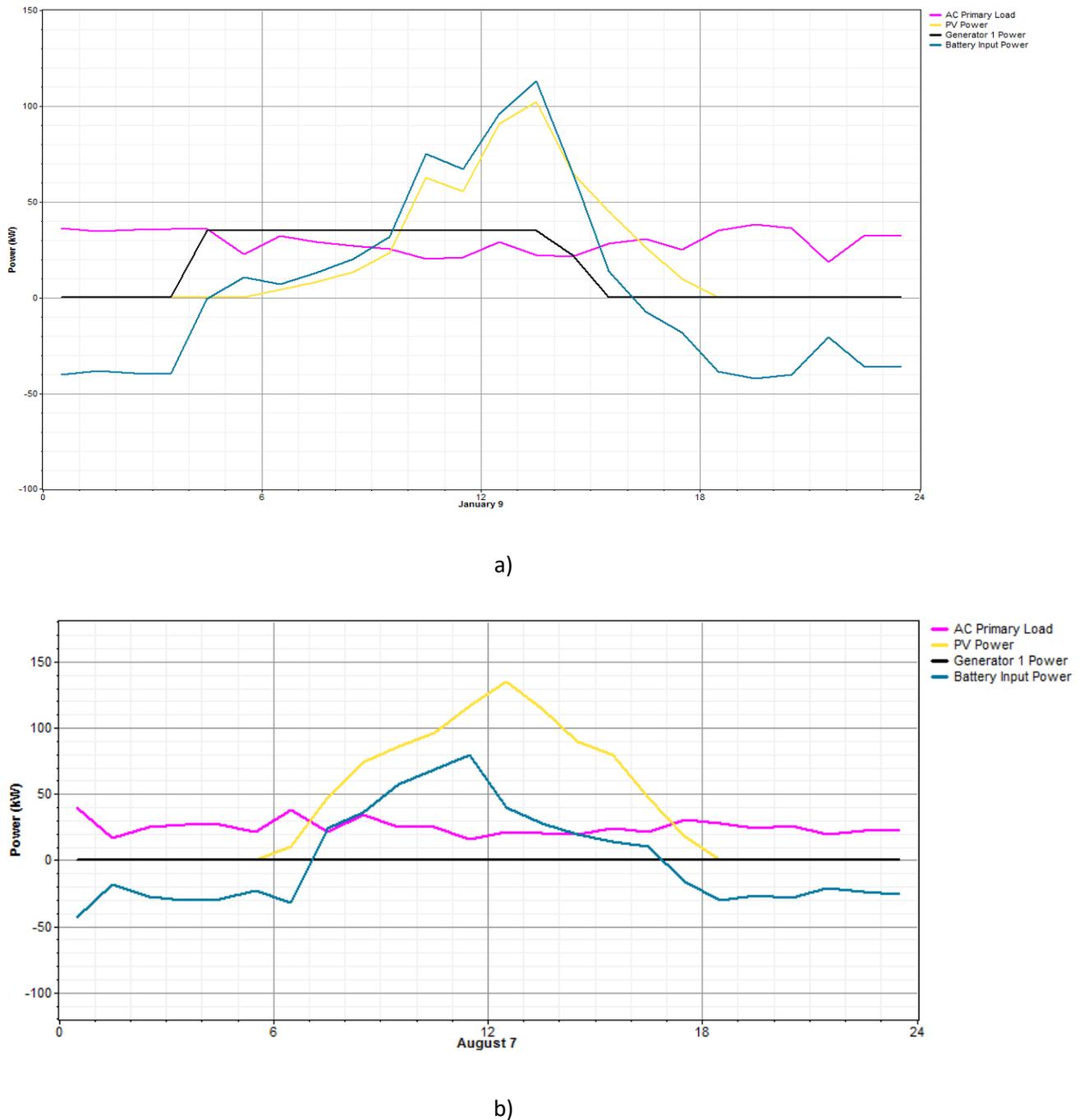
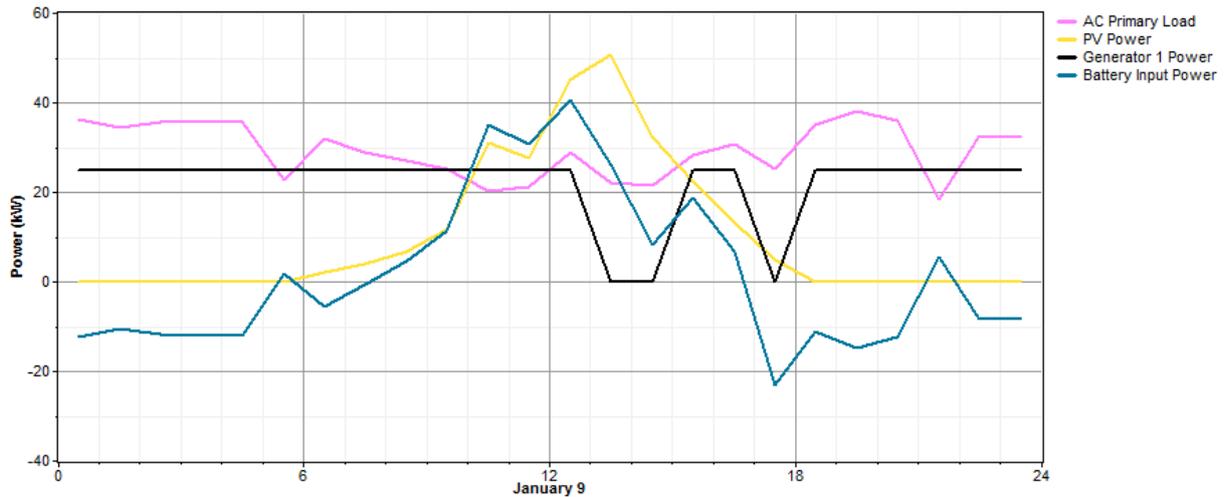
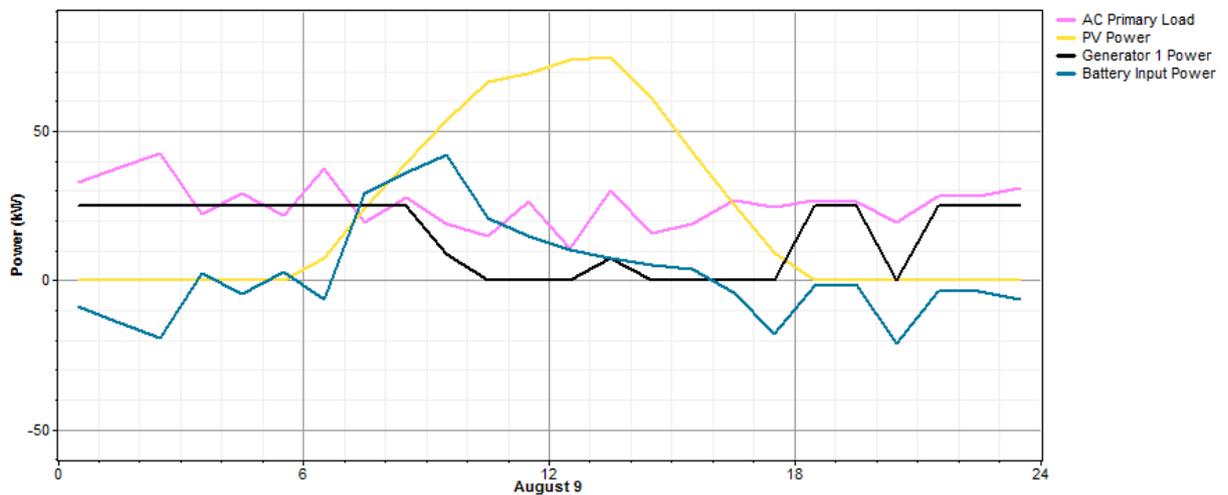


Figure IV.13 : comparaison de la puissance des composants du système (PV/diesel) durant 24h pendant le mois Janvier (a) et Aout (b)



c)



d)

Figure IV. 14 : comparaison de la puissance des composants su système (PV/GPL) durant 24h pendant le mois Janvier (c) et Aout(d) GPL

Les figures précédentes représentent l'évolution horaire de la charge du système PV-diesel et PV-GPL durant 24 pendant les mois Janvier et Aout. On illustre la puissance produite par le générateur photovoltaïque, l'état de charge et la puissance d'intervention du générateur diesel.

IV.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude relative à la simulation et l'optimisation d'un système hybride PV/diesel/GPL par logiciel HOMER. Cette étude a été effectuée afin d'optimiser ce système, où les données géographiques, météorologiques et l'ensoleillement ont été disponibles. On a atteint les résultats de la combinaison des sources d'énergies renouvelables à des ressources énergétiques (diesel-GPL). Ses derniers assurent la disponibilité et la continuité de la production de l'énergie électrique.

On a utilisé logiciel Homer pour définir le système le plus fiable sur les plans environnementaux et technico-économique. Sachant que pour utiliser cette nouvelle technologie dans un site isolé il faut s'assurer de la disponibilité de l'énergie renouvelable.

Grâce à cette étude et la comparaison entre les deux systèmes hybrides (PV-GPL/PV diesel) on a conclu que les deux systèmes assurent la continuité de la production mais le système PV-GPL est le plus fiable puisqu'il est le moins coûteux et le moins nuisible (émissions de gaz CO₂ sont réduites)

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but du travail présenté dans ce mémoire, est l'étude des systèmes PV de génération de l'énergie électrique pour l'alimentation des sites isolés non raccordé au réseau, selon l'objectif de maintenir un niveau de fiabilité élevé avec un coût minimal grâce à un dimensionnement optimal du système PV de façon que les émissions des gaz à effet de serre se réduisent.

En premier lieu, on a entamé une présentation générale des énergies renouvelables (solaire, hydraulique...etc.) puis on a décrit le système photovoltaïque pour la génération d'énergie électrique ainsi que les différents éléments qui les construisent.

Ensuite, dans le deuxième chapitre le on a interpellé une étude globale sur les systèmes hybrides et différentes configurations d'un système autonome diesel qui permet de satisfaire des charges évolutives et la qualité de service 24/24- 7/7 avec un faible cout et minimum de carburant aperçu en utilisant une source d'énergie qui favorise l'innovation (GPL)

Dans le troisième chapitre, nous avons qualifié la modélisation des différents constituants basique de la gamme photovoltaïque incluant la source primaire, une étude détaillée a été effectuée sur les composants du système hybride ainsi que son dimensionnement. On a consacré une partie de cette étude a la stratégie de gestion des systèmes autonome.

Enfinement dans le dernier chapitre nous avons effectué une étude de simulation pour un système photovoltaïque, en ajoutant des groupes-électrogène, des batteries et des convertisseurs pour alimenter une charge donnée dans un concept autonome. La simulation a été réalisée par logiciel HOMER, qui nous permet de traiter des résultats réels basés sur des contraintes de coût et de variations d'entrées métrologiques d'un site situé au Djelfa. Puis on a fait une comparaison entre les deux résultats donnés par le logiciel pour choisir le système le plus fiable et le moins coûteux qui veut dire le système le plus économique.

De cette étude on a conclu un aperçu des avantages des énergies renouvelables solaire à l'électrification des rurales, cette énergie sera appliquée dans une hybridation de système autonome qui est devenu la nouvelle technologie utilisée pour l'approvisionnement en énergies des sites isolés sachant que le PV/GPL est le choix le plus fiable environne mentalement et économiquement

Bibliographie

Bibliographie :

[1] HABI HAFIDHA ,BIBI YAMINA « Simulation et Optimisation des performances d'un système hybride intégrant des Energies renouvelables pour la génération d'Electricité » projet de fin d'étude présenté pour obtenir le diplôme de Master en ingénierie mécanique , UNIVERSITE DE BOUIRA,2016

[2] : BELAID LALOUNI Sofia, « Cours Energie Solaire Photovoltaïque » Université A.MIRA de BEJAIA,2015

[3] Soltane Belakehal, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », thèse de doctorat, université de Constantine, 2010

[4] : Picbleu F : Production d'électricité hydraulique centrales hydroélectriques. [web] (2008), disponible sur : <https://www.picbleu.fr/page/production-d-electricite-hydraulique-centrales-hydroelectriques/>, page consultée le 10/06/2020.

[5] : Hellali EL Kadi, « Fiabilité des systèmes énergétiques multi-sources », THÈSE DE DOCTORAT, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.

[6] : Edfen: l'énergie éolienne [web] disponible sur <https://www.edfen.com/lexique/energie-eolienne/>, page consultée le 11/06/2020

[7] : Thomas Mambrini. Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies. Météorologie. Université Paris Sud - Paris XI, 2014.

[8] : Salaheddine Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaires », mémoire de magister , université Farhat Abbas- Setif , 2011.

[9] : BENOTMANE Sara et MOUALEK Farida, « étude et simulation des systèmes photovoltaïques connectés à un microgrid », mémoire de master, université Aboubakr Belkaid Tlemcen

[10] : Rachid MAOUEDJ, « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzaréah ». Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaid., 2005.

[11] : Bibliothèque 16 des énergies solaire / photovoltaïque [en ligne], disponible sur <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>

- [12]: Connaissance des énergies solaire photovoltaïque [en ligne], disponible sur <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>
- [13] : Bencherif Mohammed « Modélisation des paramètres d'une batterie Plomb-Acide, et son intégration dans un système photovoltaïque autonome » Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen 2014/2015
- [14] : Ben ahmed Hakima, Ouzane Seddik « étude et simulation d'un système d'énergies solaire » université Tahar Moulay – Saida- 2014.
- [15] : Meghellet Hanine Hocine Lynda, « Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque ». Mémoire de master, Université Colonel Akli Mohand-Oulhadj Bouira, 2018.
- [16] : Edf tout sur l'énergie, produire de l'électricité, le solaire PV en chiffre [en ligne] (2014), disponible sur <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-solaire-photovoltaique-en-chiffres/>, page consulté le 11/06/2020
- [17] : M. J. Harrap and J.P. Baird, ²Aerogenerator Configurations for Hybrid Wind-Diesel Systems², Journal of Wind Engineering Vol. 11, N°5, 1987.
- [18]: N .H. Lipman, ²Overview of Wind/Diesel Systems², Rutherford Appleton Laboratory.
- [19] :, R. Magnusson, ²A wind-Diesel Energy System for Grimsey, Iceland², Journal of Wind Engineering Vol. 6, N°4, 1982.
- [20]: R. W. Todd, ²Controls for Small Wind/Solar/Battery Systems² Journal of Wind Engineering Vol. 11, N°3, 1987.
- [21]: J. Akerlund, ²Hybrid Power Systems For Remote Sites –Solar, Wind and Mini Diesel², IEEE, 1983.
- [22]: J. C. Hennet and M. T. Samarakou, ²Optimization of Combined Wind and Solar Power Plant ², J. of Energy Research, Vol.10, October 1986.
- [23]: A. Sadek « Implantation expérimentale de l'MPPT pour un système de génération hybride solaire-éolien », mémoire de Magistère, Université de Batna, 01/07/2009.
- [24]: D. YAMEGUEU « étude des différentes configurations des systèmes d'énergie hybrides pv/diesel et de leur impact sur le coût de production d'électricité », mémoire de Magistère, Université de Batna, 21/06/2006.

- [25]:B. Wichert « PV-Diesel hybridenergy system for remote area power generation – Areview of current practice and futur developments » renewable and sustainableenergyreviews, 1997, vol 01, N°3, pp (209-228), Elsevier science, 1997.
- [26] : Dr Yao AZOUMAH etude des different configuration des systems d'énergiehybridespv/diesel et de leur impact sur le cout de production d'électricité », mémoire de Magistère, Université de Batna, mémoire de magister 21/06/2013
- [27]:M. Damien Thirault, " Architectures des Réseaux de Distribution pour l'Electrificationrurale des Pays enDéveloppement," thèsedoctorat INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DEGRENOBLE 2004.
- [28]:M. Belhamel, S. moussa, A. Kaabech « Production d'électricité au moyen d'un systèmehybride (éolien-photovoltaïque-diesel) » revue des énergiesrenouvelables pages (49-54),Algérie, 2002.
- [29]:S. Moussa « Production d'électricité au moyen d'un systèmehybride (éolienphotovoltaïque)»bulletin des énergiesrenouvelables CDER, pages (9-10), juin, 2004.
- [30]:EPIA(EuropeanPhotovoltaïqueIndustryAssociation),EnergiePhotovoltaïquequel'électricite du soleil
- [31]:Guide de l'acheteur, revue : les systèmesphotovoltaïques
- [32]:G. Delvecchio², M. Guerra³, C. Lofrumento¹, F. Neri¹, A Study for Optimizing a Stand Alone Hybrid Photovoltaic-Diesel System to Feed Summer Loads, N°2,
- [33] :S. Drouilhet, M. Shirazi, “Wales, Alaska high-penetration wind-diesel hybrid power system, Theory of operation”, NREL/TP-50031755, May 2002.
- [34]:H. G. Beyer, T. Degner, “Assessing the maximum fuel savingsobtainable in simple
- [35] : Bayram Tounsi « Etude comparative de groupesélectrogènesembarqués àlarge gamme de vitesse variable associant machines à aimants permanents et conversionstatique» thèse de doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, France 2006.
- [36]: " Repowering de centralesélectriques avec des groupes diesel "(www.ecodev.info e-mail:contact@ecodev.info).
- [37]: BAGHDADI Fazia "MODELISATION ET SIMULATION DES PERFORMANCES D'UNEINSTALLATION HYBRIDE DE CONVERSION D'ENERGIES RENOUVELABLES," mémoiremagistère UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU septembre 2011.

- [38]: Amar KHELIF 'EXPERIENCE, POTENTIEL ET MARCHÉ PHOTOVOLTAÏQUE ALGÉRIEN' New Energy Algeria NEAL15, Haouche Kaouche, Dely Ibrahim Alger - Algérie.
- [39] : C. SEMASSOU « Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes
- [40] : M. Petibon Stéphane « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques » thèse de doctorat l'Université Toulouse France 2009.
- [41]: Belhadj Mohammed « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome » mémoire de magister, universitaire de Bechar 2008.
- [42] : Kalla Fayçal « Conversion thermodynamique de l'énergie solaire: Etude et modélisation d'un capteur solaire » mémoire MAGISTÈRE UNIVERSITÉ DE BATNA 2014
- [43]: Boonyang Plangklang « an embedded interactive monitoring system for PVDiesel hybrid plants in rural areas » université Kassel, Allemagne février 2005.
- [44] : W. Kleinkauf, Mohamed I.A. Ibrahim, decentralized hybrid renewable energy systems, a dissertation at university of kassel, germany, 2002.
- [45] : C. DARRAS, « 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, Mai 2011
- [46] : Installations Photovoltaïques Autonomes Guide pour le dimensionnement et la réalisation Diffusion Swissolar, Case postale 9, 2012 Colombier.
- [47] : S. Mohamed Ait Cheikh « étude, investigation et conception d'algorithmes de commande au système photovoltaïque » thèse de doctorat, école nationale polytechnique Alger 2007.
- [48]: BOUKAROURA Abdelkader '' modélisation et diagnostic d'un onduleur triphasé par l'approche bond graph '' mémoire de magister université ferhat abbas de setif 02/12/2009.
- [49]: O. BENSEDDIK et F. DJALOUDE '' Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque '' Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 27/06/2012.
- [50] : Krim Med lamine « Etude par simulation d'un générateur photovoltaïque » mémoire master université Baji Mokhtar Annaba juin 2018.
- [51] : ALBANE Amirouche « Etude et implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride MASTER en électrotechnique. Université Abderrahmane Mira Bejaia 2012

- [52] : L. ABBASSEN, « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque ». Mémoire Magister, université de Tizi-Ouzou, 2011
- [54] : L. Leclercq «Modélisation et simulation d'un stabilisateur cinétique de réseau associé à une éolienne et un générateur diesel», mémoire de mastère soutenu en septembre 2001. Ecole centrale de Lille.. août 2011.
- [55] : Majid ZANDI, " CONTRIBUTION AU PILOTAGE DES SOURCES HYBRIDES D'ENERGIE ELECTRIQUE," thèse doctorat NANCY Université - Institut National Polytechnique de Lorraine 2010.
- [56] : Ahmed IDDA «hybridation d'une centrale diesel en énergie photovoltaïque faisabilité techniques et rentabilité économique» MASTER université d'Adrar Soutenu le 24/10/2013
- [56] : Ahmed IDDA « Hybridation d'une Centrale Diesel en Energie Photovoltaïque, université d'Adrar Soutenu le 24/10/2013
- [57] : Mr. GASSAB Samir, Modélisation d'une centrale à énergie renouvelable photovoltaïque-éolienne." Magister Université UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF le 15/12/2011.
- [59] : M. Adouane « Etude et Simulation d'une topologie d'onduleur photovoltaïque connecté au réseau » Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, B.P. 88, ZI, G. Taam, Ghardaïa Algérie.
- [60] : D. Saheb-Koussa*, M. Haddadi « Modélisation d'un générateur photovoltaïque dans
- [62] : I. Selles « Étude de faisabilité d'une centrale photovoltaïque
- [63] : recherche innovations solaire photovoltaïque [en ligne] (2020) disponibles sur <http://www.ines-solaire.org/france/DT1279185878/page/Logiciels.html> page consultée le 13/8/2020
- [64] : ALLAOUA Ferhat « Etude et implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride MASTER en électrotechnique. Université Abderrahmane Mira Bejaia 2012
- [65] : Ababacar Ndiaye. « Étude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïques - Impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance ». Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole Supérieure Polytechnique (ESP) - UCAD, 2013. Français
- [66] : Julia Schiffer, Dirk Uwe Sauer, Henrik Bindner, Tom Cronin, Per Lundsager, Rudi Kaiser « Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems », Journal of Power Sources n°168, pp. 66–78, 2007

[67] : NYAMIEN Yao Thomas «modélisation et optimisation des systèmes hybrides pv/diesel : validation expérimentale par le pilote « flexy energy »», institut internationale des énergies d'eau 15 Juin 2010

[68] : M. Robin ROCHE¹, Lhassane IDOUMGHAR², Benjamin BLUNIER^y, Abdellatif MIRAOU¹, " Algorithmes hybrides pour la gestion intelligente de l'énergie dans les smart grids," IRTES-SeT, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 13 rue Thierry Mieg 90000 Belfort France 2012.

[69] : AMINATA SARR « SIMULATION DE SYSTÈMES HYBRIDES PHOTOVOLTAIQUES ». ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC Décembre 1998.

[70] : Basem Idlbi "DYNAMIC SIMULATION OF A PV-DIESEL-BATTERY HYBRID PLANT FOR OFF GRID ELECTRICITY SUPPLY," A Thesis Submitted To The Faculty Of Electrical Engineering And Computer Science At The University Of Kassel And Faculty Of Engineering At Cairo University 2012

[71] : Vincent DEMEUSY « homer getting started guide_french_homer_mode_demploi » [PDF] (2011), disponible sur <http://www.ecreee.org/sites/default/files/event-att/> page consultée le 8/8/2

Résumé

Nous avons étudié les différentes configurations en utilisant le Système hybride photovoltaïque (diesel-GPL). En utilisant le logiciel HOMER, afin de comparer le meilleur coût et la configuration optimale des énergies renouvelables d'une zone rurale dans la région de Djelfa en Algérie, en termes coût de production de l'énergie solaire et énergétique avec son rendement annuel correspondant aux différentes configurations. Pour améliorer les meilleurs dimensionnements des composants d'un système économique, efficace, fiable et rentable d'une région rurale. Les résultats montrent que le système de générateur hybride PV-LPG est la solution la plus adaptée en termes de performance économique et de pollution, avec une énergie à faible coût et respectueuse de l'environnement par rapport à l'énergie produite par d'autres configurations.

ABSTRACT

We have investigated the different configurations using hybrid PV-generator (diesel /GPL (liquid petroleum gas)) system. Using the HOMER software, in order to compare the best cost and optimal configuration of renewable energy of a rural area in Djelfa regions of Algeria, in the terms cost of production of solar and energy with its annual yield relevant to different configurations. For enhanced the best components and sizing with a cheap, efficient, reliable and cost-effective system of a rural region. The results show that the hybrid PV-LPG generator system is the most suitable solution in terms of economic performance and pollution, with a low-cost energy and environmentally friendly than the energy produced by other configurations.