

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

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Études de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Electrotechnique**

Spécialité : **Energies renouvelables**

Présenté par

**MOKRANI GHILES
BERREKAIL TOUFIK**

Thème

***Modélisation et supervision de l'énergie d'un système multi-source
destiné à l'alimentation d'une ferme agricole en haute montagne.***

Mémoire soutenu publiquement le 23 / 06 / 2024 devant le jury composé de :

M Aghiles ARDJAL

Maitre de conférence de classe A, UMMTO, Président

M M'hemed RACHEK

Professeur, UMMTO, Encadrant

M Mohamed Lamine HAMIDA

Maitre de conférence de classe A, UMMTO, Examineur

REMERCIEMENTS

*Nous remercions d'abord et avant tout, **DIEU** le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.*

Nous joignons nos remerciements à nos parents pour leur contribution, soutien ainsi que leur patience.

*Nos remerciements s'adressent ensuite à **M^r.RACHEK** qui, en tant que promoteur, nous a permis de mener à terme notre travail, par ses précieux conseils, ses orientations et son soutien.*

Nous remercions aussi à tous les membres jury d'avoir fait l'honneur d'accepté d'évaluer notre travail de mémoire.

Nous exprimons notre gratitude à tous nos enseignants et à tout le personnel de l'UMMTO sans exception.

Nous adressons en fin nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

YOUCEF KHOUDJA MENADE



« DÉDICACES »

JE DÉDIE CE TRAVAIL :

✂ A MES TRÈS CHERS PARENTS QUI M'ONT SOUTENUS, GUIDÉ ET DONNÉ LE COURAGE AFIN D'ACCOMPLIR CE TRAVAIL, ET JE LES REMERCIE POUR TOUS LES SACRIFICES QU'ILS ONT FAIT POUR MOI.

✂ A MES FRÈRES ET SŒURS

✂ A TOUS MES AMIS (ES) : MEHDI, SAMIR, MEBAREK, MHENNA, RAFIK, SONIA ET DEHBIA
✂ A TOUS MES ENSEIGNANTS.

✂ A TOUS MES CAMARADES DE LA SECTION : M2.ER

✂ A TOUTES ET TOUS CEUX QUI ME CONNAISSENT.



SOMMAIRE

Remerciement.....	i
Dédicace.....	ii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE

I.1.Introduction.....	3
I.2. Les ressources énergétiques primaires dans le monde.....	3
I.2.1 Différentes nature de ressources énergétiques primaires.....	3
I.2.2 Les ressources énergétiques primaires non-renouvelables.....	3
I.3.Les ressources énergétiques renouvelables primaires.....	3
I.4. Les ressources énergétiques primaires en Algérie.....	4
I.5. Les modes de productions d'électricité en Algérie.....	4
I.5.1.Production d'électricité à partir de sources primaires non-renouvelable.....	5
I.5. 1.a.Les centrales thermiques.....	5
I.5. 1.b. Les centrales nucléaires.....	6
I.5. 2. Production d'électricité à partir de sources primaires renouvelables.....	7
I.5. 2.a. Les centrales hydrauliques.....	7
I.5. 2.b. Les centrales solaires.....	7
I.5. 2.c. Centrales géothermiques.....	8
I.5. 2.d.Centrale éolienne.....	8
I.6. Les modes de stockage de l'électricité.....	9
I.7 Définition de système d'énergie électrique multi-source et hybride.....	10
I.8.Le mix énergétique de production d'électricité en Algérie.....	10
I.9.Les différentes combinaisons de système hybride.....	12
I.9.1. Architecture série.....	12
I.9.1.1.Configuration à bus à courant continu.....	12
I.9.1.2.Configuration à bus à courant alternatif.....	12
I.9.2.Architecture parallèle.....	13
I.10.Les principaux composants d'un système hybride.....	13
I.11. Les avantages de l'architecture série et parallèle.....	14
I.11.1.Architecture série.....	14
I.11.2.Architecture parallèle.....	14
I.12.Classification des systèmes hybrides.....	14
I.13.L'électrification rurale.....	14
I.14.L'électrification individuelle.....	15
I.15.Composants clés de l'électrification individuelle d'une ferme isolée.....	15

I.15.1.Sources d'énergie renouvelable.....	15
I.15.2.Systèmes de stockage de l'énergie.....	15
I.15.3.Systèmes de gestion de l'énergie.....	15
I.15.4.Infrastructure de distribution.....	16
I.16.L'électrification d'une ferme agricole.....	16
I.17. Conclusion.....	17
I.18. Bibliographies.....	18

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

II.1.Introduction.....	21
II.2.Architecture du système d'électrification de la ferme agricole isolé.....	21
II. 3. Le Générateur Photovoltaïque (GPV).....	23
II.3.1. L'effet photovoltaïque.....	23
II. 3.2.Cellules photovoltaïques.....	24
II. 3.3. Paramètres d'une cellule photovoltaïque.....	24
II.4.Modélisation du générateur photovoltaïque.....	25
II.5.Caractéristiques du module photovoltaïque.....	27
II.6. Association de cellules photovoltaïques.....	29
II.6.1. Association en séries de cellule PV.....	29
II.6.2. Association en parallèle de cellules PV.....	30
II.6.3. Protections classiques d'un générateur photovoltaïque	30
II.7. Technique de contrôle de puissance maximale (MPPT).....	31
II.7.1. Principe De La Commande MPPT.....	31
II.7.2.Methode Perturber et observer, 'P&O'.....	32
II.8.Modélisation du stockage par batteries.....	33
II.8.1. Principe du stockage par batteries.....	33
II.8.2. Caractéristiques principales d'une batterie.....	34
II.8.3.Modélisation de la batterie.....	35
II.8.4. État de charge de la batterie (SoC) et profondeur de décharge (DoD).....	35
II.8.4. Etat de santé de la batterie (SoH).....	36
II.9.Modélisation des convertisseurs.....	36
II.9.1.Modélisation du convertisseur DC/DC bidirectionnel.....	36
II.9.1.1.Convertisseur Boost (survolteur).....	36
II.9.1.2.Convertisseur Buck (dévolteur).....	37
II.9.1.3.Convertisseur Buck-Boost.....	38
II.9.2.Convertisseur DC/AC (onduleur).....	38
II.10. Groupe Electrogène (Générateur Diésel GD).....	39
II.10.1 Principe de fonctionnement et nécessité du GD.....	39
II.10.2. Eléments de modélisation électrique du générateur diesel.....	40

II.11.Modélisation des charges.....	41
II.12.Conclusion.....	42
II.13. Bibliographies.....	43

Chapitre III : Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

III.1.Introduction.....	46
III.2.Présentation des constituants de la ferme agricole.....	46
III.3.Cahier des charges.....	48
III.4.Dimensionnement des sources PV et du stockage.....	50
III.4.1.l'énergie à produire.....	50
III.4.2. L'angle d'inclinaison des panneaux solaires.....	50
III.4.3.Puissance crête.....	51
III.4.4.Nombre de panneaux.....	51
III.4.5. Dimensionnement et calcul du nombre de batterie.....	52
III.4.6. Nombre de batterie.....	53
III.4.7. Dimensionnement de l'onduleur.....	53
III.4.8. Dimensionnement de câblage.....	53
III.5.Gestion et supervision de l'alimentation électrique de la ferme.....	54
III.5.1.Stratégies de gestion du système hybride.....	54
III.5.2.Principe de fonctionnement de l'algorithme de gestion.....	54
III.5.3.Présentation de la procédure de supervision.....	54
III.6. Présentation du logiciel du dimensionnement PV_{SYST}	55
III.6.1. Etude par PV_{SYST}	56
III.6.2. Rapport finale de la simulation.....	66
III.6.2.1.L'indice de performance.....	66
III.6.2.2.Les productions normalisées.....	67
III.6.2.3.Bilan énergétique.....	68
III.6.2.4.Diagramme des pertes sur l'année entière.....	68
III.7.Discussion des résultats.....	69
III.8.Conclusion.....	72
III.9.Bibliographies.....	73
Conclusion générale.....	89
Perspectives.....	89
Résumé.....	90

Liste des figures

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE

Figure I.1 Les énergies renouvelables.....	4
Figure I. 2 : Puissance installée par type d'équipement à fin 2017.....	5
Figure I. 3 : Centrales thermique à vapeur.....	5
Figure I. 4 : Centrale thermique a flamme.....	6
Figure I. 5: Centrale thermique a gaz a cycle combiné.....	6
Figure I. 6: Schéma simplifié d'une centrale nucléaire.....	7
Figure I.7: Schéma d'un système intégré d'énergie renouvelable.....	10
Figure I.8 : Carte de l'ensoleillement en Algérie.....	11
Figure I.9 : Carte du vent en Algérie.....	11
Figure I.10: Configuration d'un système hybride à bus DC.....	12
Figure I.11 : Configuration d'un système hybride à bus AC.....	13
Figure I.12: Configuration d'un système hybride à connexion parallèle.....	13

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

Figure II.1: Architecture d'un système hybride à connexion parallèle.....	22
Figure II.2 : Principe de l'effet photovoltaïque.....	23
Figure II.3 : Cellules photovoltaïques.....	24
Figure II.4 : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque.....	25
Figure II.5 : Circuit équivalent d'un modèle à une seule diode.....	26
Figure II.6: Circuit équivalent d'un modèle à deux diodes.....	26
Figure II.7 : Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairéments à température constante 25°C.....	27
Figure II.8 : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairéments à température constante 25°C.....	28
Figure II.9 : Caractéristique I(V) pour différents valeurs de températures à éclairément constant 1000 W/m ²	28
Figure II.10 : Caractéristique P(V) pour différentes valeurs de températures à éclairément constant 1000 W/m ²	28
Figure II.11 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série.....	29
Figure II.12 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_p cellules en parallèle.....	30
Figure II.13 : (a) Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I_{PV}	31
Figure II.14: Principe général d'une commande MPPT.....	32

Figure II.15 : Caractéristique puissance - tension d'un panneau photovoltaïque	32
Figure II.16: Organigramme de l'algorithme 'P&O'	33
Figure III.17: Schéma d'un accumulateur électrique.....	33
Figure II.18: Schéma électrique équivalent d'un élément de batterie.....	35
Figure II.19: Schéma électrique du convertisseur bidirectionnel.....	37
Figure II.20:Schéma de principe d'un hacheur série (dévolteur ou BUCK).....	37
Figure II.21: Circuit équivalent d'un hacheur BUCK-BOOST.....	38
Figure II.22: Représentation des composants bidirectionnels.....	39
Figure II.23 : Schéma des composantes d'un Groupe Electrogène.....	40

Chapitre III : Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

Figure III .1: Parafoudre photovoltaïque.....	47
Figure III.2 : Schéma d'architecture de la ferme.....	47
Figure III.3 : Organigramme de la méthode de supervision.....	55
Figure III.4 : Interface du logiciel <i>PV_{SYST}</i>	56
Figure III.5 : Désignation du projet dans <i>PV_{SYST}</i>	56
Figure III .6 : Localisation d'Ain el Hammam.....	57
Figure III .7: Coordonnées géographiques du site d'Ain el Hammam.....	58
Figure III.8 : Irradiation globale horizontale mensuel du site d'Ain el Hammam	58
Figure III.9 : Température mensuel du site d'Ain el Hammam.....	58
Figure III .10 : Sauvegarde du site.....	59
Figure III .11 : Paramètres d'orientation et d'inclinaison des panneaux solaires.....	59
Figure III.12: Détermination des besoins électriques.....	60
Figure III.13 : Distribution horaire des charges sous forme fichier CSV.....	61
Figure III .14 : Résultats des besoins énergétiques et de puissance totale.....	61
Figure III.15 : Profile de charge journalière constante sur l'année.....	62
Figure III .16 : Paramètres de la batterie.....	63
Figure III .17 : Paramètres du champ PV et le régulateur de charge.....	64
Figure III.18 : Schéma de branchement de système.....	65
Figure III.19: Fenêtre d'informations sur le Lancement de La simulation.....	65
Figure III.20: Résumé du système (le site géographique, et Table des matières).....	66
Figure III.21: l'indice de performance.....	67
Figure III.22 : Les productions normalisées.....	67
Figure III .23:L'énergie produite par PV principale et la consommation des charges durant une année.....	68
Figure III .24: Diagramme des pertes de champ PV principale.....	69
Figure III.25 : Les paramètres du champ PV secondaire.....	70
Figure III.26 : L'énergie produite par le PV et la consommation des charges durant une année.....	71

Figure III.27: Paramètres du champ PV avec le générateur diesel.....	72
Figure III .28 : Diagramme des pertes avec le générateur diesel.....	72
Figure III.29: L'énergie produite par le PV et la consommation des charges durant une année.....	73

Liste de tableaux

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE

Tableau I. 1: Différents types de stockage d'énergie.....	9
Tableau_I.2: Classification des SH par gamme de puissance.....	14

Chapitre III : Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

Tableau III.1 : Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans hangar.....	48
Tableau III.2:Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans cette unité de production.....	48
Tableau III .3: Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans cette maison.....	49
Tableau III.4 : Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans cette administration.....	49
Tableau III.5:Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée.....	49
Tableau III.6:Données géographique d'Ain el Hammam.....	57
Tableau III.7: Bilan énergétique du champ PV principale.....	68
Tableau IV.8 : Bilan énergétique du champ PV secondaire.....	70
Tableau IV.9 : Bilan énergétique du champ PV secondaire et principale.....	71
Tableau III.10: Bilan énergétique du champ PV avec le générateur diesel.....	73

Introduction générale

L'énergie est indispensable à la vie de tout le monde, peu importe quand et où ils sont. Cela est particulièrement vrai en ce nouveau siècle, où les gens continuent à poursuivre un haut niveau de vie. Parmi les différents types d'énergies dont l'être humain a besoin au quotidien, l'électricité est la plus importante par son utilisation pour l'éclairage, le chauffage, la cuisson, la réfrigération, l'industrie et la communication, etc.

La production d'électricité à partir d'énergie primaire fossiles et renouvelables joue un rôle crucial dans le monde d'aujourd'hui. Cependant, La grande partie de la production mondiale de l'énergie est assurée à partir des énergies non renouvelables qui comprennent le charbon, le pétrole, et le gaz naturel, fournissent environ 80% de l'énergie mondiale et les énergies renouvelables couvrent seulement 20 % de la consommation mondiale d'électricité. A ce rythme, les réserves en énergies fossiles ne pourront assurer les besoins que pour quelques décennies encore car une consommation excessive des ressources naturelles réduit les réserves de façon dangereuse pour les générations futures [1].

Si les énergies fossiles ont été la source d'énergie dominante, leurs impacts environnementaux néfastes et leur caractère non renouvelable incitent à une transition vers des sources d'énergie renouvelables plus durables. Ces dernières offrent une solution prometteuse pour répondre aux besoins énergétiques croissants tout en préservant l'environnement pour les générations futures [1,2].

Le gouvernement algérienne vise à atteindre 35% d'électricité renouvelable d'ici 2030 et 50% d'ici 2040 et de se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir du solaire photovoltaïque [3].

L'électrification des fermes agricoles isolées en Algérie présente un ensemble de défis importants qui freinent son développement, pour surmonte ces obstacle l'agrivoltaïsme présente une solution innovant dans ce domaine et à une agriculture plus résiliente.

L'objectif de ce travail, est de déterminer la taille optimale d'un système photovoltaïque et du stockage par batterie nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques spécifiques de la ferme agricole isolée avec batterie située à la willaya de Tizi-Ouzou commune Ain el hammam en utilisant le logiciel «*PV_{SYST}* » pour mener une étude approfondie et garantir que système conçu et rentable.

Pour atteindre notre objectif nous avons opté pour le plan de travail suivant :

Chapitre I: Généralités sur l'énergie renouvelable et les systèmes hybride de génération d'énergie.

Chapitre II : Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée.

Chapitre III : Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée.

Enfin, Nous clôturons par les principaux résultats avec une conclusion générale.

Chapitre I:

**GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET
LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION
D'ÉNERGIE**

I .1.Introduction

Les énergies non renouvelables restent encore majoritaires dans le mix électrique mondial malgré que les énergies renouvelables connaissent une croissance soutenue.

Cependant, ces dernières présentent un inconvénient commun par leur caractère aléatoire et la dépendance des conditions météorologiques et climatiques qui changent avec le temps.

Pour cela les systèmes hybrides combinés entre plusieurs formes d'énergie font l'axe principal de plusieurs travaux de recherches pour les sites éloignés du réseau électrique.

I.2. Les ressources énergétiques primaires dans le monde

I.2.1 Différentes natures de ressources énergétiques primaires

Les ressources énergétiques de la planète, appelées énergies primaire, peuvent se classer en deux catégories selon leur temps de formation :

Les Combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) ainsi que les matières fissiles radioactives (uranium/plutonium) constituent les principales ressources énergétiques primaires (sous forme d'énergies chimique) non renouvelables ; tandis que l'énergie du rayonnement solaire (chaleur et lumière), énergies éoliennes (énergies du vent), énergie de l'eau ou marines (hydrauliques, houles, courants marins), et l'énergie de biomasse sont les principales ressources énergétiques renouvelables [4].

I.2.2 Les ressources énergétiques primaires non-renouvelables

Les énergies non-renouvelables sont issues de matières premières finies. Ces matières premières seront tôt ou tard épuisées, car elles ne peuvent pas se renouveler dans des délais appréhendables à l'échelle humaine. Parmi ces sources on trouve quatre énergies fossiles :

- Le pétrole
- Le charbon
- Le gaz naturel
- Le nucléaire

I.3.Les ressources énergétiques renouvelables primaires

Les énergies primaires renouvelables sont des énergies provenant de sources naturelles qui se renouvellent à un rythme supérieur à celui de leur consommation. La lumière du soleil et le vent, par exemple, constituent de telles sources qui se renouvellent constamment. Les sources d'énergie renouvelables sont abondantes et sont présentes partout autour de nous. [6]. Et il existe plusieurs types d'énergies renouvelables :

- L'hydraulique

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

- L'éolien
- La biomasse
- L'énergie solaire thermique
- L'énergie solaire photovoltaïque
- L'énergie marine
- La géothermie

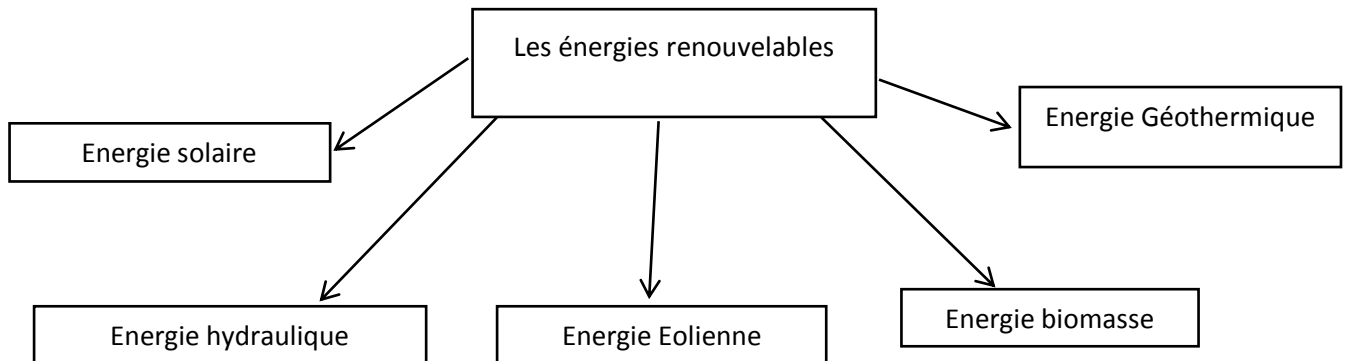


Figure I.1 Les énergies renouvelables

I.4. Les ressources énergétiques primaires en Algérie

L'Algérie dispose de richesses naturelles considérables et diversifiées, notamment en hydrocarbures, où elle occupe la 16ème place en matière de réserves de pétrole, la 16ème place en matière de production (2019) et la 11ème place en matière d'exportation (2019) et au troisième rang en Afrique avec 9,2 milliards de barils de pétrole et des réserves prouvées de 0,9 % du total mondial [7].

Concernant le gaz, l'Algérie occupe la 10ème place dans le monde en matière de ressources prouvées (2020), la 10ème place en matière de production (2020) et la 7ème place en matière d'exportation avec plus de 4 500 milliards de m³ [7].

L'Algérie est le troisième fournisseur de l'Union Européenne en gaz naturel et son quatrième fournisseur énergétique total. Outre ces deux richesses, elle recèle dans son sous-sol de grands gisements de phosphate, de zinc, de fer, d'or, d'uranium, de tungstène...etc. Par ailleurs, l'Algérie est aussi bien dotée de ressources naturels renouvelables, elle figure parmi les pays les mieux dotés en ressources solaires au monde [7].

I.5. Les modes de productions d'électricité en Algérie

On a deux modes de productions d'électricité

I.5.1. Production d'électricité à partir de sources primaires non-renouvelables

Chapitre I : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

En Algérie, les centrales thermiques jouent un rôle important dans la production d'électricité, complétant les autres sources d'énergie telles que l'hydroélectricité et les énergies renouvelables. Voici une présentation des principales centrales thermiques en Algérie, notamment les centrales à flamme (turbine à gaz et cycle combiné) (figure I. 2) :

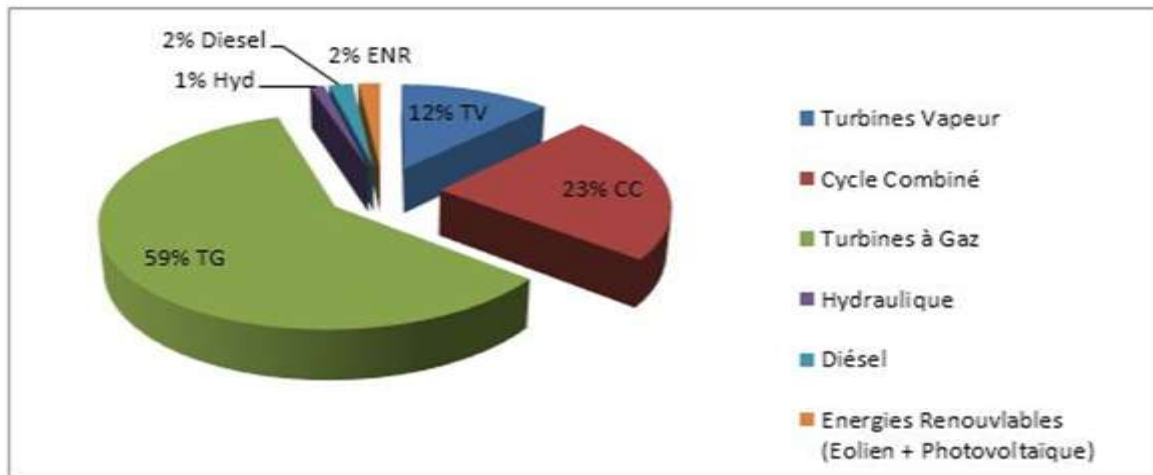


Figure I. 2 : Puissance installée par type d'équipement à fin 2017 [8]

I.5. 1.a. Les centrales thermiques

Une centrale thermique à Cycle Combiné Gaz (CCG) produit de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de gaz naturel. Ce type de centrale combine deux types de turbine : une turbine à combustion et une turbine à vapeur reliées à un alternateur. Avec le même volume de combustible, ces deux turbines permettent de produire une quantité plus importante d'électricité.

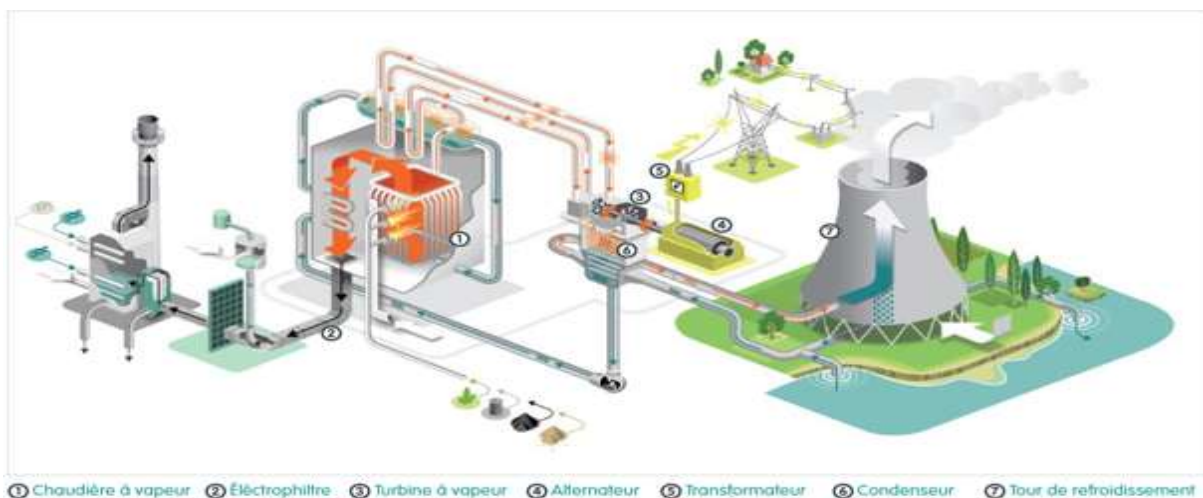


Figure I. 3 : Centrales thermique à vapeur [9]

Grâce à l'utilisation du gaz naturel comme combustible, les émissions de CO₂ sont divisées par deux par rapport à une centrale au charbon. Flexible et réactive, une centrale à cycle combiné a un rendement supérieur à celui des centrales thermiques classiques. Capable de

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

monter à pleine puissance en moins d'une heure, elle répond aux fortes variations de consommation, notamment pendant les jours de grand froid [10].

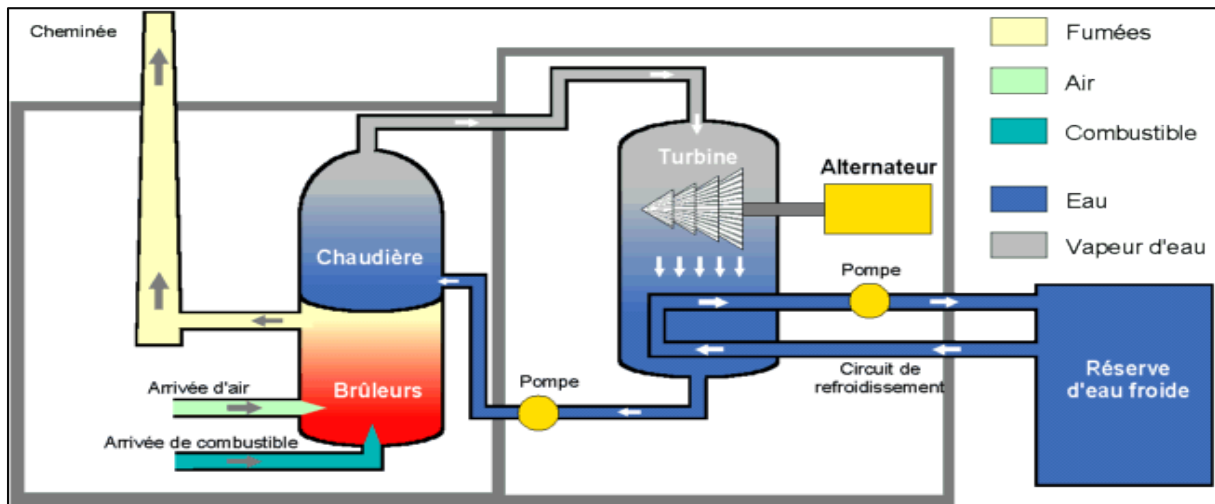


Figure I. 4 : Centrale thermique a flamme [2]

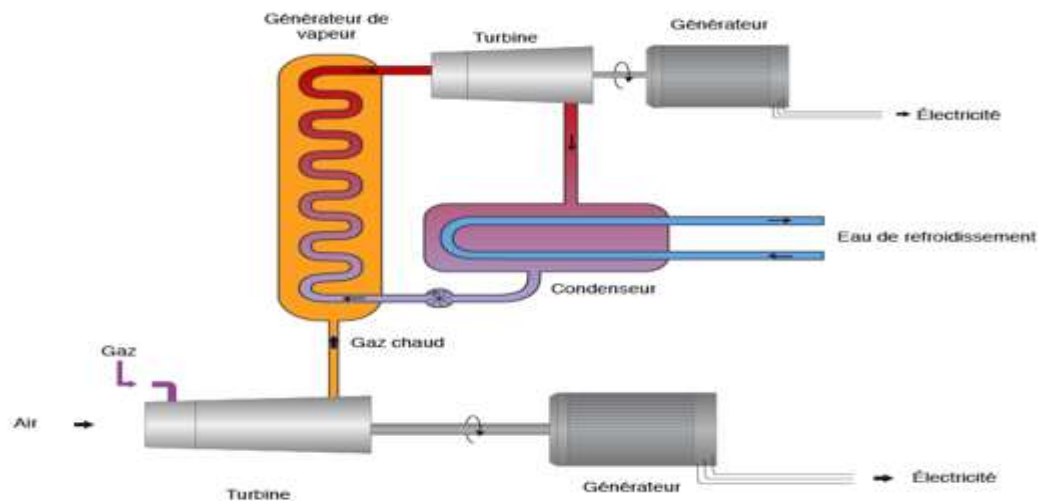


Figure I. 5: Centrale thermique a gaz a cycle combiné [11]

I.5. 1.b. Les centrales nucléaires :

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité, comprenant un ou plusieurs réacteurs nucléaires. La puissance électrique d'une centrale varie de quelques mégawatts à plusieurs milliers de mégawatts en fonction du nombre et du type de réacteur en service sur le site.

Le réacteur nucléaire d'AïnOussara également nommé Essalam est un réacteur nucléaire de recherche algérien, destiné à la production de produits radio pharmaceutiques, à l'analyse par activation neutronique, à l'exploration de la matière et à la formation. Il peut délivrer

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

une puissance de 15 mégawatts¹. Il fut construit en coopération avec la Chine dans la région d'AïnOussara, à 200 km au sud d'Alger. Il est en service depuis 1993 [12].

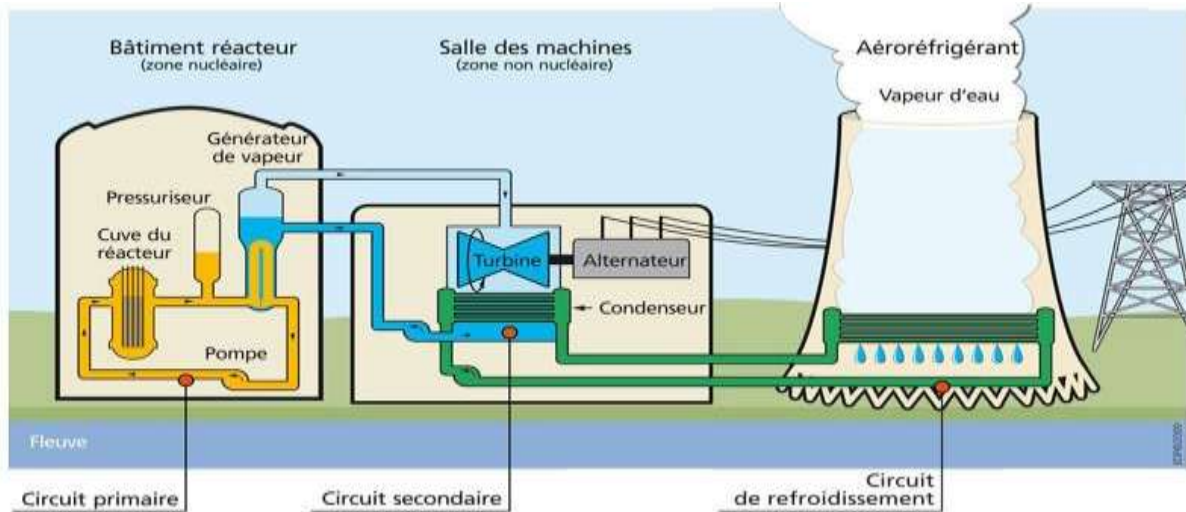


Figure I. 6: Schéma simplifié d'une centrale nucléaire [13]

Le fonctionnement de cette centrale est basé sur la fission des atomes d'uranium produit de la chaleur, chaleur qui transforme alors de l'eau en vapeur et met en mouvement une turbine reliée à un alternateur qui produit de l'électricité.

I.5. 2. Production d'électricité à partir de sources primaires renouvelables

I.5. 2.a. Les centrales hydrauliques

L'utilisation de l'eau pour la production de l'énergie électrique reste limitée en Algérie vu sa richesse actuelle en hydrocarbure. Parmi les vingt-trois centrales hydroélectriques qu'elle possède, certaines ont été déclassées d'autres arrêtées en plus de celles qui nécessitent un renouvellement de matériel. Le seul aménagement qui fonctionne de façon continue et régulière est celui de Darguina [14].

I.5. 2.b. Les centrales solaires

L'appel d'offres a été lancé par Sonelgaz-Energies Renouvelables (Sonelgaz-EnR). Inscrit sous le N°01/CEEG/2023, il a été publié par la société d'édition et de publicité BAOSEM, lundi 27 février 2023.

Les 15 centrales solaires seront implantées dans 11 wilayas allant de 80 MW à 220 MW, selon l'appel d'offres consulté par Algérie-Eco. Ainsi, dans la wilaya de Béchar, deux centrales solaires de 80 MW et 120 MW seront réalisées respectivement à Abadla et Kendsa. A M'sila, une centrale de 220 MW sera réalisée à Batmete. A Bordj Bou Arreridj et Batna, deux centrales solaires photovoltaïques de 80 MW seront implantées dans les localités de Ras El Oued et Merouana [15].

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

Dans la wilaya de Laghouat, une centrale de 200 MW sera réalisée à Aflou. A Ghardaïa et Tiaret, deux centrales de 80 MW seront installées à Guerara et Frenda. A El Oued, deux stations de 200 MW et 80 MW seront réalisées respectivement à Nakhla et Taleb Larbi.

Une centrale solaire de 220 MW sera réalisée à Touggourt. Une autre de 120 MW sera réalisée à M'Ghaier [15]. Enfin, dans la wilaya de Biskra, trois centrales solaires de 200 MW, 80 MW et 150 MW seront réalisées respectivement à Leghrous, Tolga et Khenguet Sidi Nadji.

L'Algérie s'est fixé des objectifs ambitieux pour développer massivement l'énergie solaire, avec une capacité cible de 22 000 MW à l'horizon 2035, soit un taux de pénétration solaire très élevé dans le mix électrique du pays.

I.5. 2.c. Centrales géothermiques

L'Algérie dispose d'un potentiel géothermique non négligeable de type basse énergie. Ce type de ressources est principalement situé au Nord et au Sahara, avec plus de 200 principales sources thermales situées au nord. La température de l'eau varie entre 22 et 98 [°C]. Cette source d'énergie peut être utilisée pour la production d'électricité [16].

I.5. 2.d. Centrale éolienne

L'Algérie dispose d'une seule centrale éolienne, située à Kabertène dans la wilaya d'Adrar. Voici les principales caractéristiques de cette centrale :

- La centrale éolienne de Kabertène produit 10 MW d'électricité renouvelable, intégrée au réseau électrique national.
- Mise en service en 2014, c'est la première et unique ferme éolienne du pays à ce jour.
- La centrale utilise des éoliennes de grande hauteur, ce qui permet de protéger les équipements contre le vandalisme et le vol, tout en préservant l'environnement.
- La région d'Adrar est particulièrement propice à l'éolien grâce à la fréquence des vents, faisant d'elle un pôle national pour ce type d'énergie renouvelable.
- La centrale de Kabertène est considérée comme un modèle réussi d'exploitation de l'énergie éolienne, capable de produire autant qu'une centrale solaire de 5 MW.
- Malgré cet exemple, le développement de l'éolien en Algérie est resté limité jusqu'à présent, avec seulement 10,2 MW installés au total en 2017, contre 344,1 MW pour le solaire [17].

I.6. Les modes de stockage de l'électricité

L'intermittence des énergies renouvelable et la nécessité d'accroître leurs pénétration dans les mix-énergétique n'est envisageable qu'à travers l'utilisation du stockage d'énergie.

Stocker des énergies renouvelables est un véritable défi technico-économique car ces énergies sont, par nature, intermittentes et difficilement prévisible. Les solutions de stockage d'énergie se divisent en quatre catégories :

- mécanique (barrage hydroélectrique, Station de transfert d'énergie par pompage - STEP, stockage d'énergie par air comprimé – CAES, volants d'inertie),
- électrochimique (piles, batteries, vecteur hydrogène),
- électromagnétique (bobines supraconductrices, super capacités),
- thermique (chaleur latente ou sensible) [18].

Ce Tableau regroupe les principales techniques de stockage d'énergie :

Mode de stockage	Technologies		Rendement(%)	Densité énergétiques	Capacité de stockage
Electrochimique	Hydrogène liquide		50	2.33KWh/l	100 MWh à 1000 GWh
	Hydrogène comprimé		60	300 à 600Wh/kg	
	Electrolyse/H2/FC		30 à 50	-	
	Batterie à circulation		70	33KWh/m ³	10 à 1000 MWh
	Batterie		70 à 90	33KWh/t à 100KWh/t	0.1 à 100 MWh
Mécanique	Pompage d'eau		80	1KWh/m ³	0.1 à 100 GWh
	Compression d'air	Caverne	60	12KWh/m ³	0.1 à 10 GWh
		Bouteille	80	8Wh/kg	1 à 100 KWh
	Volant d'inertie		80 à 90	1 à 5Wh/kg	1 à 100 KWh
	Vapeur d'eau		60	200 KWh/m ³	1 à 100 GWh
Thermique	Super conducteur		90 à 95	10 à 60 Wh/m ³	1 à 100 KWh
Electrique	Super condensateur		90 à 95	1 à 5 Wh/kg	1 à 10 KWh

Tableau I. 1: Différents types de stockage d'énergie

I.7. Définition de système d'énergie électrique multi-source et hybride

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les panneaux photovoltaïques, les cellules à combustible, les générateurs éoliens, les batteries de stockage, les groupes électrogènes, etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau. Il existe plusieurs configurations de ces systèmes : PV/thermique, PV/batterie, PV/cellules à combustible, PV/éolienne/batterie, PV/éolienne, PV/groupe électrogène. Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation [19].

Les systèmes hybrides dits "isolés" fonctionnent en autonomie par rapport aux réseaux de distribution électrique. L'objectif principal d'un système hybride est de répondre à la demande de la charge en favorisant l'énergie produite par les sources renouvelables par rapport à celle fournie par les sources auxiliaires conventionnelles comme le groupe Diesel, (Turbine à cycle combiné), (Turbine à vapeur) [6].

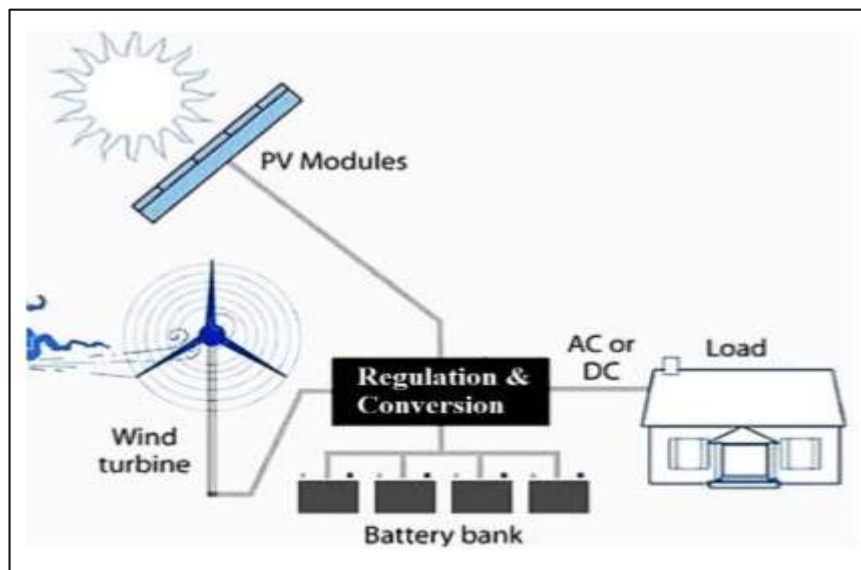


Figure I.7: Schéma d'un système intégré d'énergie renouvelable [20]

I.8. Le mix énergétique de production d'électricité en Algérie

Selon le rapport du plan de relance économique 2020-2024, élaboré par le Gouvernement, le gaz naturel est la principale source d'énergie en Algérie avec un taux 65% du mix énergétique, tandis que le pétrole ne représente 35%. Cette énergie (le gaz naturel) est la principale source de production d'électricité avec un taux de 99%, s'ajoute à cela sa forte utilisation dans les activités industrielles. De ce fait, la consommation nationale augmente fortement sous l'influence de la croissance démographique alors que la production stagne.

L'Algérie dispose d'un important gisement solaire, considéré comme l'un des plus importants au monde, avec une durée d'insolation de 2500 à 3600 H/an [21].

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

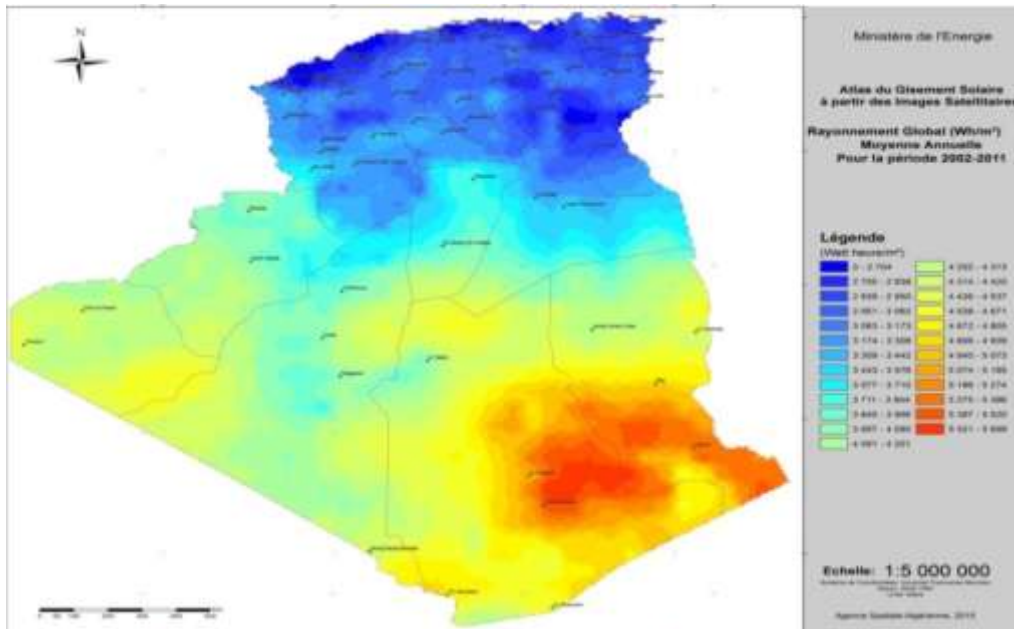


Figure I.8 : Carte de l'ensoleillement en Algérie [21]

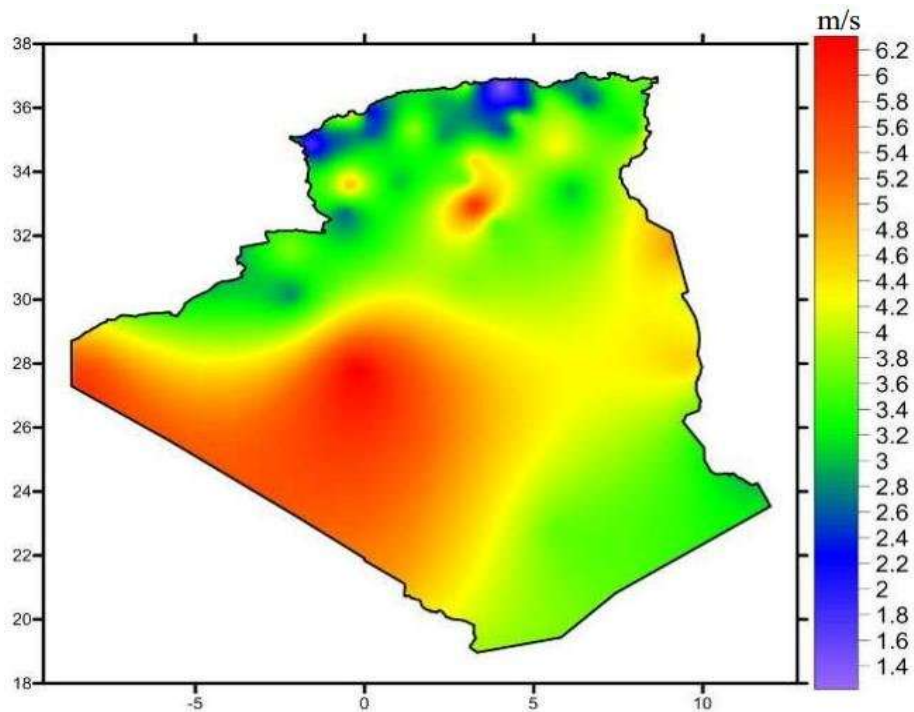


Figure I.9 : Carte du vent en Algérie [21]

I.9. Les différentes combinaisons de système hybride

Il existe plusieurs combinaisons:

- Photovoltaïque-groupe électrogène.
- Eolien-diesel.

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

- Eolienne-photovoltaïque-diesel.
- Photovoltaïque-éolien, stockage à batteries.
- Photovoltaïque -éolien, stockage à hydrogène.

I.9.1. Architecture série

I.9.1.1. Configuration à bus à courant continu

Dans le cas d'une architecture série, toutes les sources sont connectées à un même bus à courant continu (DC) comme l'indique la figure (I.10). Pour cette architecture, les tensions délivrées par les modules à courant alternatif (générateur éolien et groupe Diesel) sont redressées en tension continue grâce à des convertisseurs AC/DC. La charge est alors alimentée par un onduleur (convertisseur DC/AC).

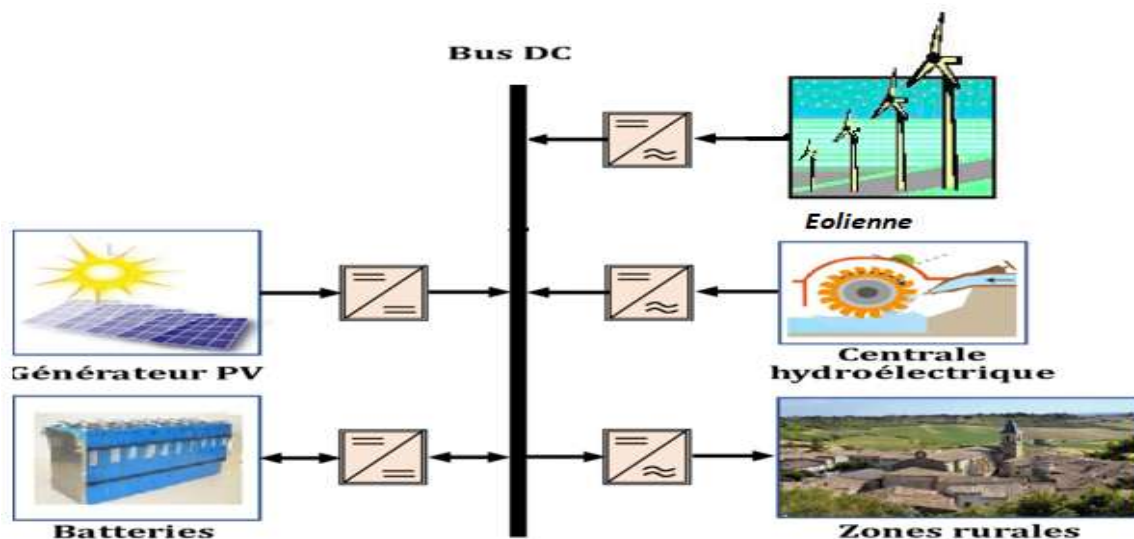


Figure I.10: Configuration d'un système hybride à bus DC

I.9.1.2. Configuration à bus à courant alternatif

L'architecture à bus à courant alternatif (AC) s'est développée grâce à l'émergence de l'électronique de puissance et de l'apparition des onduleurs plus performants. Cette architecture dispose d'un seul bus AC sur lequel sont connectés tous les modules du système hybride (figure I.11).

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

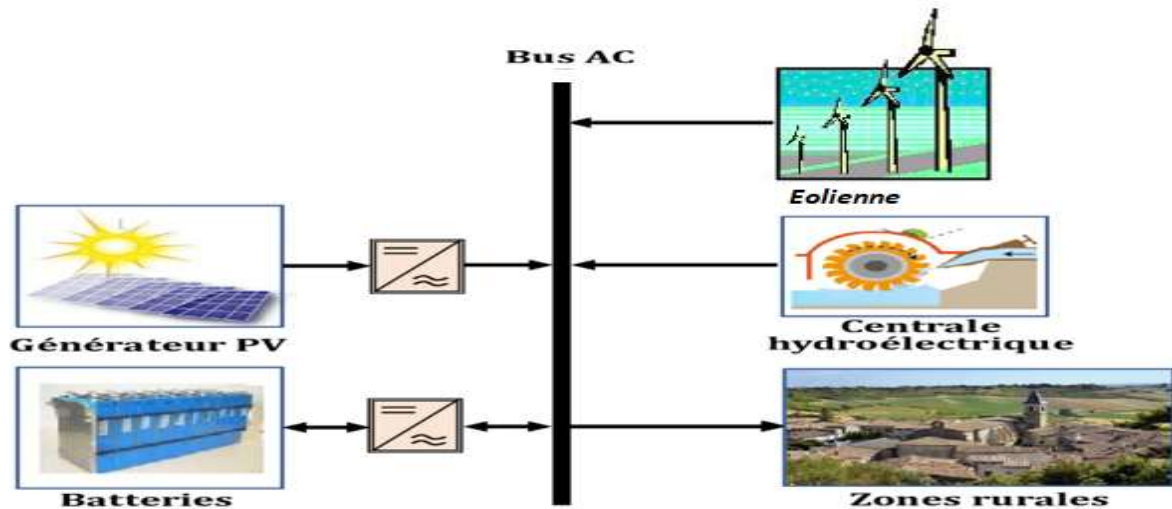


Figure I.11 : Configuration d'un système hybride à bus AC

I.9.2. Architecture parallèle

La configuration parallèle Figure I.12 utilise deux bus sont utilisés, un bus de courant alternatif auquel sont connectés des éoliennes et un générateur diesel et la charge, et un bus DC où sont connectées des sources DC telles que des batteries et /ou des panneaux solaires. Les deux bus sont également reliés à l'aide d'un convertisseur bidirectionnel.

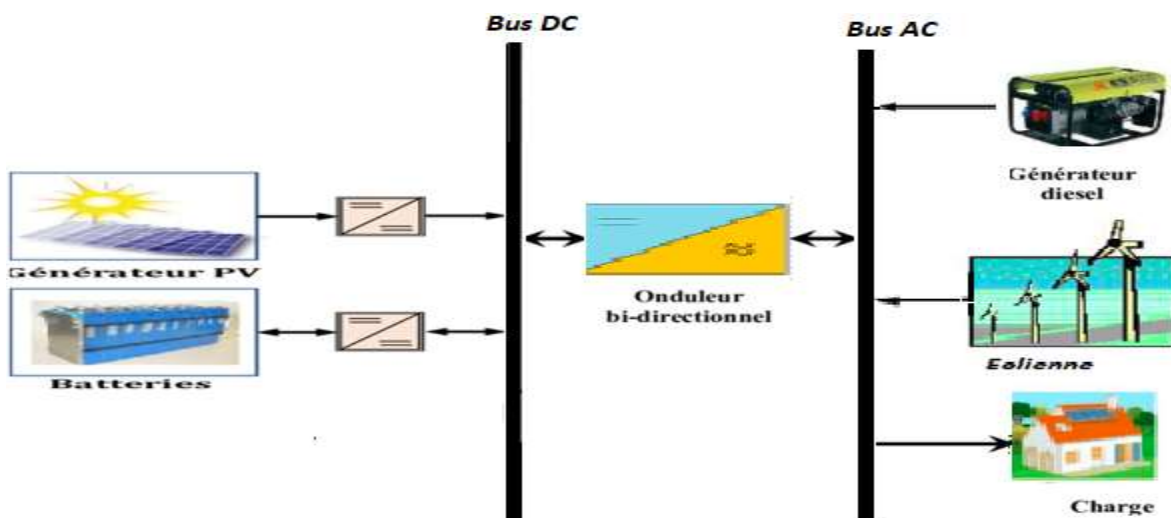


Figure I.12: Configuration d'un système hybride à connexion parallèle

I.10. Les principaux composants d'un système hybride

- Le générateur photovoltaïque
- Le générateur éolien
- Les sources conventionnelles
- Les batteries de stockage
- Système de supervision

- Les convertisseurs

I.11. Les avantages de l'architecture série et parallèle

I.11.1. Architecture série

- L'alimentation de la charge peut être optimisée en utilisant les différentes sources d'énergie de manière complémentaire.
- Le rendement du générateur diesel peut être augmenté en le faisant fonctionner dans sa plage de rendement optimal.
- Le besoin d'un convertisseur de puissance est réduit, ce qui diminue les coûts.

I.11.2. Architecture parallèle

- Les différentes sources d'énergie (solaire, diesel, etc.) peuvent fonctionner indépendamment, ce qui offre plus de flexibilité et de fiabilité.
- Les sources d'énergie peuvent être ajoutées ou retirées du système plus facilement.
- Le système est plus modulaire et évolutif, permettant une meilleure adaptation aux besoins futurs

I.12. Classification des systèmes hybrides

Le champ d'application des systèmes hybrides est trop vaste à cause des multiples structures, on peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance selon le tableau suivant [22].

Puissance du SH en KW	Application
faible < 5	Système autonome : station de télécommunication, pompage de l'eau autre application isolées
Moyenne entre 10 et 250	Micro réseaux isolés : alimentation d'un village isolé, des zones rurales.....
Grande > 500	Grand réseaux isolés

Tableau_I.2: Classification des SH par gamme de puissance

I.13. L'électrification rurale

L'électrification rurale est un processus visant à fournir de l'énergie électrique aux populations de régions rurales et/ou éloignées, et les technologies utilisées pour améliorer la qualité de distribution électrique on trouve [23] :

- Le réseau électrique
- Les générateurs diesel
- Le solaire photovoltaïque
- La biomasse
- Le petit éolien
- La micro-hydroélectricité

I.14.L'électrification individuelle

L'électrification individuelle d'une ferme isolée fait référence à la mise en place d'un système autonome de production et de distribution d'électricité destiné à fournir de l'énergie à une ferme située dans une zone éloignée, non desservie par le réseau électrique public. Cette solution vise à répondre aux besoins énergétiques de la ferme en utilisant des sources d'énergie locales, souvent renouvelables, pour assurer une alimentation électrique fiable et durable [24].

I.15.Composants clés de l'électrification individuelle d'une ferme isolée

I.15.1.Sources d'énergie renouvelable

- **Panneaux solaires photovoltaïques (PV)** : Capturent la lumière du soleil et la convertissent en électricité.
- **Éoliennes** : Utilisent la force du vent pour produire de l'électricité.
- **Systèmes de biomasse** : Génèrent de l'électricité à partir de matières organiques disponibles localement (bois, déchets agricoles).
- **Énergie hydraulique** (si une source d'eau est disponible) : Utilisent la force de l'eau en mouvement pour produire de l'électricité.

I.15.2.Systèmes de stockage de l'énergie

- **Batteries** : Stockent l'électricité produite pour une utilisation ultérieure, garantissant une alimentation continue même en l'absence de production instantanée (par exemple, la nuit pour les panneaux solaires).
- **Stockage step** : C'est une méthode de stockage d'énergie électrique utilisée pour gérer l'intermittence des sources d'énergie renouvelable, comme l'éolien et le solaire, et pour équilibrer la production et la consommation d'électricité sur un réseau.

I.15.3.Systèmes de gestion de l'énergie

- **Régulateur de charge** : Protège les batteries contre les surcharges et les décharges profondes, optimisant leur durée de vie.

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

- **Onduleur** : Convertit le courant continu (DC) produit par les panneaux solaires ou stocké dans les batteries en courant alternatif (AC) utilisé par les appareils électriques de la ferme.
- **Contrôleur de gestion de l'énergie** : Supervise la distribution de l'électricité entre les sources de production, le stockage et les points de consommation pour assurer une gestion efficace de l'énergie.

I.15.4. Infrastructure de distribution

- **Câblage et panneaux de distribution** : Assurent une distribution sûre et efficace de l'électricité à travers la ferme [24], en protégeant contre les surcharges et les courts-circuits.

I.16. L'électrification d'une ferme agricole

L'électrification d'une ferme agricole a été un processus crucial dans l'histoire de l'agriculture, offrant de multiples avantages et opportunités. Dès le début de l'utilisation de l'électricité dans les exploitations agricoles, de nombreuses applications ont été explorées, telles que le labourage électrique, l'électro culture pour lutter contre les intempéries, la vinification, la purification de l'huile, la stérilisation du lait, et l'utilisation de moteurs électriques pour transformer la plupart des travaux agricoles. [25,26]

Au fil du temps, l'électrification rurale a été un enjeu majeur, avec des études soulignant l'interdépendance entre l'électricité et l'agriculture. La modernisation agricole a été entravée par la faible diffusion de l'électricité en milieu rural, créant un cercle vicieux où le retard de l'électrification rurale était lié à la faible consommation des agriculteurs, qui à leur tour n'investissaient pas dans la modernisation de leurs fermes en raison du manque d'électricité [27].

De nos jours, l'électrification du marché agricole en Europe est en plein essor, avec une transition technologique vers des outils plus écologiques, des politiques publiques axées sur la réduction des émissions toxiques, et une demande croissante pour des équipements agricoles plus verts, faciles à entretenir et économiques. Les producteurs d'équipements agricoles investissent massivement dans l'électrification pour répondre à ces besoins, mettant en avant la durabilité, l'efficacité et les avantages économiques de cette transition. [27].

I.17. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons donné une présentation détaillée des différentes sources d'énergies renouvelables existantes. Dans la seconde partie nous avons étalé la définition et les architectures des systèmes hybrides de génération de l'énergie électrique, où nous avons constaté les avantages de ces dernières et ces principaux composants.

I.19. Bibliographies

- [1] Touahri Abderrezzak, " Estimation des de la production d'électricité des centrales photovoltaïques .Cas d'étude centrale PV Oued N'échoue Ghardaïa", Mémoire de magister, université kasdi Merbah de Ouargla2022.
- [2] «<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/jeunes-enseignants/pour-les-jeunes/lenergie-de-a-a-z/lelectricite-au-quotidien/quest-ce-que-lelectricite>», 02/03/2024
- [3] Mokhtari Meriem, "Etude et réalisation d'une installation photovoltaïque", Mémoire de magister, Université Badjimokhtar de Annaba 2021.
- [4] Djebbaril Abdellatif," La production d'électricité en Algérie : réalité et perspectives," Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra 28 juin 2022.
- [6] Rouas Rabah, "Etude d'un système hybride éolien-photovoltaïque", Thèse de doctorat , Université Mouloud Mammeri de Tzi-ouzou 2018.
- [7]«https://algeriainvest.com/storage/uploads/discover_algeria/documents/1627485689Resources%20Naturelles.pdf [29]»,16/03/2024
- [8] «<https://www.energy.gov.dz/?rubrique=electricite-et-gaz>», 16/03/2024
- [9] «<https://www.engie-green.fr/enr/fonctionnement-centrale-solaire>», 16/032024
- [10] «Connaissance des énergies», 03/03/2024
- [11] «<https://www.sirenergies.com/article/differents-types-centrales-thermiques>», 17/03/2024
- [12] «https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9acteur_nucl», 16/03/2024
- [13] Juan David Peña Carrillo," Étude expérimentale du transfert paroi/fluide dans le cas d'un écoulement vertical vapeur," Framatome Paris La Defense, France, 2018.
- [14] Wahiba Mokran et Ahmed kettab,"De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen," 9ième Assemblée Générale du Réseau Méditerranéen des Ecoles d'Ingénieurs et Congrès international, 2005.
- [15]«https://www.algerie-eco.com/2023/02/28/sonelgaz-appel-doffres-pour-15-centrales-solaires-dune-capacite-totale-de-2000-mw/#google_vignette », 17/03/2024
- [16] «<https://www.umc.edu.dz/images/84-DJEMAA.pdf>», 18/03/2024
- [17] «https://www.thewindpower.net/windfarm_fr_17053_kabertene.php»,18/03/2024
- [18] «<https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/le-stockage-deelectricite/les-differentes-technologies-stationnaires-de-stockage-de-lelectricite>», 18/03/2024
- [19] M. Chaabene, « Gestion énergétique des panneaux photovoltaïques », mémoire de magister, université de Sfax, 2008.
- [20] Zeineb Mousavi Karimi,"Modelling implementation and performance analysis of q hybrid windsolar power generator with battery storage," Université de combra, 2014.
- [21] S.M. Boudia," Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie," Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2013.
- [22]Baghdadi, F. « Modélisation et simulation des performances d'une installation hybride de conversion d'énergies renouvelables », Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011. 21/03/2024

Chapitre I: GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET LES SYSTÈMES HYBRIDES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGI

[23] Ludmil Stoyanov, " Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables. Energie électrique," Université Pascal Paoli, 2011.

[24] Marie-Josée Dorio, "Le processus d'électrification rurale du centre du Québec," Mémoire Présenté à l'université du Québec à trois-rivières, décembre 1997.

[25] Arnaud Berthonnet, " L'électrification rurale ou le développement de la « fée électricité » au cœur des campagnes françaises dans le premier xxe siècle," Association d'histoire des sociétés rurales, 2003.

[26]«https://algeriainvest.com/storage/uploads/discover_algeria/documents/1627485689Resources%20Naturelles.pdf »,22/03/2024

[27]«<https://www.premier-ministre.gov.dz/fr/post/transition-energetique-en-algerie-defis-et-perspectives> »,22/03/2024

Chapitre II:

**Modélisation du système d'électrification
d'une ferme agricole isolée**

II.1.Introduction

La modélisation est un moyen destiné à représenter par une forme mathématique un processus technologique. Elle a pour but d'étudier théoriquement le comportement de certains paramètres et de les optimiser en respectant une contrainte donnée.

Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture du système d'électrification de la ferme agricole isolée, puis la modélisation des principaux composants du système : générateur photovoltaïque, systèmes de stockage d'énergie (stockage avec batterie), un groupe électrogène de secours. La détermination de ces paramètres est nécessaire pour établir une relation directe entre l'énergie produite par le système et la demande de l'utilisation.

II.2.Architecture du système d'électrification de la ferme agricole isolée

Notre étude porte sur un système de production d'électricité destiné à assurer l'autonomie énergétique d'une ferme agricole isolée de taille moyenne, non raccordée au réseau. Le système considéré doit donc assurer la consommation électrique de la ferme à travers ses différentes charges : Domestique (éclairage, électroménager, télécommunication...), irrigation (Moteur et système de pompage), traitement des produits agricoles et d'élevage (conservation, chambre froide,...).

Nous avons vu précédemment qu'il était intéressant et parfois indispensable d'hybrider différents types de sources et de stockage. Les deux plus adaptés pour une ferme agricole isolée sont les panneaux photovoltaïques, qui peuvent être fixés sur le toit, et un groupe électrogène de secours. En effet, la production photovoltaïque suit toujours une parabole au cours de la journée pour ensuite s'annuler la nuit. Son amplitude va cependant varier selon les conditions météorologiques, et selon les saisons. Elle peut également être extrêmement variable à court terme les jours où nuages et éclaircies s'alternent.

Par ailleurs, les pics de production correspondent rarement aux pics de consommation. Il est donc nécessaire d'intégrer au système de puissance des unités de stockage pour servir de "tampon" entre la production et la demande. Les technologies actuelles nous amènent à proposer pour le stockage principal un banc de batteries Lithium-Ion. Ainsi, les batteries peuvent absorber de grandes quantités d'énergie avec des dynamiques lentes, mais ne peuvent absorber les dynamiques rapides qu'en subissant de forts courants [1].

Finalement, afin de remplir les objectifs d'autonomie énergétique, notre système d'étude, schématisé en figure II .1, est constitué :

- Banc de panneaux photovoltaïques.
- Système de stockage.
- Un groupe électrogène de secours.
- Régulateur de charge Maximum power point tracking (MPPT).
- Diverses charges AC.
- Commutateur de transfert automatique(ATS).
- Un coupleur séparateur bidirectionnel.

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

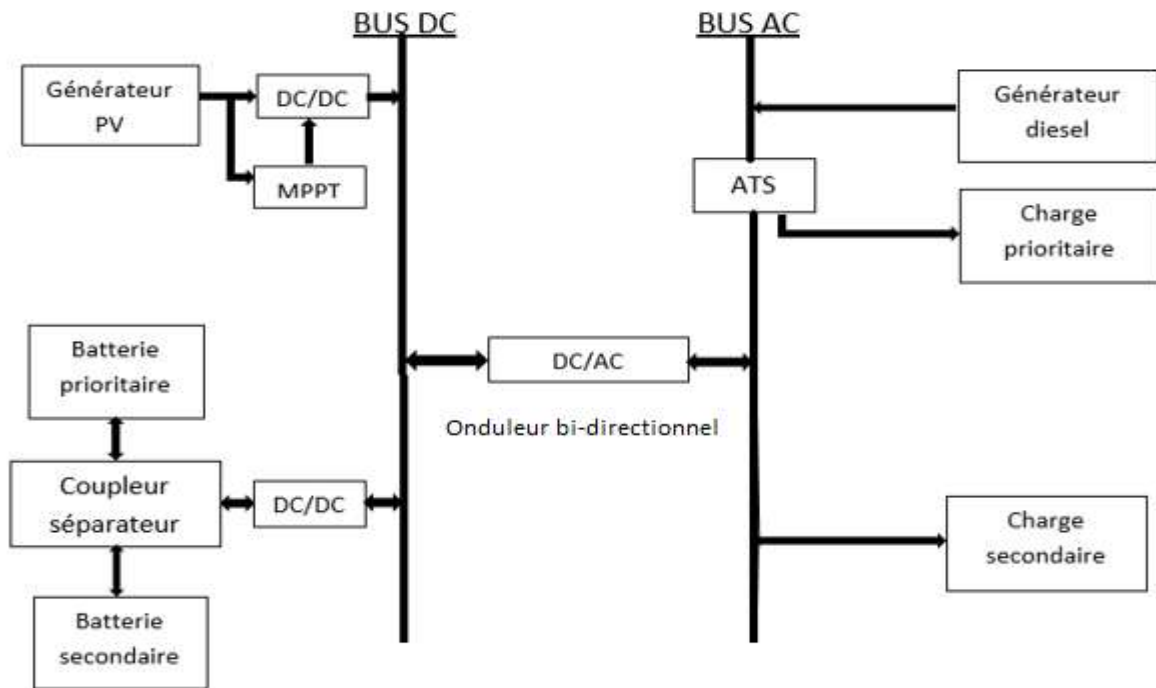


Figure II.1: Architecture d'un système hybride à connexion parallèle

L'architecture d'une ferme agricole isolée avec batterie à connexion parallèle désigne la conception et l'organisation des différents composants essentiels. Ces composants comprennent: un bus DC où sont connectées les sources à courant continu tel que les batteries, panneaux PV et un Régulateur de charge (MPPT) qui protège les batteries contre les surcharges et les décharges profondes. Il surveille la tension et le courant provenant des panneaux solaires, régulant le flux d'électricité vers les batteries en fonction de leur état de charge, et un bus AC sur lequel seront connectés, le groupe électrogène de secours et les charges (ferme agricole). Le transfert de puissance électrique entre le bus DC et AC est réalisé à l'aide d'un convertisseur onduleur bidirectionnel.

Les différentes modes de fonctionnement du convertisseur bidirectionnel sont les suivantes :

- Mode 1 :

Le convertisseur bidirectionnel travaille en mode onduleur lorsque la puissance demandée par les charges (prioritaire et secondaire) est inférieure à la puissance délivrée par les panneaux, et les batteries se chargent à travers l'énergie excédentaire délivrée par ce dernier, si les batteries prioritaire atteignent une charge suffisante le coupleur séparateur active un relais cela permet de recharger les batteries secondaires et les déconnecte automatiquement de manière à pouvoir protéger les batteries prioritaire si leur niveau de charge devient trop bas, le groupe électrogène reste en mode veille, prêt à démarrer en cas de défaillance du système.

- Mode 2 :

Le convertisseur bidirectionnel travaille en mode redresseur en cas de panne de notre système PV ou quand la puissance des batteries diminue jusqu'à ce qu'il cesse de

fournir de l'énergie, l'ATS détecte instantanément la panne. Il déclenche alors le démarrage automatique du groupe électrogène, laissant le temps nécessaire au moteur de se lancer et de se stabiliser. Une fois le groupe électrogène en marche et produisant une alimentation électrique stable, l'ATS basculant automatiquement les charges prioritaire du bus AC (système PV) vers le générateur diesel qui fournit une puissance suffisante pour compenser le déficit et maintenir les performances des charges prioritaire. De cette façon, les charges peuvent être alimentées par les deux bus simultanément.

L'objectif principal est de créer une installation agricole fonctionnelle, efficace et durable qui réponde aux besoins spécifiques de l'activité agricole et aux conditions environnementales locales.

II. 3. Le Générateur Photovoltaïque (GPV)

II.3.1. L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par Edmond Becquerel. Lors d'expériences sur des cellules humides, il a remarqué que la tension de la cellule augmentait lorsque ses plaques d'argent étaient exposées à la lumière du soleil. C'est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs le plus connu d'entre eux est le silicium. L'effet photovoltaïque est un processus qui génère une tension ou un courant électrique dans une cellule photovoltaïque lorsqu'elle est exposée à la lumière du soleil. Une cellule photovoltaïque est physiquement constituée d'une jonction PN faite généralement par le silicium traité, avec une épaisseur d'environ 0,3 mm et une surface de 100 à 225 cm². C'est cet effet qui rend les panneaux solaires utiles, car c'est ainsi que les cellules du panneau convertissent la lumière du soleil en énergie électrique [2].

La région de type P a un excès de trous, tandis que la région de type N présente un excès d'électrons. Les photons du soleil pénètrent dans la structure semi-conductrice, en posant leur énergie, ce qui provoque la création d'un pair électron-trou. Donc la lumière est capable d'apporter à un électron l'énergie suffisante pour qu'il quitte sa place quand, une paire électron-trou est créée par la lumière, les deux vont conduire le courant, la région d'émetteur supérieure est mince et fortement dopée ; la région de base, où la plupart de la lumière est absorbée, est légèrement dopée.

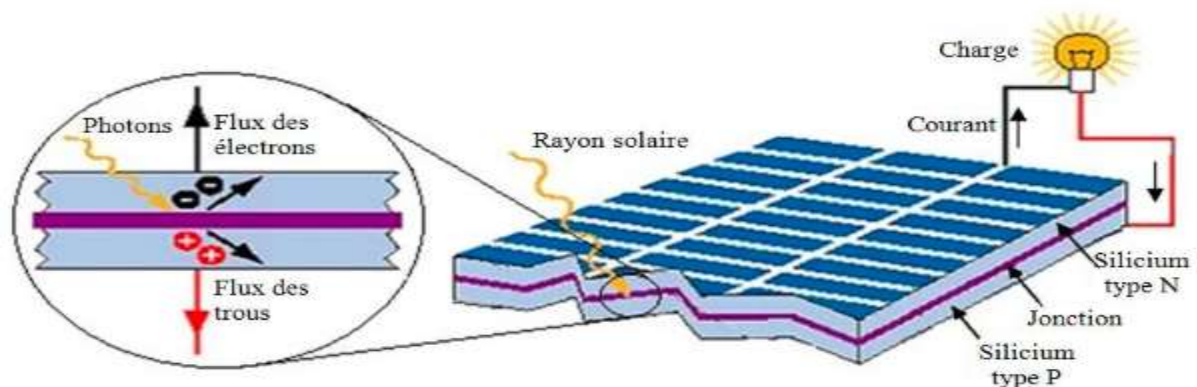


Figure II.2 : Principe de l'effet photovoltaïque [4]

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

La figure II.2 une cellule solaire idéale en silicium peut produire une tension entre 0.6 à 0,82 V en circuit ouvert. Et de 30 milliampères par centimètre carré. Afin d'augmenter le courant et tension, plusieurs cellules sont connectées en parallèle et en série, respectivement, pour créer un module PV. Plusieurs modules sont assemblés pour former un panneau solaire ; et de multiples panneaux sont combinés pour créer une mini-centrale ou une centrale solaire. Cette modularité permet une puissance de sortie PV adapté à la production d'énergie distribuée [3].

II. 3.2. Cellules photovoltaïques

Il existe différentes cellules qui se distinguent en fonction des technologies de silicium qu'elles utilisent (Figure II. 3):

- Cellule monocristalline: les cellules en silicium monocristallins ont constituées d'un seul cristal de silicium.
- Cellule poly-cristalline : les cellules en silicium poly-cristallin sont constituées de plusieurs cristaux de silicium.
- Cellule amorphe: les cellules en silicium amorphes ont réalisées avec du silicium amorphe, non cristallisé, étalé sur une plaque de verre.



(A) Cellule monocristalline (B) Cellule poly-cristalline (C) Cellule amorphe

Figure II.3 : Cellules photovoltaïques

II. 3.3. Paramètres d'une cellule photovoltaïque

Voici la description des paramètres d'un module [5].

- La puissance crête P_c : la puissance maximale produite par un module photovoltaïque dans les conditions standards : ensoleillement de 1000 W/m^2 à l'horizontale, température ambiante de 25°C , masse d'air optique (AM) égale à 1,5.
- La caractéristique $I(V)$: Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- Tension à vide V_{C0} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairage " plein soleil ".
- Courant de court-circuit I_{CC} : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairage " plein soleil ".
- Point de fonctionnement optimum (V_{mpp}, I_{mpp}) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil.
$$P_{max} = V_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad (II.1)$$

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

- Rendement maximal : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \times N_s} \quad (II.2)$$

- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale et la puissance maximale que peut avoir la cellule.

$$F_f = \frac{P_{max}}{V_{CO} \times I_{CC}} \quad (II.3)$$

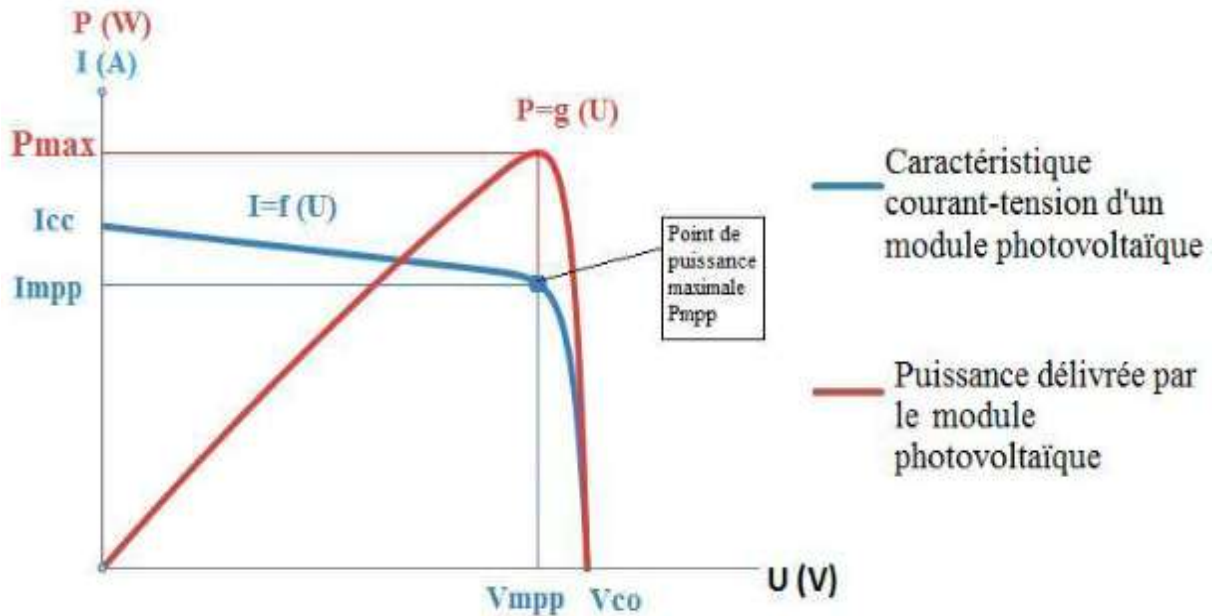


Figure II.4 : Caractéristique I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque [6]

III.4. Modélisation du générateur photovoltaïque

Les performances des modules photovoltaïques sont fortement influencées par les conditions météorologiques, notamment le rayonnement solaire et la température [7]. Le modèle mathématique d'un module PV prend pour entrées la température et le rayonnement solaire et produit les paramètres électriques (Courant I et Tension V) en sortie. Le modèle mathématique reproduit le fonctionnement électrique de la cellule PV à travers un schéma équivalent électrique.

Il existe différents modèles de circuits équivalents, tel que le modèle à une seule diode a trois ou cinq paramètres, le modèle à deux diodes a sept paramètres, et les modèles dynamiques à 6 ou huit paramètres [8].

Le modèle à une diode et cinq paramètres, est le plus classique et le plus utilisé. Ce modèle fait intervenir une source de courant qui génère un courant photonique I_{ph} proportionnel à l'éclairement, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule traversée par le courant I_d , complété par une résistance série R_s et une autre parallèle R_{sh} pour les pertes. Comme montrée dans la figure II.5.

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

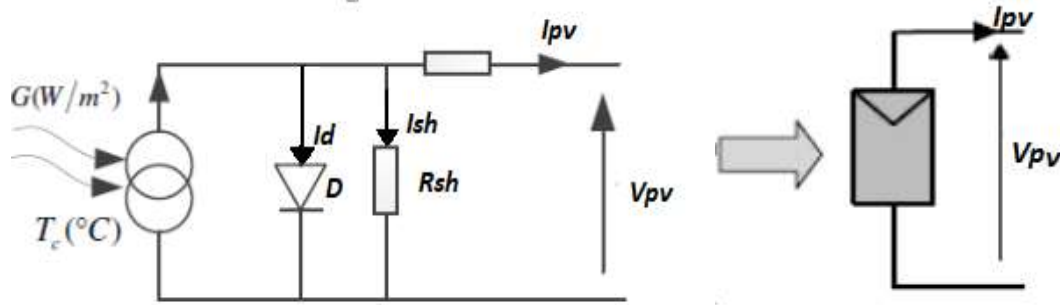


Figure II.5 : Circuit équivalent d'un modèle à une seule diode [10]

En appliquant la loi de Kirchhoff sur le circuit électrique dans la Figure II.5, on obtient l'équation suivante [8] :

$$I = I_{ph} - \underbrace{I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{aKt_c} \right) \right]}_{I_d} - \underbrace{\frac{V+IR_s}{R_{sh}}}_{I_{sh}} \quad (II.4)$$

Dans laquelle :

- I_{ph} : est le courant photonique ;
- I_0 : est le courant de saturation inverse de la diode ;
- A : est le facteur d'idéalité de la diode ;
- R_s : est la résistance série de la cellule ;
- R_{sh} : est la résistance parallèle (ou shunt) de la cellule ;
- K : est le constant de Boltzmann $1,380649 \times 10^{-23}$ (J/K) ;
- q : est la charge électrique d'électrons $-1,602 \times 10^{-19}$ C ;
- T_c : est la température de cellule PV

Ces paramètres doivent être déterminés avec précision pour la modélisation d'une source photovoltaïque. Souvent, ces paramètres sont calculés en utilisant la fiche technique fournie par le fabricant. Cependant, quelques chercheurs négligent des paramètres tels que la résistance shunt pour des raisons de simplification du modèle [8].

La Figure II.6 présente un modèle à double diodes.

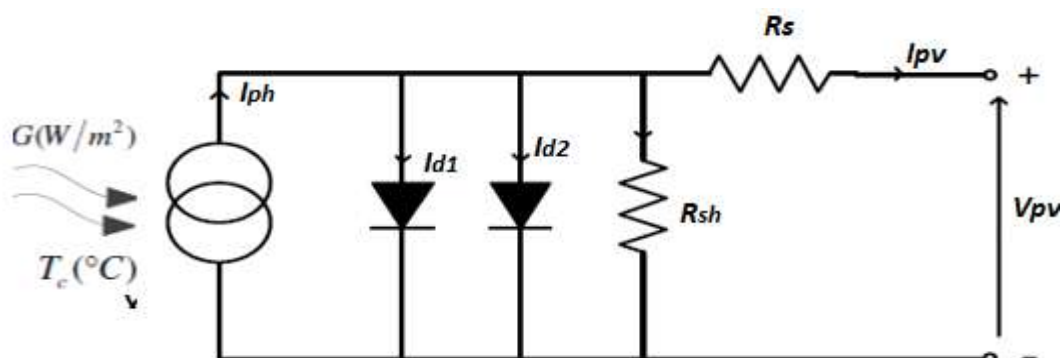


Figure II.6: Circuit équivalent d'un modèle à deux diodes [10]

Dans ce modèle, une diode supplémentaire est connectée en parallèle avec la source de courant, cette diode est ajoutée pour évaluer la différence de courant due à la recombinaison de charges dans la région de déplétion des semi-conducteurs [8]. Ce circuit donne des résultats plus précis dans la simulation des caractéristiques courant-tension (I-V) en comparaison avec le circuit à une seule diode [9]. En appliquant la loi de Kirchhoff sur le circuit électrique dans la Figure II.6.

On obtient l'équation mathématique de ce modèle [7] :

$$I = I_{ph} - \underbrace{I_{o1} \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{a_1KT}\right) - 1 \right]}_{I_{d1}} - \underbrace{I_{o2} \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{a_2KT}\right) - 1 \right]}_{I_{d2}} - \underbrace{\frac{V+IR_s}{R_{sh}}}_{I_{sh}} \quad (II.5)$$

En plus des paramètres du modèle à une seule diode, le courant de saturation inverse (I_{o2}) et le facteur d'idéalité de la diode (a_2) sont les paramètres supplémentaires qui doivent être calculés pour le modèle à deux diodes.

Généralement, en pratique un générateur photovoltaïque est composé de (N_s) modules PV connectés en série et de (N_p) chaînes parallèle

III.5.Caractéristiques du module photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques (PV) convertissent directement l'énergie lumineuse du soleil en électricité deux facteurs majeurs influencent leurs performances. L'un des facteurs les plus importants affectant leurs performances est l'éclairement, également connu sous le nom d'irradiance. L'éclairement correspond à la quantité de lumière reçue par une surface donnée, généralement mesurée en watts par mètre carré (W/m^2). La température est le second paramètre le plus influant sur les caractéristiques de la cellule PV, qui a un effet négatif sur les performances des cellules PV, réduisant leur rendement.

La figure II.7 et II.8 illustre respectivement les caractéristiques I-V et P-V de la cellule sous température constante 25°C pour différents niveaux d'éclairements.

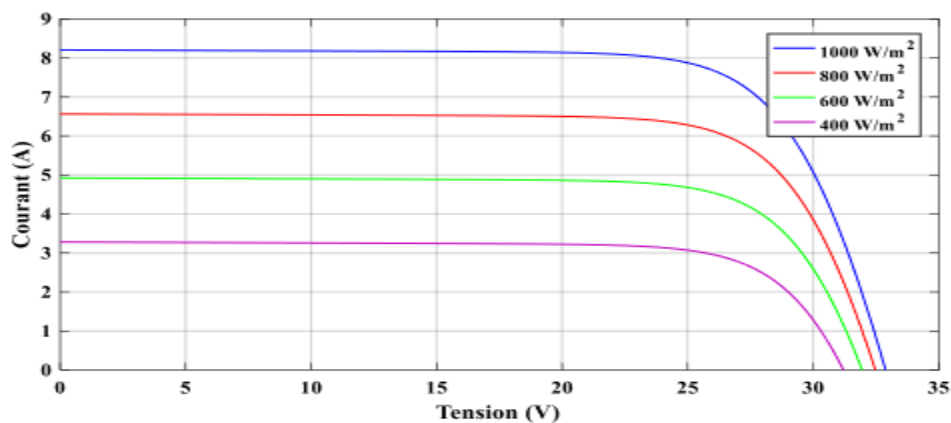


Figure II.7 : Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairements à température constante 25°C [11]

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

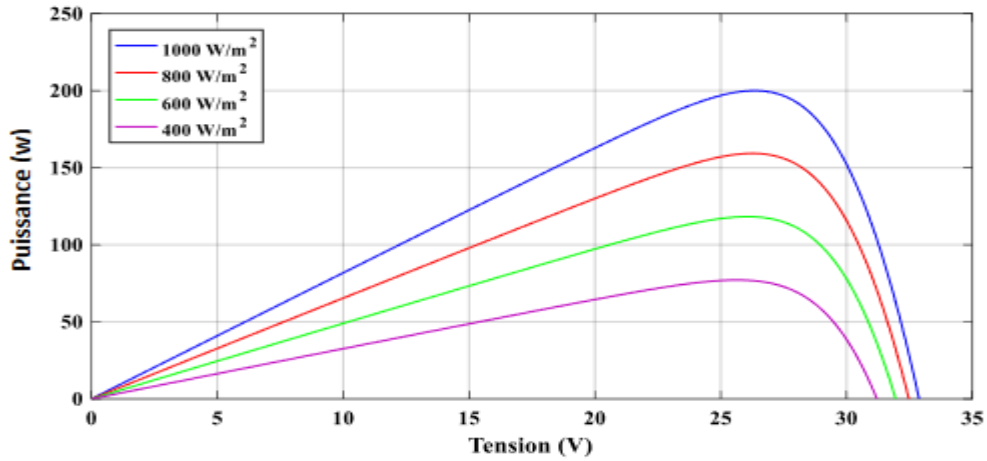


Figure II.8 : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairements à température constante 25°C [11]

La figure II.9 et II.10 respectivement les caractéristiques I-V et P-V de la cellule simulée sous un éclairement de 1000 W/m² pour différentes valeurs de températures.

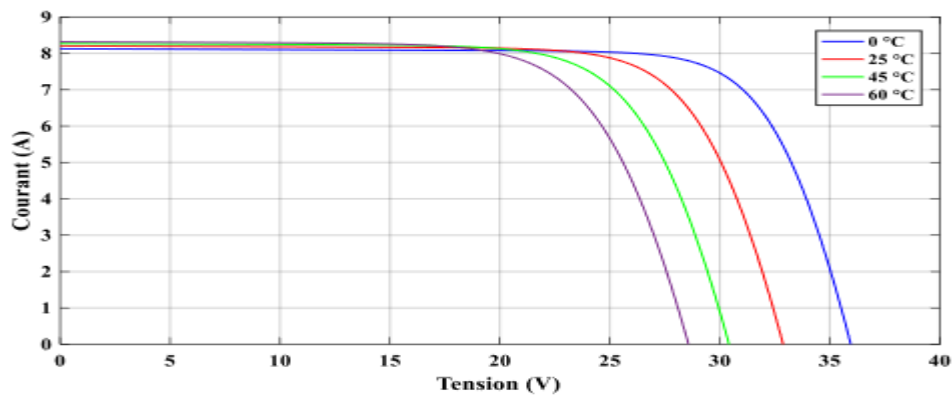


Figure II.9 : Caractéristique I(V) pour différents valeurs de températures à éclairement constant 1000 W/m² [11]

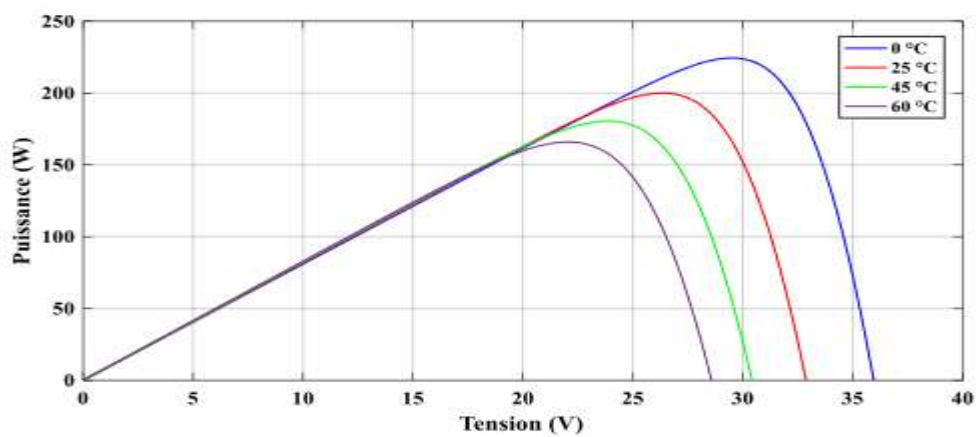


Figure II.10 : Caractéristique P(V) pour différentes valeurs de températures à éclairement constant 1000 W/m² [11]

Nous observons :

En faisant varier l'éclairement G ; on remarque que la tension du circuit ouvert V_{CO} reste presque inchangée, contrairement au courant de court-circuit I_{CC} qui varie beaucoup en fonction de l'éclairement ce qui engendre une variation de la puissance de la cellule photovoltaïque.

Le courant de court-circuit I_{CC} est très peu sensible aux variations des valeurs de la température, contrairement à la tension du circuit ouvert V_{CO} qui diminue avec l'augmentation de la température. Cet effet génère une diminution de la puissance à la sortie de la cellule PV.

Il est important de considérer ces deux facteurs lors de la conception et de l'utilisation des systèmes photovoltaïques pour optimiser leur production d'électricité.

II.6. Association de cellules photovoltaïques

II.6.1. Association en séries de cellules PV

Une association de (N_S) cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, un tel regroupement est représenté par la Figure (II.11). L'équation (II.6) et (II.7) résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_S) cellules:

$$V_{CON_S} = N_S \times V_{CO} \quad (II.6)$$

$$I_{CCN_S} = I_{CC} \quad (II.7)$$

V_{CON_S} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_S cellules en série.

I_{CCN_S} : Courant de court-circuit de N_S cellules en série.

Ce système d'association est généralement le plus communément utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce [12].

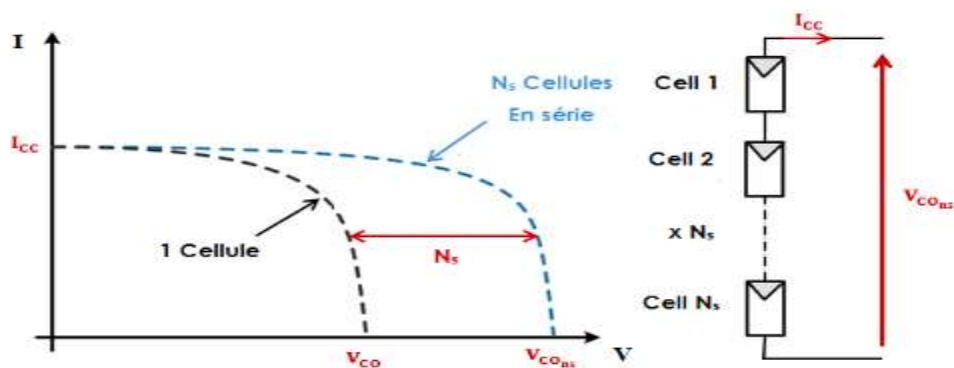


Figure II.11 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_S cellules en série [13]

II.6.2. Association en parallèle de cellules PV

Une association parallèle de (N_p) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants. L'équation (II.8) et la Figure (II.12) résument les caractéristiques électriques d'une association parallèle de (N_p) cellules [13].

$$I_{CCN_p} = N_p \times I_{CC} \quad (II.8)$$

$$V_{CON_p} = V_{CO} \quad (II.9)$$

I_{CCN_p} : La somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle.

V_{CON_p} : Tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

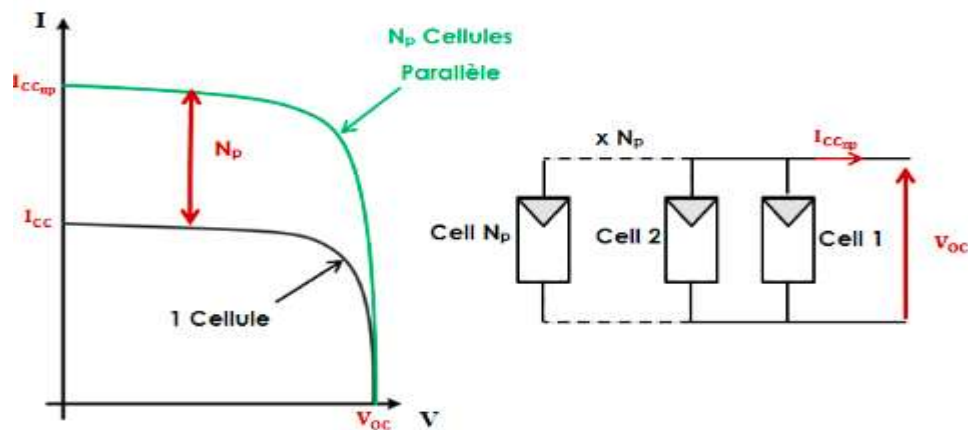


Figure II.12 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_p cellules en parallèle [13]

II.6.3. Protections classiques d'un générateur photovoltaïque

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement, deux types de protections sont classiquement utilisés dans les installations actuelles [14] :

La diode anti-retour

Empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit.

- La diode by-pass

Peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairage n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. La mise en conduction de ces diodes affecte la caractéristique de sortie du générateur, par la perte d'une partie de la production d'énergie et par la présence de deux maximums de puissance.

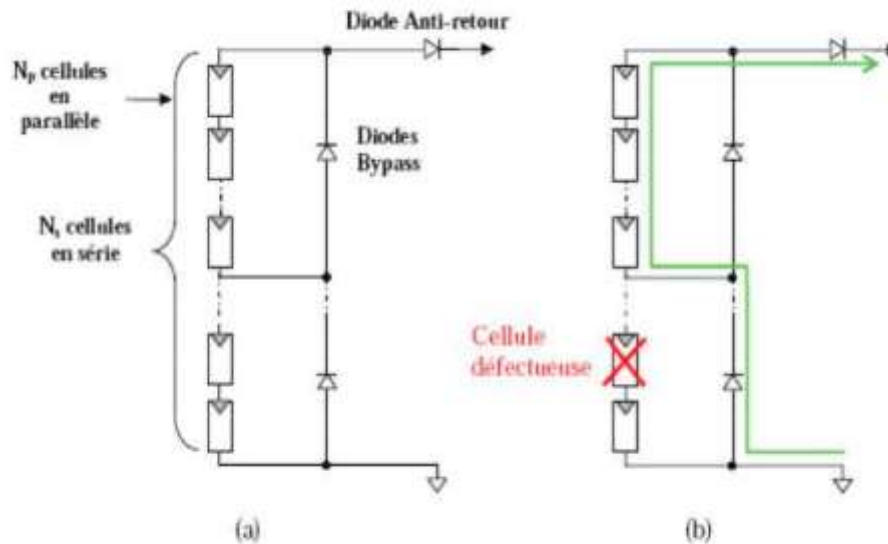


Figure II.13 : (a) Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I_{PV} [14]

II.7. Technique de contrôle de puissance maximale (MPPT)

Le panneau photovoltaïque représente des caractéristiques non-linéaires qui dépendent du niveau d'éclairement et la température du panneau. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur la quelle débit le panneau, on peut trouver un très fort écart entre la puissance disponible et la puissance transférée à la charge en mode connexion directe. Afin de remédier à ce problème, on utilise un étage d'adaptation appelée : convertisseur Maximum power point tracking (MPPT).

II.7. 1.Principe de la Commande MPPT

Le principe de la commande MPPT est basé sur la modification automatique du rapport cyclique α en l'amenant à la valeur optimale pour maximiser la puissance délivrée par le panneau solaire. Il existe différentes techniques pour suivre le point de puissance maximale. Les plus populaires de ces techniques sont [15] :

- Méthode Perturber et observer, 'P&O'
- Méthode Incrément de la conductance, 'INC'
- Méthode à base de la mesure d'une fraction de la tension
- Méthode à base de la mesure d'une fraction du courant I_{CC}
- Méthode à base de la logique floue

Pour cette raison, nous présenterons et analyserons ensuite l'algorithme de contrôle de la méthode "perturbation et observation", 'P&O'.

La figure (II.14) montre le diagramme synoptique d'un système photovoltaïque, avec un module MPPT qui a pour entrées la tension et le courant de sortie du module [16]. Dans la plupart des cas, on fait une maximisation de la puissance fournie par le module solaire.

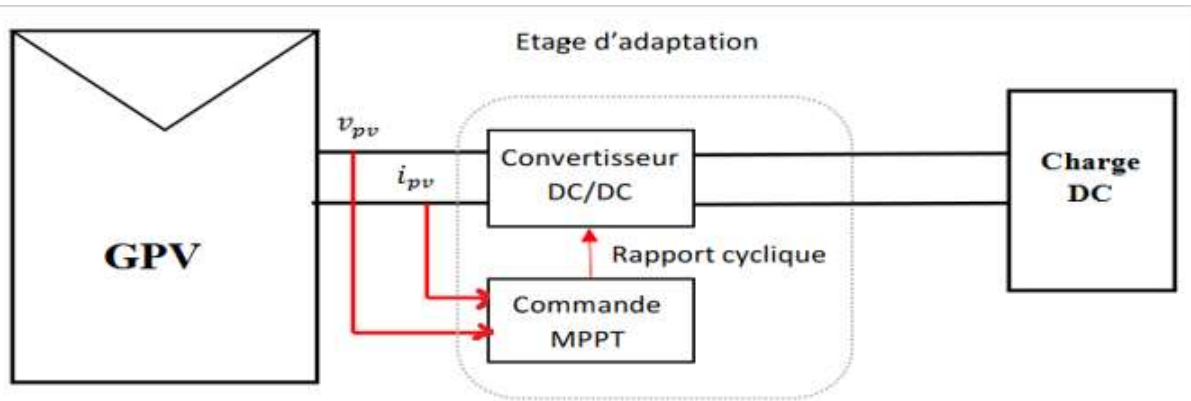


Figure II.14: Principe général d'une commande [17]

II.7. 2. Méthode Perturber et observer, 'P&O'

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension du panneau V_{pv} tout en agissant sur le rapport cyclique α , ce qui engendre une variation de la puissance. Il peut être vu figure II.15 que l'incrément ou la décrémentation de la tension augmente ou diminue la puissance, si la puissance est augmentée, la prochaine perturbation devrait être dans le même sens jusqu'à atteindre le point de puissance maximale, et si la puissance diminue, la perturbation devrait être inversée [18].

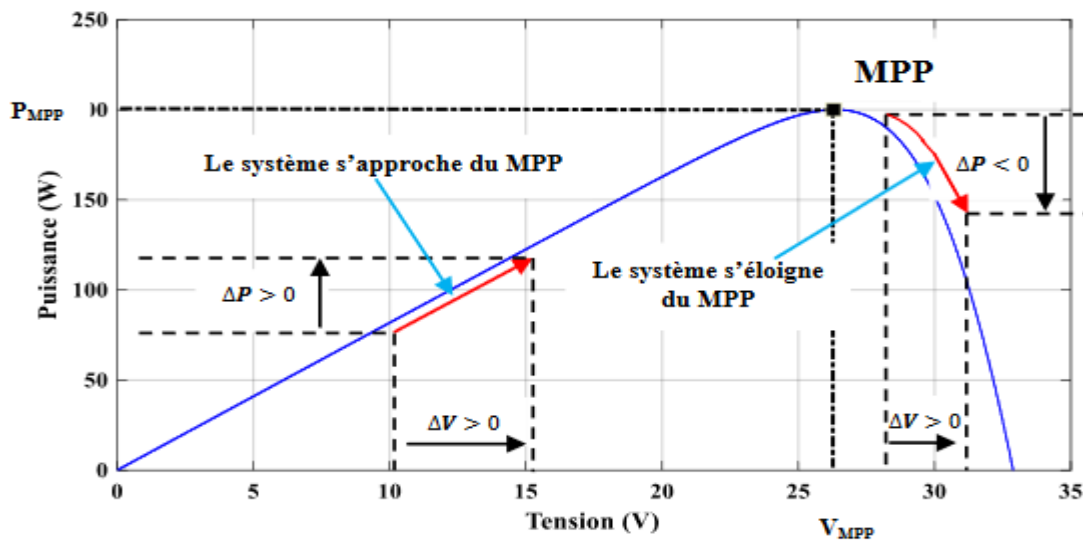


Figure II.15 : Caractéristique puissance - tension d'un panneau photovoltaïque. [11]

En résumé pour une perturbation de la tension, si la puissance augmente, la direction de la perturbation est maintenue. Si non, elle est inversée pour que le point de fonctionnement converge vers le MPP [11].

La figure (II.16) illustre l'organigramme de la commande MPP de type P&O. Pour déterminer la puissance à chaque instant, deux capteurs sont nécessaires pour mesurer les valeurs de la tension et du courant [11].

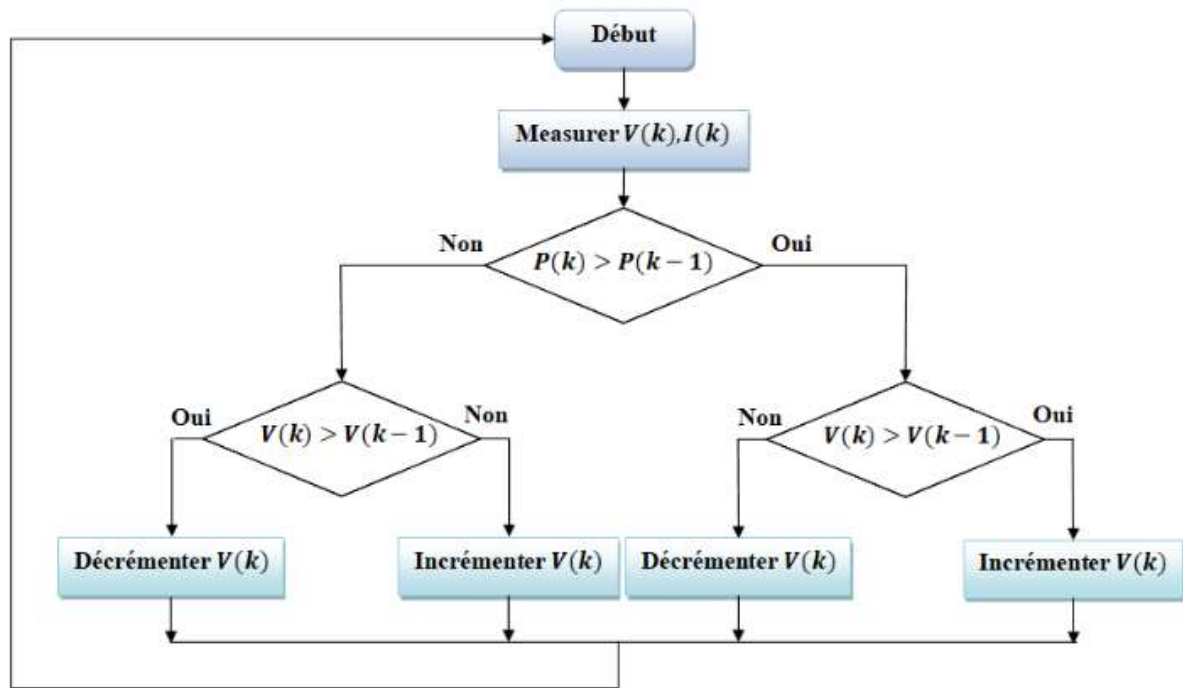


Figure II.16: Organigramme de l'algorithme 'P&O' [11]

II.8. Modélisation du stockage par batteries

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).

II.8.1. Principe du stockage par batteries

Un accumulateur électrochimique ou batterie est un système qui permet de convertir de l'énergie électrique en énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de la décharge. Une cellule d'une batterie est composée de deux électrodes (conducteurs électroniques) et d'un électrolyte (conducteur ionique). Les réactions chimiques sont spontanées dans la cellule et mettent en jeu deux couples d'oxydoréduction de potentiels différents.

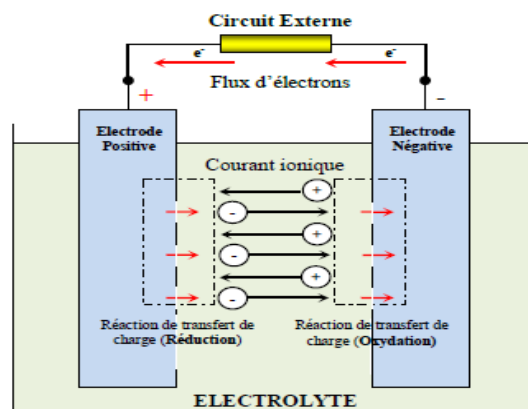


Figure II.17: Schéma d'un accumulateur électrique [19]

II.8.2. Caractéristiques principales d'une batterie

Les caractéristiques principales d'une batterie [20] sont présentes comme suit :

- **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.8.3. Modélisation de la batterie

Les phénomènes électrochimiques complexes intervenant dans une batterie rendent leur modélisation délicate. Le schéma électrique équivalent retenu ici est présenté par la Figure (II.18) Il est composé d'une force électromotrice E_B , c'est une caractéristique du couple électrochimique employé (selon le type de batterie), et R_B représente l'impédance interne de la cellule qui est liée à l'état de charge et du vieillissement de la cellule. Le tableau (II.1) présente les différentes tensions d' E_B en fonction des matériaux utilisés. La tension aux bornes de la cellule d'une batterie s'exprime par [21] :

$$V_B(SoC, I_B) = E_B(SoC) - R_B(SoC, \text{sign}(I_B))I_B \quad (\text{II.10})$$

Avec :

$$R_B(SoC, \text{sign}(I_B)) = \begin{cases} R_{B\text{charge}}(SoC) & \text{si } I_B \leq 0 \text{ (Résistance en charge)} \\ R_{B\text{décharge}}(SoC) & \text{si } I_B \geq 0 \text{ (Résistance en décharge)} \end{cases} \quad (\text{II.11})$$

- State of charge(Soc) : Etat de charge d'une batterie.

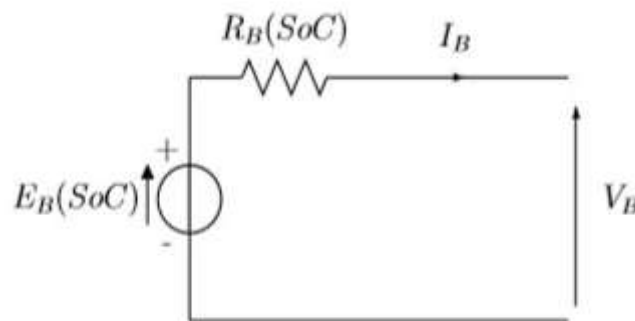


Figure III.18: Schéma électrique équivalent d'un élément de batterie

II.8.4. État de charge de la batterie (SoC) et profondeur de décharge (DoD)

L'état de charge d'une batterie est le rapport entre la capacité actuelle de la batterie et sa capacité totale. L'état de charge est un paramètre très important pour gérer correctement la batterie [22, 23].

$$SoC(t) = SoC(t_0) - \frac{1}{C_N} \int_{t_1}^{t_2} I_B(t) dt \quad (\text{II.12})$$

Où, Soc (t_0) est l'état de charge initial, $I_B(t)$ représente le courant traversant la batterie et C_N la capacité nominale de la batterie exprimée en Ah (1 Ah =3600 C) [24]. Tout comme la capacité, cet indicateur dépend des conditions de mesures, notamment, la température.

La profondeur de décharge (DoD) est le rapport entre la capacité utile et la pleine capacité de la batterie.

$$DoD = 1 - SoC \quad (\text{II.13})$$

- Depth of discharge (DoD) : La profondeur de décharge d'une batterie.

II.8.5. Etat de santé de la batterie (SoH)

L'état de santé (SoH) qui prend en compte les pertes de capacité dues à la dégradation de la batterie. Le (SoH) est défini par le rapport entre la capacité totale actuelle et la capacité totale obtenue lorsque la batterie était neuve [25].

$$\text{SoH} = \frac{C_{\text{Actuelle}}^{\text{Tot}}}{C_{\text{Neuve}}^{\text{Tot}}} \quad (\text{II.14})$$

- State of health (SoH): L'état de santé d'une batterie.

La connaissance de ces indicateurs permet d'identifier en temps réel le mode de fonctionnement de la batterie.

II.9. 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 d'utiliser des convertisseurs DC/AC ou « onduleur » pouvant être bidirectionnels.

II.9.1. Modélisation du convertisseur DC/DC

II.9.1.1. Convertisseur Boost (survoleur)

Le hacheur (boost) utilisé dans la chaîne PV permet un transfert unidirectionnel de la puissance des panneaux PV vers le bus DC. Dans le cas du hacheur utilisé pour réaliser la charge et la décharge de la batterie, le transfert de puissance (courant) doit être réversible.

Le schéma électrique équivalent d'un convertisseur bidirectionnel est donné par la figure II.19. Afin de réaliser la réversibilité du flux de puissance, les commutateurs du convertisseur doivent idéalement transférer le courant dans les deux directions. La première direction correspond au mode décharge. Le convertisseur transfère l'énergie de la batterie vers le bus DC lorsque la production d'énergie renouvelable est déficitaire.

Le second représente le mode charge. Quand il y a un excès de production d'énergie renouvelable, le convertisseur bidirectionnel transfère l'excès de puissance du bus CC vers la batterie. Le convertisseur bidirectionnel fonctionne comme convertisseur élévateur (boost) pendant la décharge de la batterie et comme convertisseur abaisseur (buck) pendant la charge de la batterie. Dans les deux modes (charge et décharge), le convertisseur bidirectionnel régule la tension du bus CC et contrôle le flux de puissance [26].

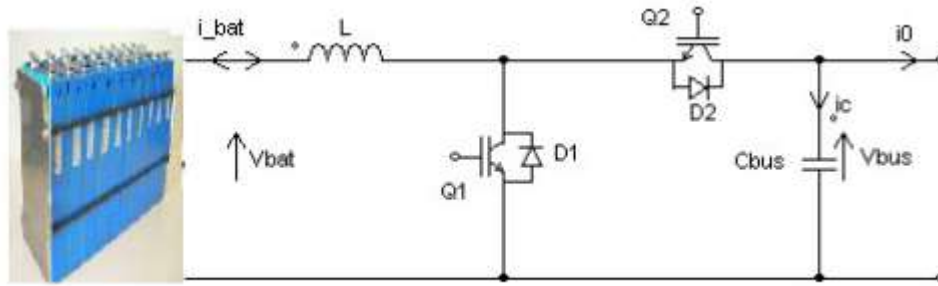


Figure II.19: Schéma électrique du convertisseur bidirectionnel

La commande des interrupteurs Q1 et Q2 est réalisé simultanément avec deux signaux (rapports cycliques) complémentaires u et $1 - u$. Le modèle du convertisseur bidirectionnel est donné par le système d'équations :

$$\frac{d}{dt} i_L = \frac{1}{L} [V_{bat} - (1 - U)V_{bus}] \quad (II.15)$$

$$\frac{d}{dt} V_{bus} = \frac{1}{C_{bus}} [(1 - U)i_L - i_0] \quad (II.16)$$

II.9.1.2. Convertisseur Buck (dévolteur)

On le nomme souvent dévolteur parce qu'il réduit de façon variable la tension de sortie par rapport à celle de l'entrée ou encore le hacheur abaisseur de tension. Il est constitué par un interrupteur d'amorçage commandé transistor (bipolaire, MOS ou IGBT ...) en série avec la source et une diode de roue libre parallèle à la source. Ces commutateurs fonctionnent de manière périodique [27].

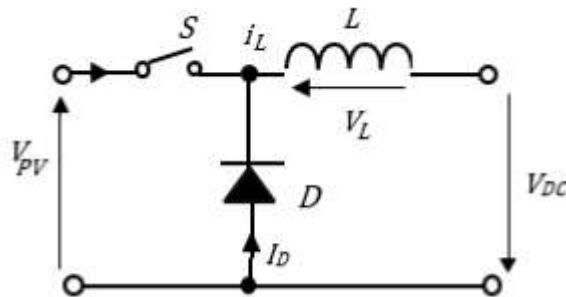


Figure II.20: Schéma de principe d'un hacheur série (dévolteur ou BUCK)

Ce cycle comprend deux étapes. Lors de la première l'interrupteur (S) est fermé pendant l'intervalle $[0, \alpha T]$, la source d'entrée V_c fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance la diode est polarisée en inverse. Lors de la seconde l'interrupteur (S) est ouvert et la diode passante au cours de l'intervalle $[\alpha T, T]$

On obtient les équations suivantes :

$$V_s = \alpha \times V_s K \quad (II.17)$$

$$I_s = \frac{I_e}{\alpha} \quad (II.18)$$

La relation entre la tension d'entrée et celle de sortie est la suivante :

$$V_{pv} = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_{DC} dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha} V_{pv} dt = \alpha V_{pv} \quad (II.19)$$

II.9.1.3. Convertisseur Buck-Boost

Le circuit est alimenté par une source de tension V_e , la sortie étant une charge résistive R et débite un courant I_s . L'interrupteur K , symbolisé ici comme un MOSFET de puissance, est rendu périodiquement conducteur avec un rapport cyclique (α) à la fréquence ($F=1/T$).

Par un tel convertisseur, on cherche à fixer une tension moyenne V_s de sortie qui réponde aux critères suivants :

$$V_s < V_e \text{ ou bien } V_s > V_e.$$

V_s Réglable à souhait en agissant sur le rapport cyclique (α) [27].

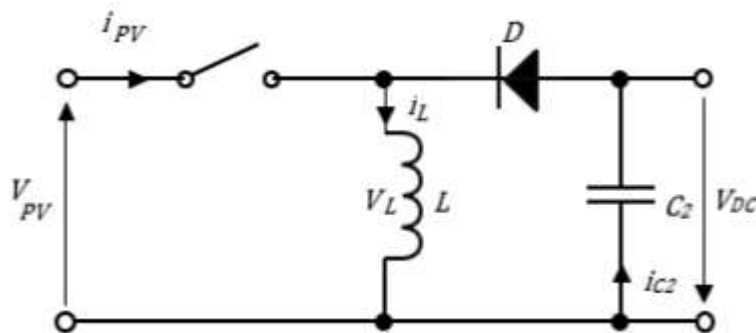


Figure II.21: Circuit équivalent d'un hacheur BUCK-BOOST

On obtient les équations suivantes :

$$V_{DC} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \times V_{PV} \quad (II.20)$$

$$V_{pv} - \alpha T = V_{dc}(1 - \alpha) T \quad (II.21)$$

II.9.2. Convertisseur DC/AC (onduleur)

L'association d'un transistor T_i et d'une diode D_i donne un composant bidirectionnel K_I . Comme les commandes des deux transistors du même bras sont complémentaires, nous pouvons remplacer chaque bras de l'onduleur par un interrupteur à deux positions comme l'indique la figure(II.22) :

Soit F_I l'état de l'interrupteur K_I , il est donné par :

$$F_I = \begin{cases} 0 & \text{si } K_{11} \text{ est fermé et } K_{21} \text{ est ouvert} \\ 1 & \text{si } K_{11} \text{ est ouvert et } K_{21} \text{ est fermé} \end{cases} \quad (II.22)$$

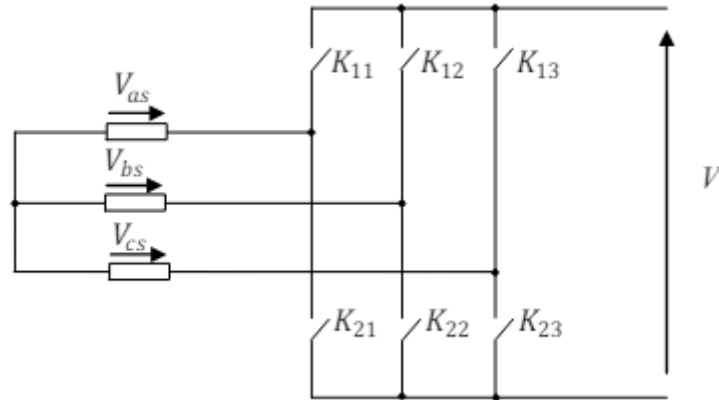


Figure II.22: Représentation des composants bidirectionnels

Les tensions composées à la sortie de l'onduleur sont données par :

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = E \cdot \begin{bmatrix} F_1 & -F_2 \\ F_2 & -F_3 \\ F_3 & -F_1 \end{bmatrix} \quad (II.23)$$

Par conséquent, les tensions simples et le courant I_s à l'entrée de l'onduleur s'expriment en fonction des fonctions logiques comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = E \cdot \begin{bmatrix} 2F_1 & -F_2 & -F_3 \\ -F_1 & 2F_2 & -F_3 \\ -F_1 & -F_2 & 2F_3 \end{bmatrix} \quad (II.24)$$

$$I_s = F_1 \cdot I_{sa} + F_2 \cdot I_{sb} + F_3 \cdot I_{sc} \quad (II.25)$$

II.10. Groupe Electrogène (Générateur Diésel GD)

II.10.1 Principe de fonctionnement et nécessité du GD

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui actionne un alternateur dont le principe de fonctionnement repose sur l'induction électromagnétique pour convertir de l'énergie mécanique en énergie électrique sa puissance est donnée en kVA. Il représente pour l'installation une sorte de source de secours en cas de défaillance des autres sources

Le générateur diesel figure II.23 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

Chapitre II: Modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée

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 ($\cos \phi = 0,8$; donnée constructeur) [28].

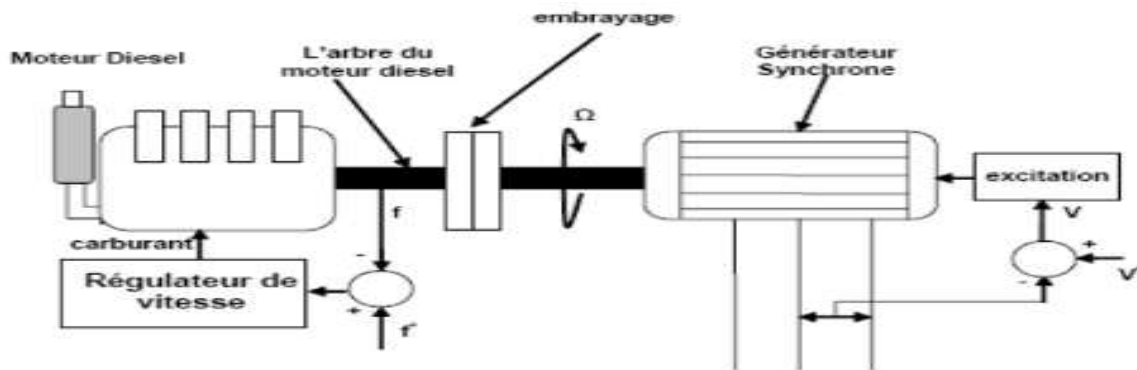


Figure II.23 : Schéma des composantes d'un Groupe Electrogène [28]

III.10.2. Eléments de modélisation électrique du générateur diesel

Courant fourni par un générateur diesel à un instant t est donné par [29] :

$$I_{GD}(t) = I_{GD,max} \times x_{GD}(t) \quad (II.26)$$

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 n_{GD} , le courant total généré à un instant t est donné par :

$$I_{GD}(t) = \sum_{i=1}^{n_{GD}} I_{GD,max} \times x_{GD_i}(t) \times \varepsilon_i(t) \quad (II.27)$$

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 :

$$q_{GD}(t) = a \times P_{GD}(t) + b \times P_{GD,nom} \quad (II.28)$$

Où :

$a\left(\frac{1}{kwh}\right)$ et $b\left(\frac{1}{kwh}\right)$ 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 :

$$P_{GD}(t) = \sqrt{3} I_{GD}(t) \times U_{GD,maxAC} \times \cos(\phi) \quad (II.29)$$

$$P_{GD.nom} = \sqrt{3I_{GD.max}} \times U_{GD.nomAC} \times \cos(phi) \quad (II.30)$$

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

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

$$P_{GD}(t) = \sum_{i=1}^{n_{GD}} \sqrt{3} I_{GD}(t) \times U_{GD.maxAC} \times \cos(phi) \times \epsilon_i(t) \quad (II.31)$$

$$P_{GD.nom} = \sqrt{3I_{GD.max}} \times U_{GD.nomAC} \times \cos(phi) \times \epsilon_i(t) \quad (II.32)$$

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

$$q_{GD}(t) = \sqrt{3} \cos(phi) \times \sum_{i=1}^{n_{GD}} I_{GD.max} \times U_{GD.maxAC} \times (a \times x_{GDi}(t) + b) \times \epsilon_i(t) \quad (II.33)$$

III.11. Modélisation des charges

Les charges sont les éléments consommateurs de puissance électrique d'un système. La consommation de cette puissance électrique dépend des caractéristiques de la charge. Une modélisation correcte de ses caractéristiques est indispensable pour représenter finement le comportement de la charge.

Les profils de consommations considérés seront déterministes, et ne tiennent compte que de la puissance active appelée par le consommateur. Les harmoniques ont été négligés. Il existe deux types de charge, des charges linéaires à caractère résistif et inductif, comme, les ampoules à incandescence, les chauffe-eaux etc. Le deuxième type de charges est représenté par les charges non linéaires qui détériorent la qualité d'énergie.

Les charges ou les groupes de charges peuvent être représentés par des modèles statiques ou dynamiques. Un modèle statique ou dynamique exprime la puissance active et la puissance réactive à tout instant en fonction de l'amplitude et la fréquence de la tension pour ces mêmes instants [30].

Dans l'analyse des systèmes classiques, la demande de la charge en puissance est représentée par l'équation suivant:

$$S_{charge} = P_{charge} + jQ_{charge} = Y_{charge} |V_{charge}|^2 \quad (II.34)$$

Avec :

S_{charge} : Puissance apparente demandée par la charge.

P_{charge} : Puissance active demandé par la charge.

Q_{charge} : Puissance réactive demandé par la charge.

Y_{charge} : Admittance de la charge.

III.12.Conclusion

Dans ce chapitre, On a vu que la modélisation du système d'électrification d'une ferme agricole isolée est un outil précieux pour la conception, l'optimisation et la gestion de ce type de système. Elle permet l'évaluation du comportement du système dans différentes conditions, et de prendre des décisions peut aider à garantir que la ferme dispose d'un approvisionnement en électricité fiable, durable et économique.

Le prochain chapitre, contextualisera les éléments pertinents présentés précédemment.

III.13. Bibliographies

- [1] Lila Croci, "Gestion de l'énergie dans un système multi-source photovoltaïque et eolien avec stockage hybride batteries/super condensateurs," These doctora, L'université de Poitiers, 2014.
- [2] « energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect », 23/03/2024
- [3] F. H. Alharbi and S. Kais, "Theoretical limits of photovoltaics efficiency and possible improvements by intuitive approaches learned from photosynthesis and quantum coherence," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43, pp. 1073-1089, 2015.
- [4] D. LU, « Conception et contrôle d'un générateur PV actif à stockage intégré », Thèse de doctorat, l'Ecole Centrale de Lille, 2010.
- [5]: F. Benyarou " Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïques modélisation, dimensionnement et simulation ", Thèse de Doctorat d'état. Université de Tlemcen Juillet 2004.
- [6] « <https://www.civisol.fr/info/8-le-panneau-solaire-photovoltaique> », 10/04/2024
- [7] Luque, A. & Hegedus, « *Handbook of photovoltaic science and engineering* », John Wiley & Sons, 2011, 1132 p.
- [8].A. Kaabeche, S. Diaf et R. Ibtouen, « Firefly-inspired algorithm for optimal sizing of renewable hybrid system considering reliability criteria, » *Solar Energy*, vol. 155, pp. 727-738, 2017.
- [9].J. Debashisha et V. R. Vanjari, « Modeling of photovoltaic system for uniform and non-uniform irradiance: A critical review, » *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 52, p. 400–417, 2015.
- [10] M. A. Camara, « Modélisation du stockage de l'énergie photovoltaïque par supercondensateurs , » Thèse de doctorat, Université Paris Est Créteil, 2011.
- [11] Y. Lasmi, « Optimisation de la Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT) d'un Système Photovoltaïque par les Techniques Intelligentes », Mémoire de Magister, Université Sétif, 2013.
- [12] L. Abbassen , « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque », Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011.
- [13] S. VIGHETTI, « Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion », Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Grenoble, 2010
- [14] Kiali Ali et Lahmar Omar Farouk: « techniques de détection des défauts dans un panneau photovoltaïque », Mémoire de master en électrotechnique, Université Abdelhamid ibn badis mostaganem faculté des sciences et de la technologie, Département de génie électrique.
- [15] S.Petibo, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », l'Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2009.
- [16] A. Chermitti, O. Boukli-Hacene and S. Mouhadjer , « Design of a Library of Components for Autonomous Photovoltaic System under Matlab/Simulink' », *International Journal of Computer Applications*, 2012.
- [17] C. Alonso, « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie », Thèse de HDR, Université Paul Sabatier – Toulouse III, 2003.
- [18] MPPT <https://hal.science/hal-01938334/document> S31.

- [19] A.B.G Bahgat, N.H.Helwab, G.E. Ahmad and T.El Shenwyb, « Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks », Renewable Energy. Vol. 30, pp.1257–1268, 2005.
- [20] « https://fr.m.wikiversity.org/wiki/Fichier:Sch%C3%A9ma_accumulateur.png», 23/05/2024.
- [21]M. Petibon Stéphane, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et deconversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques »,Thèse de doctorat, UniversitéToulouse France 2009.
- [22]Jérôme Bernard, « Véhicules hybrides à pile à combustible dimensionnement et stratégies de commande. PhD thesis », Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2007.
- [23]Haiying Wang, Yang Liu, Hang Fu, and Gechen Li, « Estimation of state of charge of batteries for electric vehicles», International Journal of Control and Automation, 6(2):185–194, 2013.
- [24] Phatiphat Thounthong, Viboon Chunkag, Panarit Sethakul, Bernard Davat, and Melika Hinaje , « Comparative study of fuel-cell vehicle hybridization with battery or supercapacitor storage device», Vehicular Technology IEEE Transactions on, 58(8):3892–3904, 2009.
- [25] «Maxime MontaruContribution à l'évaluation du vieillissement des batteries de puissance utilisées dans les véhicules hybrides selon leurs usages», PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2009.
- [26]Redha Sadoun, « Intérêt d'une Source d'Energie Electrique Hybride pour véhicule électrique urbain-dimensionnement et est sdecyclage», PhDthesis, Ecole Centrale de Lille, 2013.
- [27] Junhong Zhang, Jih-Sheng Lai, and Wensong Yu, « Bidirectional dc-dc converter modeling and unified controller with digital implementation. In Applied Power Electronics Conference and Exposition», pages 1747–1753, 2008.
- [28] Dimensionnement et conception des hacheurs Buck-BOOST &CUK.
- [29] F. Baghdadi, « Modélisation et simulation des performances d'une installation hybride de conversion d'énergies renouvelables », Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.
- [30] D.Saheb-Koussa, M.Haddadi , « Modélisation d'un générateur photovoltaïque».

Chapitre III :

**Gestion et supervision de l'électrification
d'une ferme agricole isolée**

III.1.Introduction

Dans ce chapitre nous allons faire la conception et le dimensionnement d'un champ photovoltaïque précis permettant de Subvenir aux besoins journaliers en électricité de la ferme agricole(en kWh/j).

Dans un premier temps nous avons effectué le recensement des différents appareils qui seront alimentés par l'installation photovoltaïque autonome. Pour chacun de ces appareils, la puissance nominale de fonctionnement doit être identifiée.

Enfin Nous allons présenter les étapes à suivre avec Le logicielle PV_{SYST} pour concevoir un système photovoltaïque autonome.

III.2.Présentation des constituants de la ferme agricole

Dans cette étude, nous avons présenté un système pour alimenter une ferme agricole isolée composée de 5 zones avec superficie égale «1800 m²».

Les différentes zones du site :

- Première zone : un hangar avec superficie égale 600 m² pour élever et traire les bovins.
- Deuxième zone : unité de traitement des produits laitiers et de production de fromage semi-automatique et deux chambres froides avec superficie égale 150 m².
- Troisième zone : une maison avec superficie égale 200 m² composée de 3 chambres, une cuisine, un couloir et une salle de bain.
- Quatrième zone : une administration avec superficie égale 160 m².
- Cinquième zone : une chambre spécialement aménagée par un système de refroidissement temporisé pour recevoir les batteries de stockage, convertisseur, régulateur. Afin de garantir la protection et le bon fonctionnement du système.

Nous conseillons de mettre les panneaux PV sur la toiture de hangar et habitation afin de permettre de profiter de l'inclinaison naturelle de la toiture, de préserver l'espace et d'être discret, et ce pour assurer un bon compromis entre une production d'énergie optimale et un bon nettoyage des modules par la pluie.

L'installation solaire photovoltaïque doit être équipée par un parafoudre Figure IV.1. Il est généralement installé entre les panneaux solaires et l'onduleur. En cas de surtension due à la foudre ou à d'autres perturbations électriques, le parafoudre solaire dévie cette surtension vers la terre, protégeant ainsi l'onduleur, les câbles et les autres composants du système solaire.



Figure III .1 : Parafoudre photovoltaïque

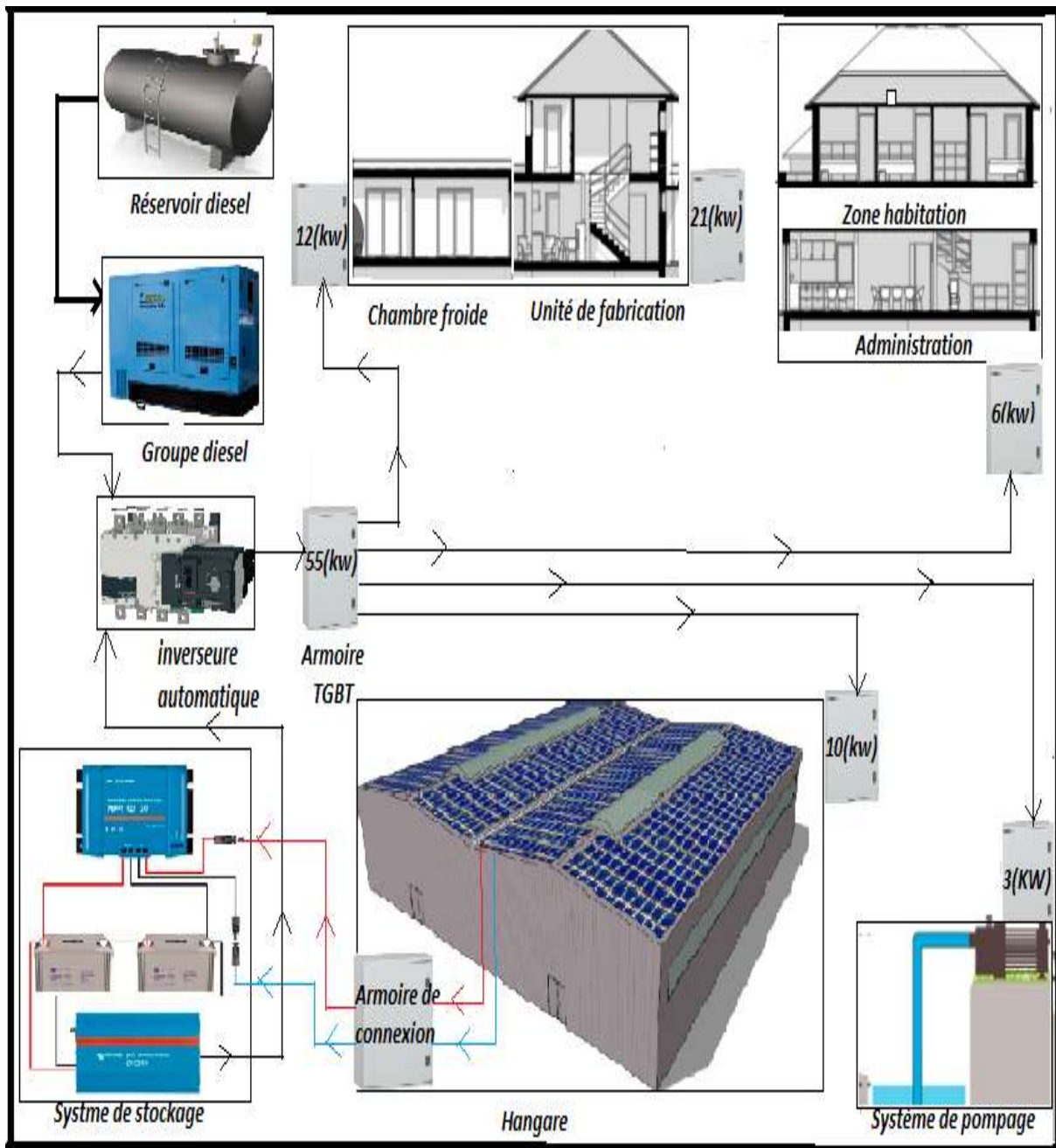


Figure III .2 : Schéma d'architecture de la ferme

III.3.Cahier des charges

Il est question de recenser tous les équipements existants ainsi que leur puissance, et d'évaluer la durée de fonctionnement ceci afin d'en déduire la consommation journalière quotidienne. Nous évaluerons ces besoins en effectuant un bilan énergétique total.

Les données de demande énergétique sont illustrées dans les tableaux suivant :

Zone (1) : Hangar						
Besoin du jour=8.5Kw=20Kwh						
Appareils	Nombre	Période de fonctionnement	Durée d'utilisation	Puissance unitaire	Puissance utile(Pt)	Énergie(Et)
Machine de traite vache	2	5h→7h	2h	2.5Kw	5Kw	10Kwh
Extracteur	2	5h→9h	4h	0.75Kw	1.5Kw	6Kwh
Karcher	1	7h→9h	2h	2kW	2Kw	4Kwh
Besoin de nuit=1.5Kw=6Kwh						
Eclairage	15	18h→20h 5h→7h	4h	0.1Kw	1.5Kw	6Kwh
Total					10Kw	26Kwh

Tableau III .1 : Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans ce hangar

Zone(2) : Unité de production						
Besoin du jour=20.9Kw=156.7Kwh						
Appareils	Nombre	Période de fonctionnement	Durée d'utilisation	Puissance unitaire	Puissance utile(Pt)	Energie(Et)
Cuve refroidissement lait	2	9h→10h	1h	2.5Kw	5Kw	5Kwh
Test qualité	2	9h→10h	1h	0.25Kw	0.5Kw	0.5Kwh
Chambre de fermentation	1	10h→12h	2h	3Kw	3Kw	6Kw
Chambre froide	2		12h	6Kw	12Kw	144Kwh
Eclairage	8	9h→12h	3h	0.05Kw	0.4Kw	1.2Kwh
Besoin de nuit=12Kw=144Kwh						
Chambre froide	2		12h	6Kw	12Kw	144Kwh
Total					32.9Kw	300.7Kwh

Tableau III.2 : Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans cette unité de production

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

Zone(3) : Habitation					
Besoin du jour=4.75Kw=27.5Kwh					
Appareils	Nombre	Durée d'utilisation	Puissance unitaire	Puissance utile(Pt)	Energie(Et)
Téléviseur	3	4h	100w	0.3Kw	1.2Kwh
Frigo	1	12h	150w	0.15Kw	1.8Kwh
Machine à lave	1	1h	200w	0.20Kw	0.20kwh
Ordinateur	2	3h	50w	0.1Kw	0.3Kwh
Climatiseur/chauffage	2	6h	2Kw	4Kw	24Kwh
Besoin de nuit=4.622Kw=28.1Kwh					
Lampes(LED)	8	7h	9w	0.072Kw	0.5Kwh
Téléviseur	3	5h	100w	0.3Kw	1.5Kwh
Frigo	1	12h	150w	0.15Kw	1.8Kwh
Ordinateur	2	3h	50w	0.1Kw	0.3Kwh
Climatiseur/chauffage	2	6h	2Kw	4Kw	24Kwh
Total				9.372Kw	55.6Kwh

Tableau III .3 : Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans cette maison

Zone(4) : Administration					
Besoin du jour=1.07Kw=5.64Kwh					
Appareils	Nombre	Durée d'utilisation	Puissance unitaire	Puissance utile(Pt)	Energie(Et)
Lampes(LED)	8	6h	50w	0.4Kw	2.4Kwh
Ordinateur	3	4h	50w	0.15Kw	0.6Kwh
Imprimante	2	1h	60w	0.12Kw	0.12Kwh
Total				0.67Kw	3.12Kwh

Tableau III .4 : Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée dans cette administration

Besoin du jour=22Kw				
Appareils	Nombre	Période de fonctionnement	Durée d'utilisation	Puissance unitaire
Pompe à eau	1	14h→16h	2h	3Kw
Demande de charge des batteries		9h→16h	6h	18kW
Système de refroidissement	1	6h		1Kw
Besoin de nuit=1Kw				
Système de refroidissement	1	6h		1Kw
Total				23Kw

Tableau III .5 : Les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation d'une journée

Il est important d'établir un classement des charges prioritaires telles que :

- Les deux Chambres froides
- Machine de traite vache
- Cuve refroidissement lait
- Pompe à eau
- Les équipements électriques de l'habitation

Maintenir leur fonctionnement en cas de panne de notre système PV ou Quand le niveau de la charge est bas, cette approche permet de Réduire la consommation d'énergie en déconnectant les appareils non essentiels (secondaire) pendant les périodes de faible production d'énergie.

La puissance d'équipements électriques de la ferme agricole est de 77 KW. Soit une consommation journalière de 512 KWh/J.

III.4. Dimensionnement des sources PV et du stockage

III.4.1. l'énergie à produire

L'énergie nécessaire à produire pour le fonctionnement des équipements en (Wh/ j) est donnée par la formule (III.1) suivante : [1]

$$E_P = \frac{E_C}{K} \quad (\text{III. 1})$$

E_C : Énergie consommé par jour (Wh/j).

E_P : Énergie produire (Wh/j).

K : Coefficient de perte tient compte des facteurs suivant :

- Incertitude météorologique.
- Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (90%).
- Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%).
- Les pertes dans les câbles et connexions.
- L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison.

Pour les systèmes avec parc batterie, le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,8.

La consommation journalière de la ferme 512 KWh/J.

$$E_P = \frac{512000}{0.8} = 640000 \text{ Watt}$$

III.4.2. L'angle d'inclinaison des panneaux solaires

Pour faire connaître l'angle d'inclinaison des panneaux solaires on doit d'abord calculer la déclinaison liée au jour choisi suivant la loi : [1]

$$\delta = 23,45 \times \sin \left(2 \times \pi \frac{(d+284)}{365} \right) \quad (\text{III. 2})$$

d: le nombre de jour.

Alors que :

$$\text{L'angle d'inclinaison} = \text{Latitude} - \delta$$

Latitude de site : 37°

Nombre de jour : 365 jours

$$\delta = 23,45 \times \sin \left(2 \times \pi \frac{(365 + 284)}{365} \right) = 6.6^\circ$$

$$\text{L'angle d'inclinaison} = 37 - 6.6 = 30.4^\circ$$

III.4.3. Puissance crête

La puissance d'un panneau solaire s'exprime en watts-crête (W_c) ou kilowatts-crête (KW_c). Cette Puissance crête d'un panneau solaire correspond à la puissance maximale de production électrique qu'il peut délivrer. Il s'agit d'une puissance idéale fournie dans des conditions optimales [1] :

- Un ensoleillement de 1000 W de lumière/ m^2 .
- Une température extérieure de 25°C.
- Une bonne orientation des panneaux et aucun ombrage

La puissance crête des panneaux solaires, donnée par la formule III.3, comme suit :

$$P_c = \frac{E_p}{T} \quad (\text{III. 3})$$

P_c : puissance crête en Watt crête (W_c)

E_p : Énergie produire (Wh/j).

T : Dure d'ensoleillement (h).

La dure d'ensoleillement environ 6(h).

$$P_c = \frac{640000}{6} = 106667 \text{ Watt}$$

III.4.4. Nombre de panneaux

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par l'équation suivante :

$$N_{\text{panneau}} = \frac{p_c}{\text{puissance crête unitaire panneau}} \quad (\text{III. 4})$$

N_{panneau} : Nombre de panneau solaire.

La puissance crête unitaire panneau: 570Watt

$$N_{panneau} = \frac{106667}{570} = 182 \text{ modules}$$

Pour déterminer le nombre exact des panneaux en série et en parallèles on doit d'abord connaître la plage de tension et le courant maximal que peut supporter le régulateur pour éviter sa destruction.

- **Nombre des modules raccordés en série :**

On prend la valeur de la tension pour que le régulateur fonctionne et on l'a divisée par la tension maximale délivrée par le panneau.

$$\text{Nombre de module en série} = \frac{V_{module}}{V_{max}} \quad (\text{III. 5})$$

- **Nombre de modules raccordés en parallèles :**

On prend la valeur nominale du courant que le régulateur peut supporter et on l'a divisé par le courant de court-circuit du panneau.

$$\text{Nombre de module en parallèle} = \frac{I_{nom}}{I_{cc}} \quad (\text{III. 6})$$

III.4.5. Dimensionnement et calcul du nombre de batterie

On parlera souvent dans le texte de la capacité nominale d'un accumulateur (notée C ou C_n). C'est tout simplement la capacité indiquée sur le boîtier de l'élément. Elle est donnée par le fabricant et elle est normalement calculée conformément à une norme.

Pour réaliser le dimensionnement de la batterie, on procède de la façon suivante [1] :

Etape 1 : on calcule l'énergie consommée (E_C) par les différents récepteurs.

Etape 2 : On détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaire.

Etape 3 : On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé.

Etape : 4 on calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous

$$C_{batterie} = \frac{E_C * N_{aut}}{DoD * U_{bat}} \quad (\text{III.7})$$

C : Capacité de la batterie en ampère-heure (AH).

E_C : Énergie consommée par jour (Wh/j).

N_{aut} : Nombre de jour d'autonomie.

DoD : décharge maximale admissible (0.7 pour les batteries au plomb).

U_{bat} : Tension de la batterie (V).

$$C_{batterie} = \frac{512000 * 1}{0.7 * 37} = 19768.33Ah$$

III.4.6. Nombre de batterie

Le nombre de batterie est déterminé par la formule suivante:

$$\text{Nombre de batterie} = \frac{\text{capacite de banc de batterie}}{\text{capacite d'une seule batterie}} \quad (\text{III.8})$$

- **Le nombre de batteries raccordées en série :**

La tension du système c'est elle qui détermine le nombre des batteries raccordés en série

$$\text{Nombre de batterie en série} = \frac{\text{Tension du système}}{\text{Tension d'une batterie}} \quad (\text{III.9})$$

- **Le nombre de batteries raccordées en parallèles:**

C'est la fraction des batteries totales par le nombre des batteries en série :

$$\text{Nombre de batterie en parallèle} = \frac{\text{batteries totales}}{\text{batteries en série}} \quad (\text{III.10})$$

III.4.7. Dimensionnement de l'onduleur

L'onduleur est caractérisé par sa puissance crête, donc elle est indiquée par la loi suivante :

$$P_C = \frac{P_T * 1.25}{0.92} \quad (\text{III.11})$$

P_C : Puissance crête (onduleur).

P_T : Puissance totale de nos besoins.

0.92 : Rendement de l'onduleur.

1.25 : facteur de correction de puissance, tandis qu'un PFC élevé indique que l'onduleur gaspille peu d'énergie sous forme de chaleur, tandis qu'un PFC faible indique que l'onduleur gaspille une quantité importante d'énergie [1].

III.4.8. Dimensionnement de câblage

$$S = \frac{2 * L * \rho * I}{\varepsilon * V} \quad (\text{III.12})$$

S : section de câble

L : longueur de câble en mètre

ρ : Conducteurs en cuivre

I : le courant en A

ε : Chute de tension maximale

V : la tension en Volt

III.5. Gestion et supervision de l'alimentation électrique de la ferme

III.5.1. Stratégies de gestion du système hybride

La stratégie de gestion est très importante dans l'alimentation électrique de la ferme. L'objectif principal de la stratégie de gestion proposée dans cette étude est de générer des références de puissance pour les sources (photovoltaïque, batterie et le générateur diesel) dans le but d'assurer d'une façon optimale, une alimentation sans interruption de la charge.

III.5.2. Principe de fonctionnement de l'algorithme de gestion

Nous avons proposé une stratégie de gestion qui consiste à considérer le système de conversion photovoltaïque comme étant la source principale pour alimenter la charge.

La batterie est utilisée à la fois comme source dans le cas d'un manque de production, et comme système de stockage dans le cas d'une surproduction. Le générateur Diesel est considéré comme source de secours s'activera des que la batterie et le système de conversion photovoltaïque ne répondent pas à la demande de la charge.

III.5.3. Présentation de la procédure de supervision

Au cours du fonctionnement d'un système hybride autonome, les batteries peuvent subir : des surcharges si leurs SOC dépassent le seuil haut (SOC_{max}) ou des décharges profondes dans le cas où leur SOC passe au-dessous du seuil bas (SOC_{min}) on distingue trois scénarios.

Premier scénario: fonctionnement normal Consommation satisfaite, lorsque le système de conversion photovoltaïque fonctionne à puissance optimale $P_{Produit} = P_{charge}$ et l'état de charge des batteries se situe dans les limites de seuils minimum et maximum ($SOC_{min} \leq SOC \leq SOC_{max}$).

Deuxième scénario: fonctionnement dégradé manque de production. Lorsque le système de conversion photovoltaïque fonctionne à puissance faible $P_{Produit} < P_{charge}$ et l'état de charge des batteries se situent dans la limite de seuils minimum $SOC \leq SOC_{min}$ Démarrage du groupe Electrogène qui alimenter seulement les charges prioritaire.

Troisième scénario: fonctionnement maximale Excès de production, lorsque le système de conversion photovoltaïque fonctionne à puissance maximale $P_{Produit} > P_{charge}$ et l'état de charge des batteries se situe dans la limite de seuils maximum $SOC \geq SOC_{max}$ ce qui Imposer d'équilibrer et produire juste la quantité d'électricité nécessaire pour sa consommation.

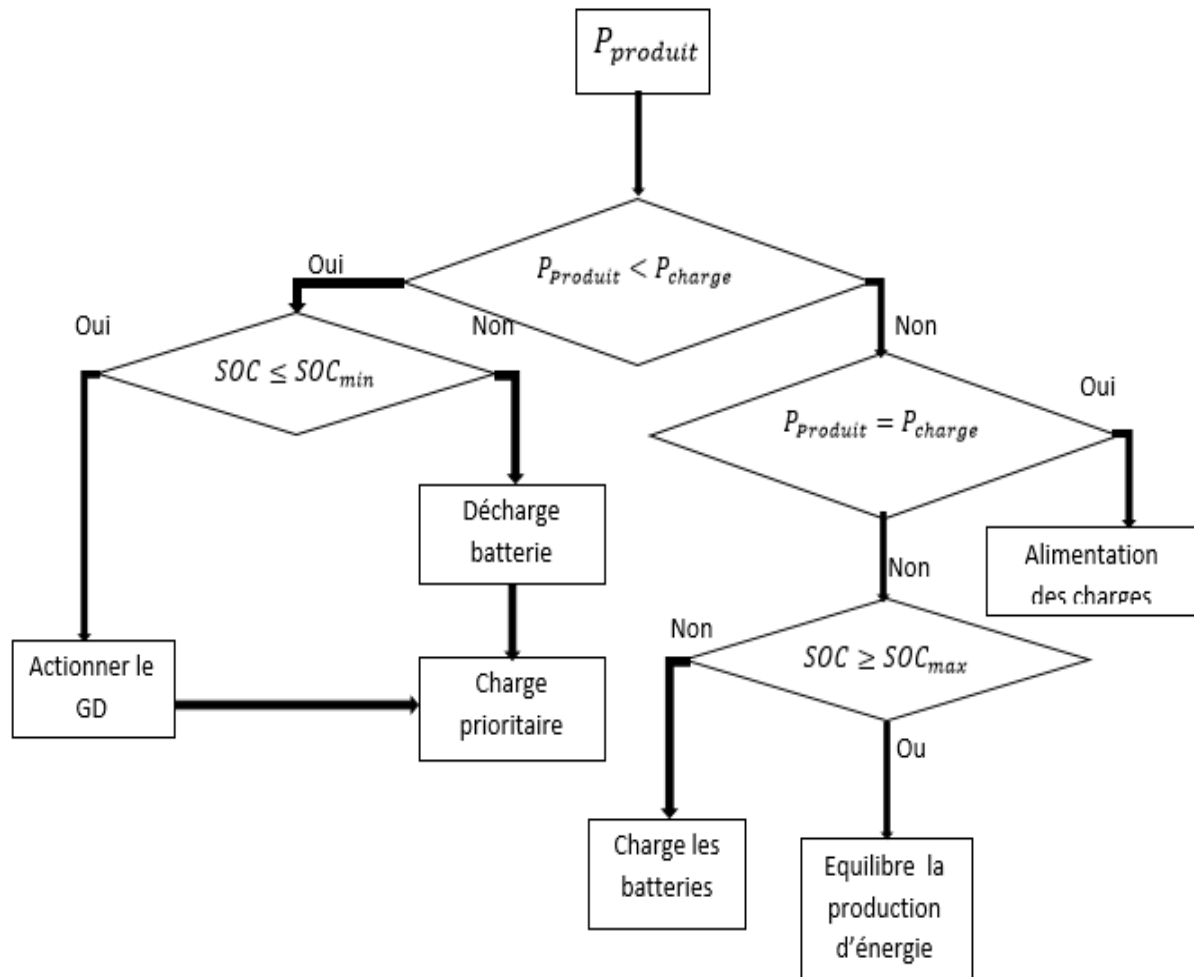


Figure III.3 : Organigramme de la méthode de supervision

III.6. Présentation du logiciel du dimensionnement PV_{SYST}

PVSYST est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [3]. Le logiciel PVSYST permet de :

- Pré-dimensionnement
- Estimation rapide de la production pour une première étude de vos installations.
- Conception de projet
- Etude détaillée, dimensionnement et simulation horaire, résultats dans un rapport complet imprimable
- Données météo (importation de diverses sources, génération synthétique,...).
- Base de données de composante (module PV, onduleur, batteries, pompes, etc.)

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

- Outils didactiques, (géométrie solaire, optimisation de l'orientation, comportement électrique de champs PV avec cambrage).
- Analyse de données réelles mesurées (avancé)

III.6.1. Etude par PV_{SYST}

Afin de dimensionner un système photovoltaïque utilisant le logiciel PV_{SYST} , il faut suivre les étapes suivantes :

1/ Au début, on lance le logiciel « PV_{SYST} ».

2/ On clique sur « conception du projet » et on choisit le system « isolé avec batteries »

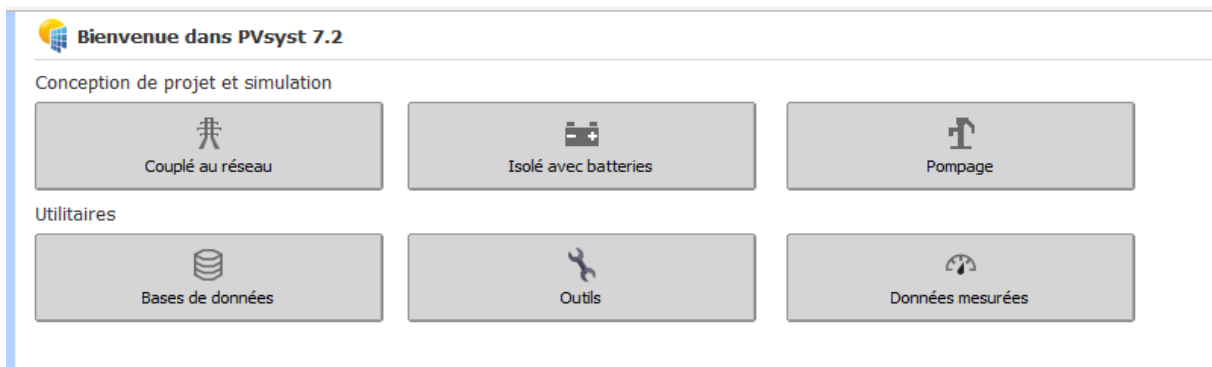


Figure III .4 : Interface du logiciel PV_{SYST}

3/Le choix de sites étudiés

On va déterminer la localisation géographique du projet en suivant les étapes suivantes :

- La première étape consiste à cliquer sur « nouveau » pour ajouter un nouveau site, comme indiqué ci-dessous :

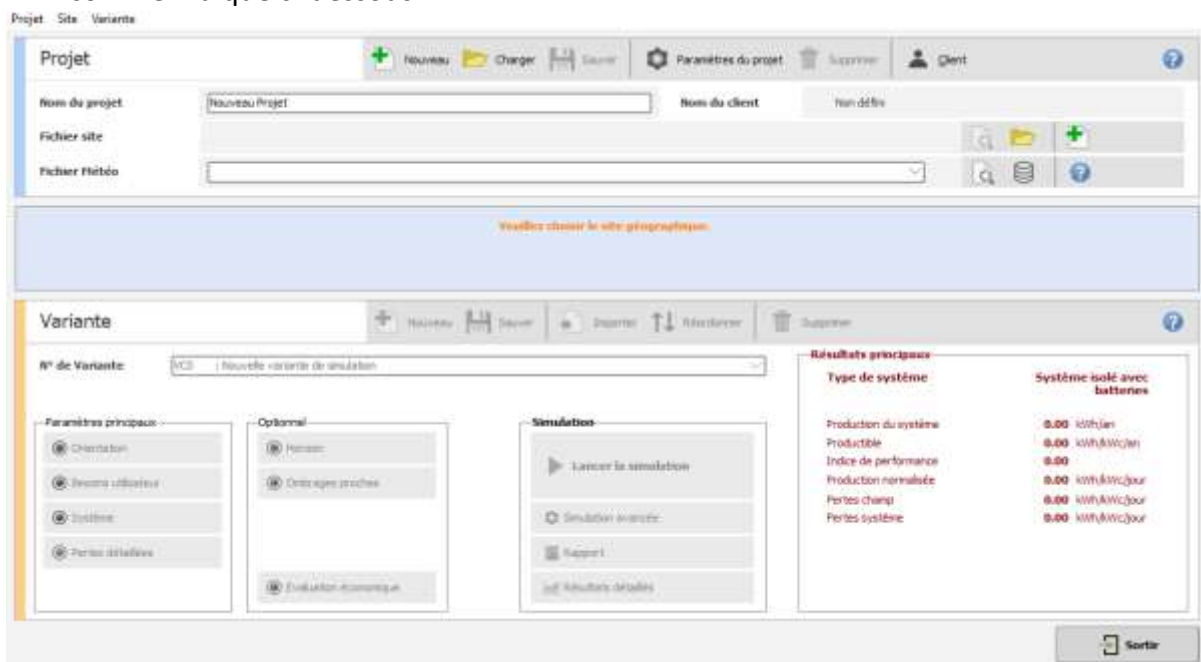


Figure III .5 : Désignation du projet dans PV_{SYST}

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

La deuxième étape dans laquelle on détermine le site par son nom, son pays et ses coordonnées géographiques (longitude et latitude).

Situation géographique et astronomique du site :

Pays	Emplacement	Latitude en degré °	Longitude en degré °	Altitude(m)	Fus.horaire
Algérie	Ain el Hammam	36.5717N	4.2988E	872	1

Tableau III.6 : Données géographique d'Ain el Hammam

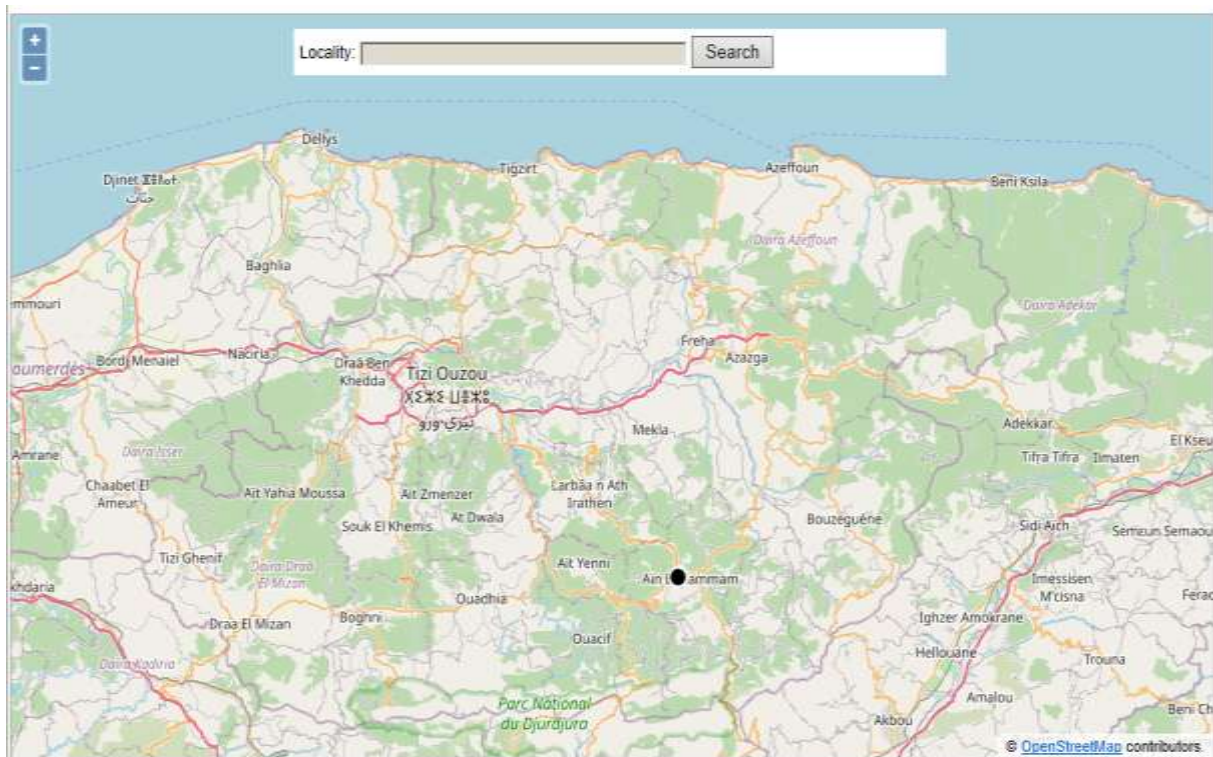


Figure III .6 : Localisation d'Ain el Hammam

La troisième étape, après la détermination du site dans « PV_{SYST} », on clique sur « valider point sélectionné », puis on clique sur « importer ».

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

Lieu

Nom du site:

Pays: Région:

Coordonnées Géographiques

Décimale Deg. Min. Sec.

Latitude: [°] (+ = Nord, - = Hémisph. Sud)

Longitude: [°] (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude: M au-dessus du niv. de la mer.

Fus. horaire: Correspondent à une différence moyenne Temps Légal - Temps Solaire = 0h 43m

Importation météo

- Meteonorm 8.0
- NASA-SSE
- PVGIS TMY
- NREL / NSRDL TMY
- Solcast TMY

Veuillez importer les données météo mensuelles (de Meteonorm, Nasa ou manuellement)

Figure III.7 : Coordonnées géographiques du site d'Ain el Hammam

Et on va importer les données météo mensuelles à l'aide de la source des données « PVGIS TMY »

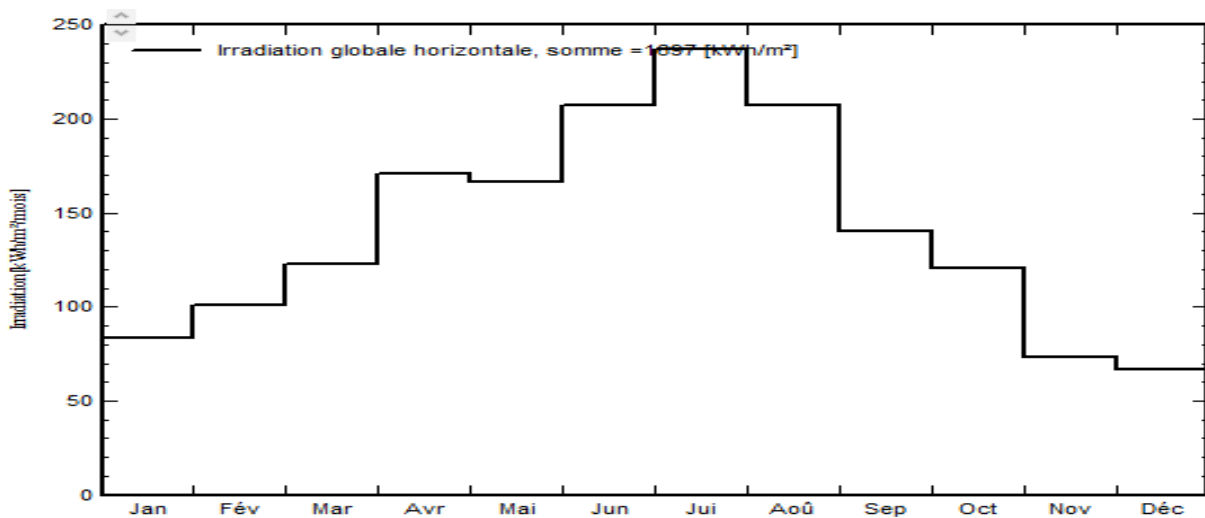


Figure III.8 : Irradiation globale horizontale mensuel du site d'Ain el Hammam

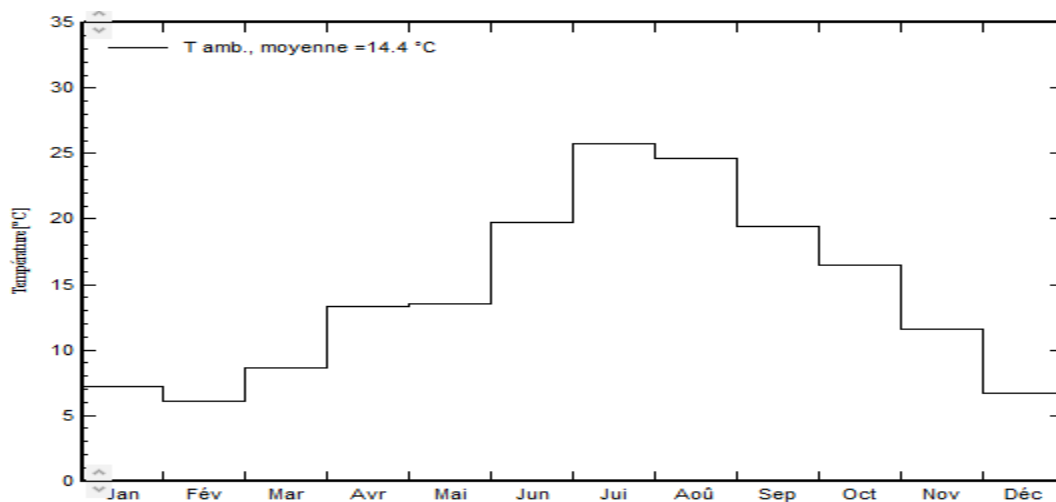


Figure III.9 : Température mensuel du site d'Ain el Hammam

4/ On va sauvegarder le projet.

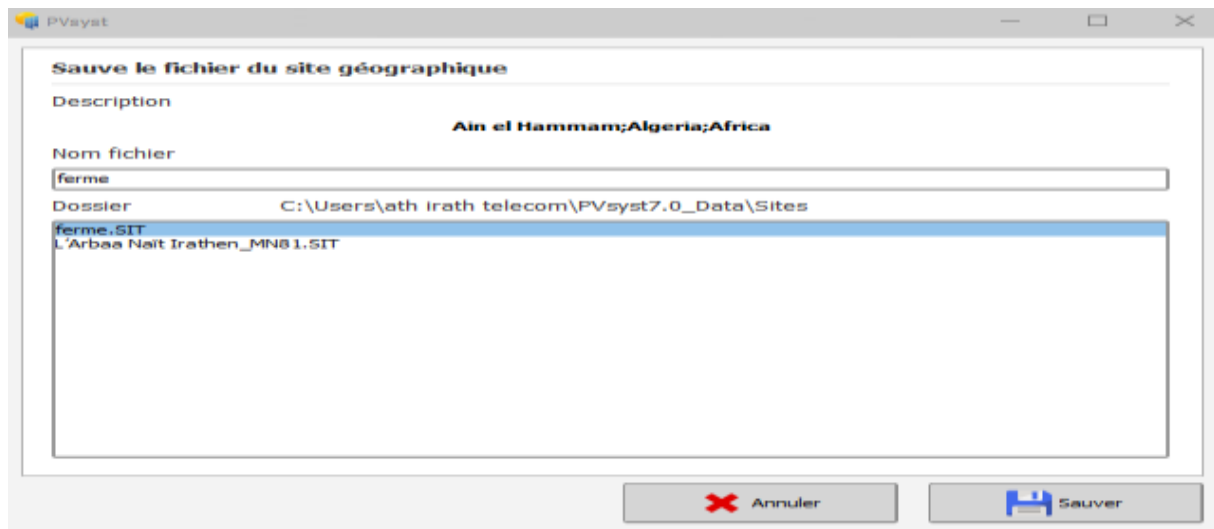
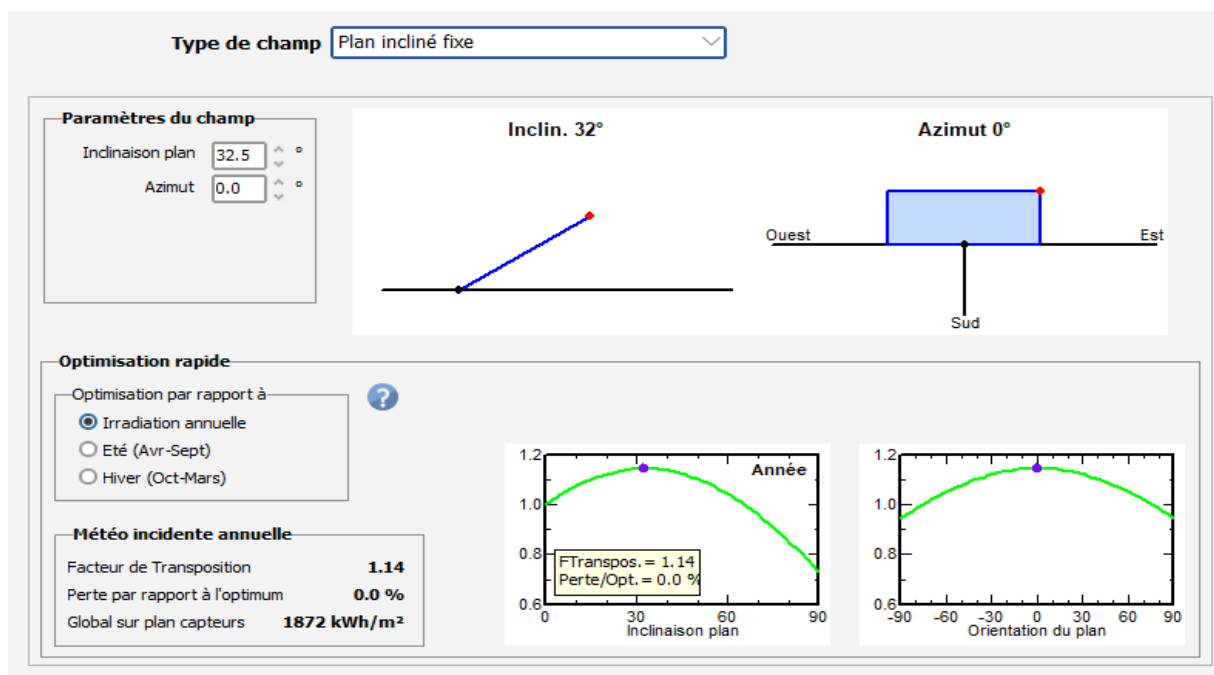


Figure III .10: Sauvegarde du site géographique

5/Orientation des panneaux:

A cette étape, Après avoir défini le site et les données météorologiques du projet, nous pouvons procéder à la création de la première variante. On remarquera qu'au début il y a 2 choix marqués en rouge : "Orientation" et "Besoins de l'utilisateur" on clique sur « orientation » pour déterminer le message requis.

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons optimale de nos panneaux photovoltaïques en fonction de la latitude de notre lieu d'installation.



Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

Figure III .11 : Paramètres d'orientation et d'inclinaison des panneaux solaires

Dans ce cas, nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 32° (par rapport à l'horizontale) comme 'illustre la figure (III.11), après on clique sur « OK ».

6/ Distribution horaire des charges :

Il existe Plusieurs façons pour définir la consommation des récepteurs. En cliquant sur le bouton « besoins utilisateur », vous accédez à l'onglet ci-dessous.

Une fois le menu "Besoins de l'utilisateur" ouvert, on clique sur «Autre profil ».

Définition des usages domestiques journaliers pour Janvier.

Consommation | Distribution horaire

Consommations journalières

Nombre	Appareil	Puissance	Util. journ.	Distrib. horaire	Daily energy
0	Lampes (LED ou fluo)	0 W/lampe	0.0 h/jour		0 Wh
0	TV / PC / Mobile	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
0	Appareils domestiques	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
0	Frigo / Congélateur	0.00 kWh/jour	24.0		0 Wh
0	Machines à laver linge/vaisselle	0.0 W moy.	2.0 h/jour		0 Wh
0	Autres utilisations	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
0	Autres utilisations	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
Consomm. de veille		1 W tot	24 h/jour		24 Wh

Energie journalière totale 24 Wh/jour
Energie mensuelle 0.7 kWh/mois

Définition consommation par
 Années
 Saisons
 Mois

Utilis. Week-end ou semaine
 Utilisation seulement pendant
7 jours dans la semaine

Voir les valeurs de
Janvier [Copier valeurs]

Modèle
Charger | Sauver | Autre profil | Annuler | OK

Aucune appareil défini.

Figure III .12 : Détermination des besoins électriques

La manière la plus souple de définir un profil de charge personnalisé est d'importer un profil de consommation au format CSV.

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Date	Load	charge								
2		[KW]	[KW]								
3	01/01/2024 00:00	14,5	chambre froide/habitation/eclairage								
4	01/01/2024 01:00	14,5	chambre froide/habitation/eclairage								
5	01/01/2024 02:00	14,5	chambre froide/habitation/eclairage								
6	01/01/2024 03:00	14,5	chambre froide/habitation/eclairage								
7	01/01/2024 04:00	14,5	chambre froide/habitation/eclairage								
8	01/01/2024 05:00	24,75	machine de traite vache/extracteur/eclairage/habitation/chambre froide								
9	01/01/2024 06:00	24,75	machine de traite vache/extracteur/eclairage/habitation/chambre froide								
10	01/01/2024 07:00	24,75	machine de traite vache/extracteur/eclairage/habitation/chambre froide								
11	01/01/2024 08:00	16,5	karcher/xtracteur/chambre froide/habitation								
12	01/01/2024 09:00	16,5	karcher/xtracteur/chambre froide/habitation								
13	01/01/2024 10:00	37,55	cuve de refroidissement/test de qualite/eclairage/addministration/chambre froide/habitation/batterie								
14	01/01/2024 11:00	34,4	chambre de fermentation/eclairage/administration/habitation/chambre froide /batterie								
15	01/01/2024 12:00	34,4	chambre de fermentation/eclairage/administration/habitation/chambre froide /batterie								
16	01/01/2024 13:00	31,67	administration/chambre froide/habitation/batterie								
17	01/01/2024 14:00	31,67	administration/chambre froide/habitation/batterie								
18	01/01/2024 15:00	34,67	administration/chambre froide/habitation/batterie/pompage								
19	01/01/2024 16:00	34,67	administration/chambre froide/habitation/batterie/pompage								
20	01/01/2024 17:00	16,75	chambre froide/habitation								
21	01/01/2024 18:00	16,75	chambre froide/habitation								
22	01/01/2024 19:00	18,122	chambre froide/habitation/eclairage								
23	01/01/2024 20:00	18,122	chambre froide/habitation/eclairage								
24	01/01/2024 21:00	18,122	chambre froide/habitation/eclairage								
25	01/01/2024 22:00	14,5	chambre froide/habitation/eclairage								
26	01/01/2024 23:00	14,5	chaambre froide/habitation/eclairage								
27											

Figure III .13 : Distribution horaire des charges sous forme fichier CSV

Après avoir soigneusement préparé ce fichier, on clique sur « Parcourir »

The screenshot shows a software window with the following sections:

- Définitions du fichier:** Graphique
- Fichier de paramètres selon format PVsyst standard (CSV):**
 - Chemin: C:\Users\ath irath telecom\Documents\
 - Fichier: RRRRh.csv
 - Date: 27/04/24 16:52
 - Parcourir button
 - Aucun modèle choisi dropdown
- Besoins horaires de l'utilisateur:**
 - Besoins annuels: 195.0 MWh
 - Charge moyenne: 22.3 kW
 - Charge maximale: 75.1 kW
 - Courant maximum: N/D A
 - Pnom PV installée: 0.00 Wc
 - Pnom. PV / Charge moyenne: 0.00 Rapport
 - Normaliser à: 195.0 MWh/an
- Message d'information:** Ces données contiennent un 29 février. Les fichiers de paramètres sont Données chargées depuis le fichier. Vous pouvez les visualiser sur la page "graphique"
- Stockage pour simul.:** Lire le fichier (selected), Stocker en interne
- Fichier-source CSV:** A preview of the CSV data with columns for Date and Load [KW].
- Preview:** A line graph showing 'Puissance charge [KW]' on the y-axis (0 to 80) and dates on the x-axis (01/01 to 07/01). The graph shows a fluctuating load pattern with peaks around 40 kW.
- Buttons:** Annuler (red X) and OK (green checkmark)

Figure III.14 : Résultats des besoins énergétiques et de puissance totale

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

Une fois le profil de charge est défini, nous pouvons cliquer sur "graphique" pour visualiser le profil de notre charge journalier.

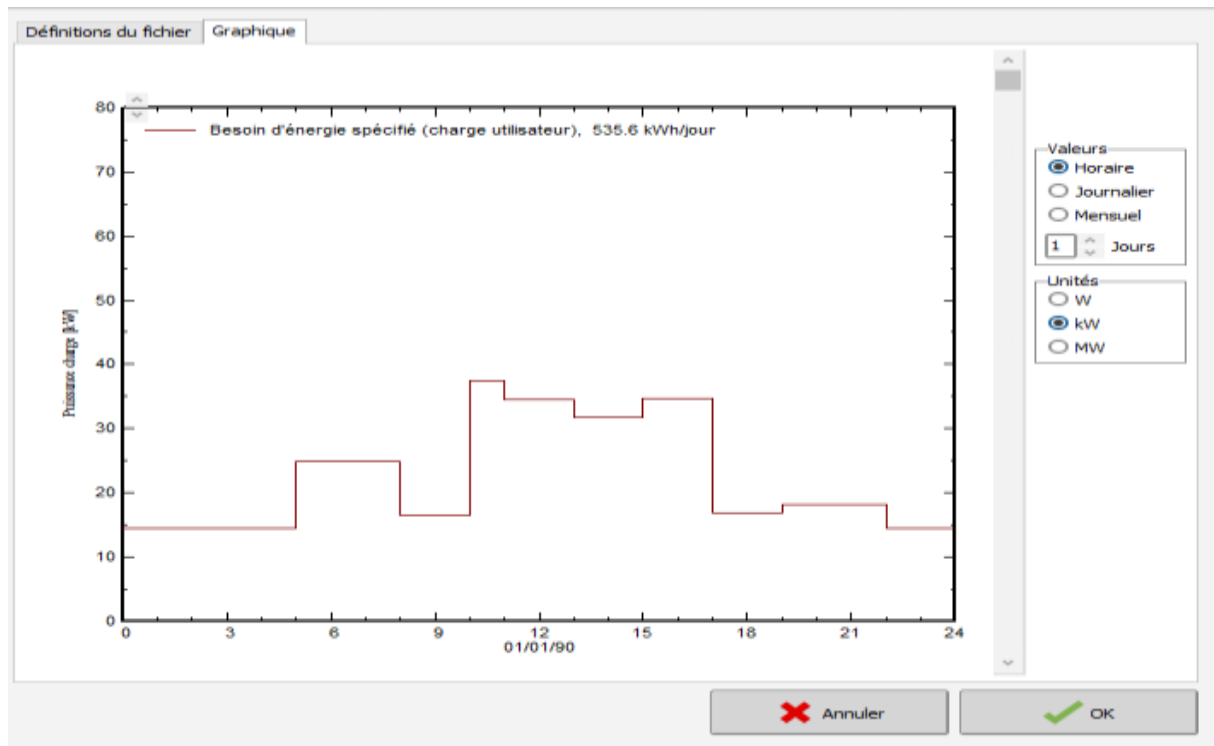


Figure III.15 : Profil de charge journalière constante sur l'année

Donc l'énergie moyenne journalière consommée par la ferme est de 535.6 kWh/jr et On remarque que le max consommation d'électricité enter 10h-11h avec 37550 w crêtes.

Après avoir confirmé l'étape précédente, un autre message apparaît en rouge, on clique sur «système » pour déterminer le message requis

Dans l'onglet "système", nous devons définir :

- Le pack de batteries.
- Le champ photovoltaïque.
- Le régulateur de charge/décharge.

7/Dimensionnement du parc de batteries:

On clique sur « Stockage » pour déterminer tout ce qui concerne les batteries.

Besoins jour. moyens 534 kWh/jour

Déf. la PLOL acceptable 5.0 %

Déf. l'autonomie requise 1.0 jour(s)

Tension batterie (et utilis.) 96 V

Capacité conseillée 6593 Ah

Puissance PV conseillée 200283 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

Procédure

Les suggestions de pré-dimensionnement sont basées sur la météo mensuelle, et les besoins de l'utilisateur

1. - Pré-dimensionnement Définissez les conditions de pré-dimensionnement (PLOL, autonomie, tension batterie)
2. - Stockage Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. - Conception champ PV Définissez le champ PV (Module PV et mode de contrôle). Conseil : commencez avec un régulateur universel !
4. - Appoint Définissez une éventuelle génératrice d'appoint.

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Tous les fabricants 12 V 209 Ah Pb Sealed Gel SG2200H Newmax

Pb-acide

8 batteries en série batteries en parallèle

Nombre de batteries **1008**

Nombre d'éléments **6048**

100.0 % Etat d'usure initial (nb. de cycles)

100.0 % Etat d'usure initial (statique)

Tension du pack batteries **96 V**

Capacité globale **26334 Ah**

Energie stockée (80 % DOD) **2022 kWh**

Poids total **59472 kg**

Nbre de cycles à 80 % DOD **820**

Energie totale stockée durant la vie de la batterie **1784 MWh**

Température batterie en opération

Mode tempér. Fixée (local tempéré)

Température fixée 20 °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie. Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un facteur 2.

Figure III.16 : Paramètres de la batterie

L'autonomie de système de stockage environ une journée C'est le nombre de jours consécutifs qu'en absence du soleil, le système doit être capable pour subvenir aux besoins énergétique et la probabilité acceptable que les besoins ne sont pas couverts par le système (PLOL pour "probabilité de perte de charge)

Nous avons choisi des batteries Pb-acide de 12v avec une capacité de 209 Ah à une température de 20°C, nombre de batteries totale 1008, 8 batteries en série et 126 on parallèle dont la capacité totale est de 26334 Ah.

8/Dimensionnement du champ PV et le régulateur de charge:

Ensuite, On clique sur « champ PV » pour déterminer tout ce qui concerne le module PV et le régulateur de charge.

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

Besoins jour. moyens **534 kWh/jour**

Déf. la PLOL acceptable **5.0 %**

Déf. l'autonomie requise **1.0 jour(s)**

[Pré-dimens. détaillé](#)

Tension batterie (et utilis.) **96 V**

Capacité conseillée **6593 Ah**

Puissance PV conseillée **198005 Wc (nom.)**

Stockage | **Champ PV** | Appoint | Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ

Nom

Orient.. **Plan incliné fixe**

Inclinaison **20°**

Azimut **0°**

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc

... ou surface disponible m²

[Redimens.](#)

Sélection du module PV

Tous les modules Tri modules par Puissance Technologie

Tous les fabricants 570 Wp 37V Si-mono JKM570M-7RL4-V Jinkosolar Datasheets 2021

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **38.3 V**

Vco (-10°C) **58.4 V**

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel Convertisseur de puissance MPPT

Mode d'opération

Couplage direct

Convertisseur MPPT

Convertisseur DC-DC

Courants max. de charge - décharge

Universal controller with MPPT conve

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série doit être: Pas de contrainte

Nb. chaînes entre 138 et 206

Nbre modules 300 Surface 820 m²

Cond. de fonctionnement:

Vmpp (60°C) 77 V

Vmpp (20°C) 89 V

Vco (-10°C) 117 V

Irradiance plan **1000 W/m²**

Imp (STC) 1947 A

Isc (STC) 2075 A

Isc (aux STC) 2051 A

Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C) **171 kW**

Puiss. nom. champ (STC) 171 kWc

Figure III.17 : Paramètres du champ PV et le régulateur de charge

Le type de module choisi dans le cas de cette étude est de type : 570W 37V monocristallin. Avec un champ PV de 300 panneaux (2en série et 150 en parallèle) La surface du champ PV est 820m².

Nous avons choisi un convertisseur MPPT 1000W 96V (1960A – 782A) Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

La figure ci-dessus nous montre les branchements complets d'un système photovoltaïque avec un onduleur, un régulateur et des batteries avec les appareils de protection comme le fusible qui est tous reliée à des différentes charges.

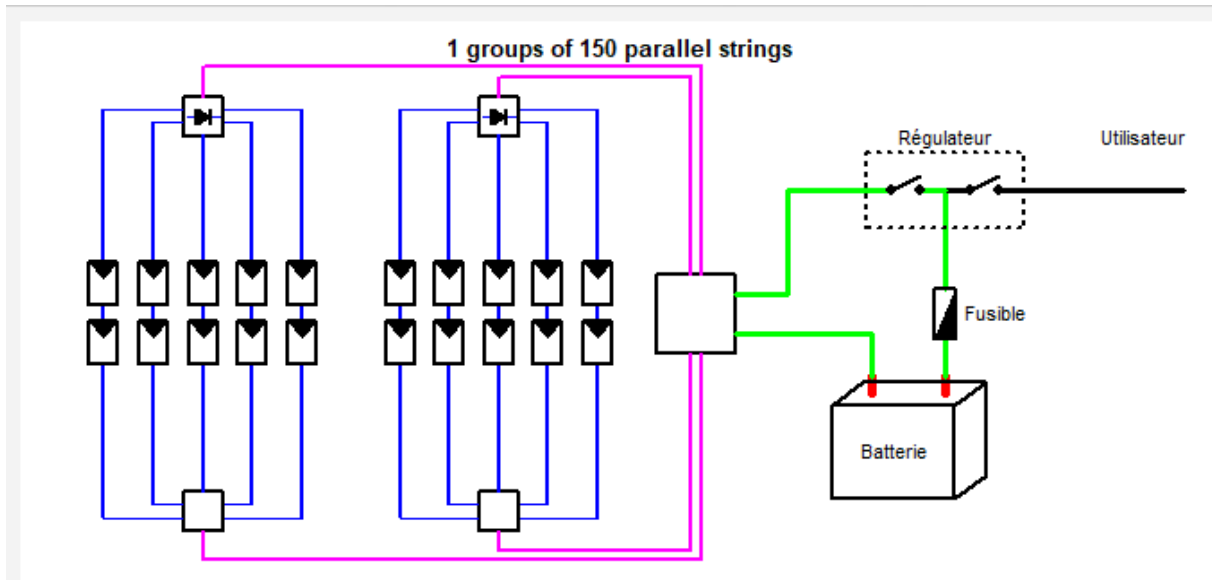


Figure III.18: Schéma de branchement de système

9/Lancement de La simulation :

Enfin, on clique sur « OK » pour sortir et trouver le system prêt à la simulation on cliquant sur « lancer la simulation »

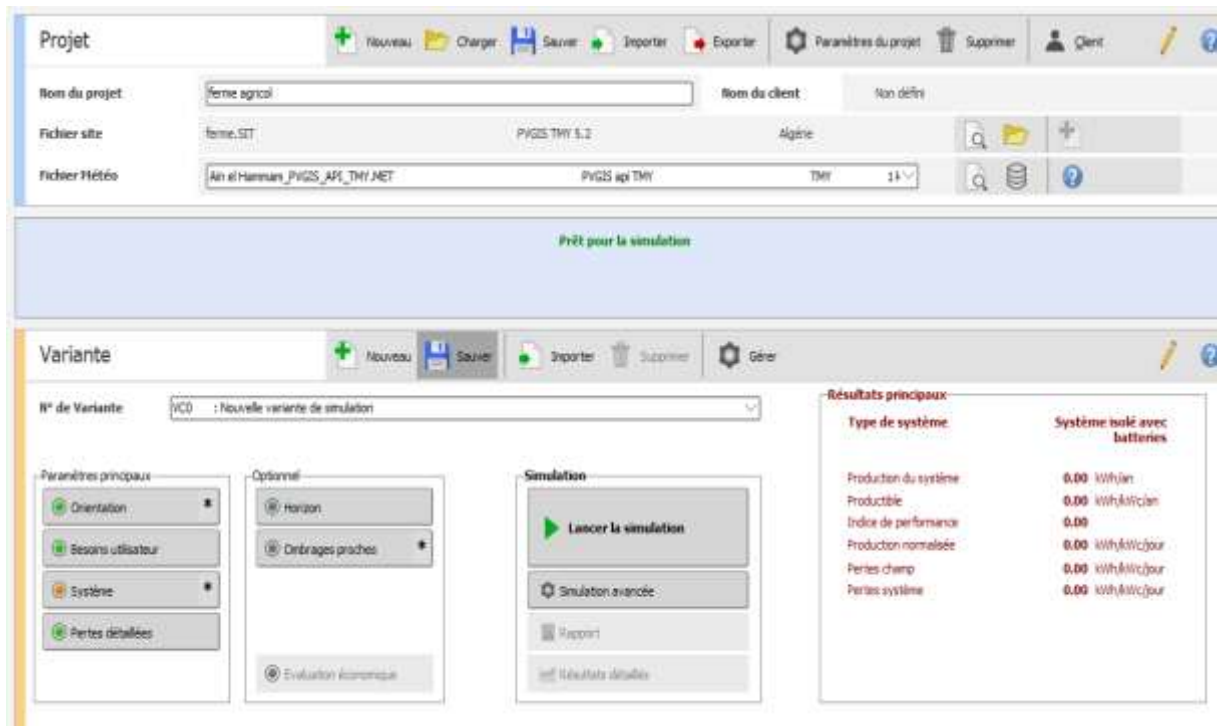


Figure III .19 : Fenêtre d'informations sur le Lancement de La simulation

III.6.2. Rapport finale de la simulation

Le lancement de la simulation nous permet d'accéder aux différents résultats de la conception de notre système photovoltaïque d'une puissance de 171kW à 20 °c.

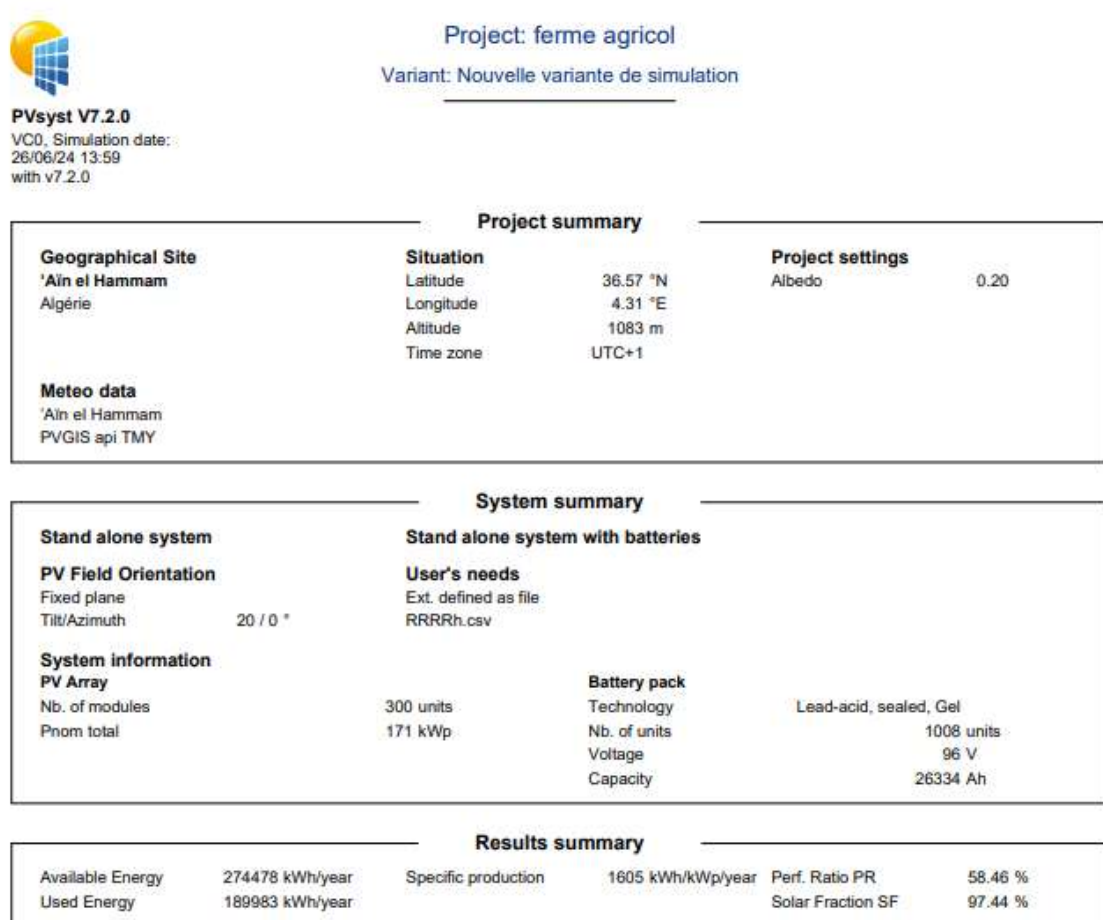


Figure III.20: Résumé du système (le site géographique, et Table des matières)

IV.6.2.1L'indice de performance

L'indice de performance (Performance Ratio) est le rendement de globale du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominale du système tel que:

$$PR = \frac{\text{rendement réel de système}}{\text{rendement nominale de système}} \quad (\text{III. 13})$$

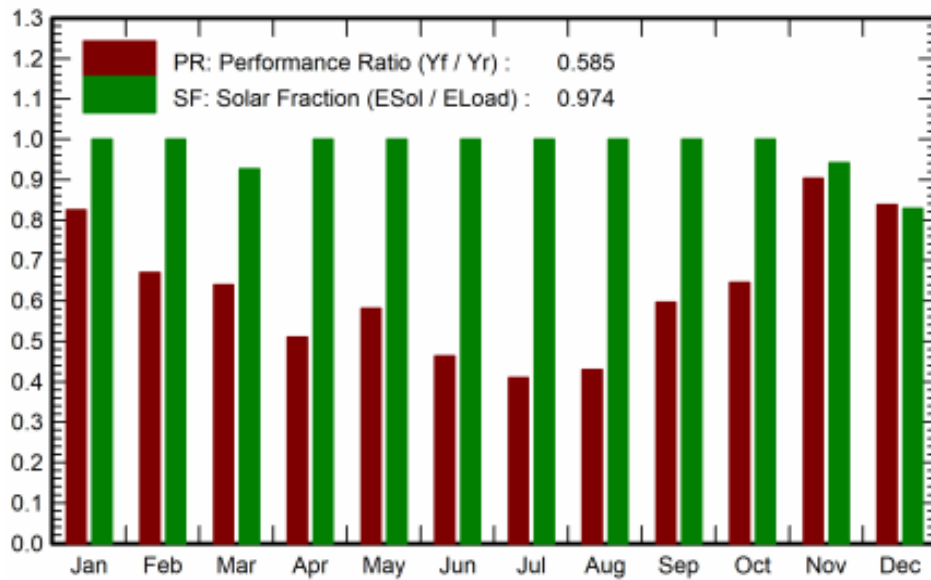


Figure III.21: Indice de performance

IV.6.2.2 Les productions normalisées

La figure III.22 .Montre Les pertes L_C , L_S et L_u sont respectivement les pertes correspondantes au champ PV, les pertes de système de stockage et l'énergie non utilisé.

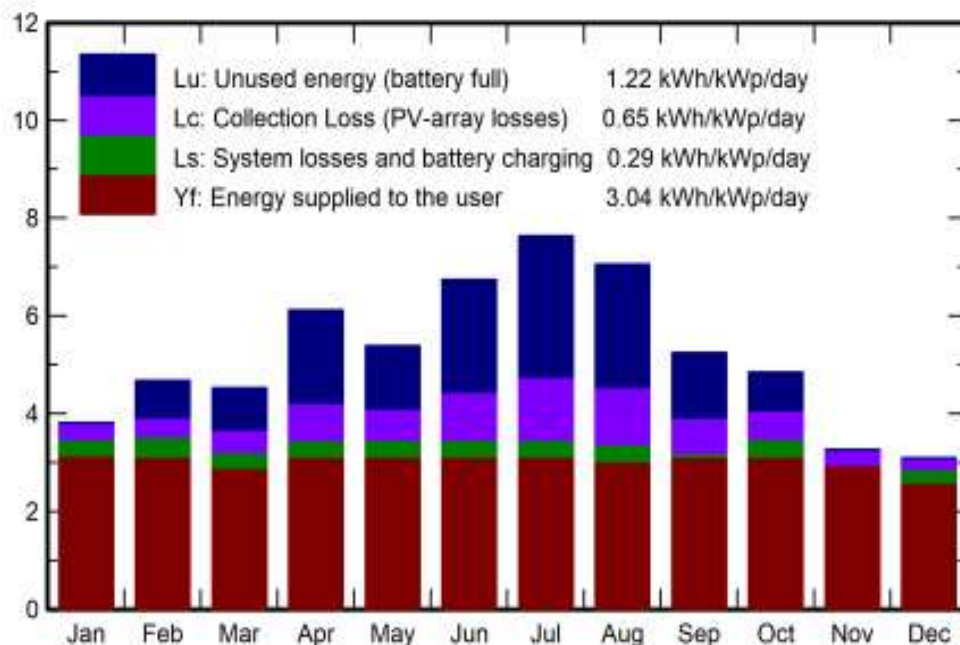


Figure III.22: Productions normalisées

III.6.2.3 Bilan énergétique

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUunused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	83.4	115.6	17688	0	0	16677	16677	1.000
February	100.8	128.3	19804	3622	0	14998	14998	1.000
March	122.9	137.6	20754	4538	1209	15382	16591	0.927
April	171.0	179.9	26656	9711	0	16030	16030	1.000
May	166.7	163.7	24206	6784	0	16600	16600	1.000
June	207.0	198.5	28751	11772	0	16057	16057	1.000
July	237.2	232.4	32903	15293	0	16605	16605	1.000
August	207.6	214.5	30524	13306	0	16069	16069	1.000
September	140.0	154.4	22481	6799	0	16069	16069	1.000
October	120.7	147.4	21813	4107	0	16605	16605	1.000
November	73.1	95.7	14422	0	935	15134	16069	0.942
December	66.6	93.7	14475	0	2848	13757	16605	0.828
Year	1697.0	1861.6	274478	75933	4992	189983	194975	0.974

Tableau III.7: Bilan énergétique du champ PV principale

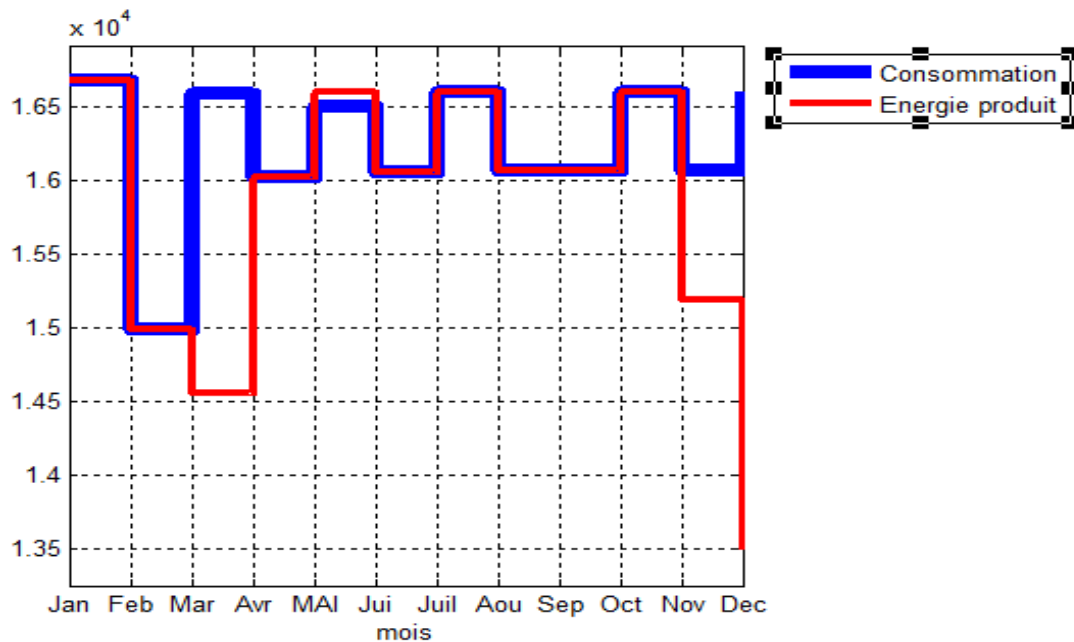


Figure III .23:L'énergie produite par PV principale et la consommation des charges durant une année

Le tableau III.7 et la figure III.23, nous montre le bilan énergétique du champ PV On observe que le besoin énergétique annuel du la charge étant de 194975 KWh/an est plus important par rapport à L'énergie annuelle fournie à la charge par le champ PV est de 189983 KWh/an cela est dû à l'énergie manquante aux mois les plus défavorables (mars novembre et décembre).

III.6.2.4 Diagramme des pertes sur l'année entière

À partir de la figure«III.24», nous constatons les différentes pertes d'énergies, résumées sous forme d'un diagramme, sont très importantes dans le système photovoltaïque. Ceci est

justifié par le fait que le système photovoltaïque est exposé à plusieurs paramètres de dégradation qui est interprété par des facteurs de pertes :

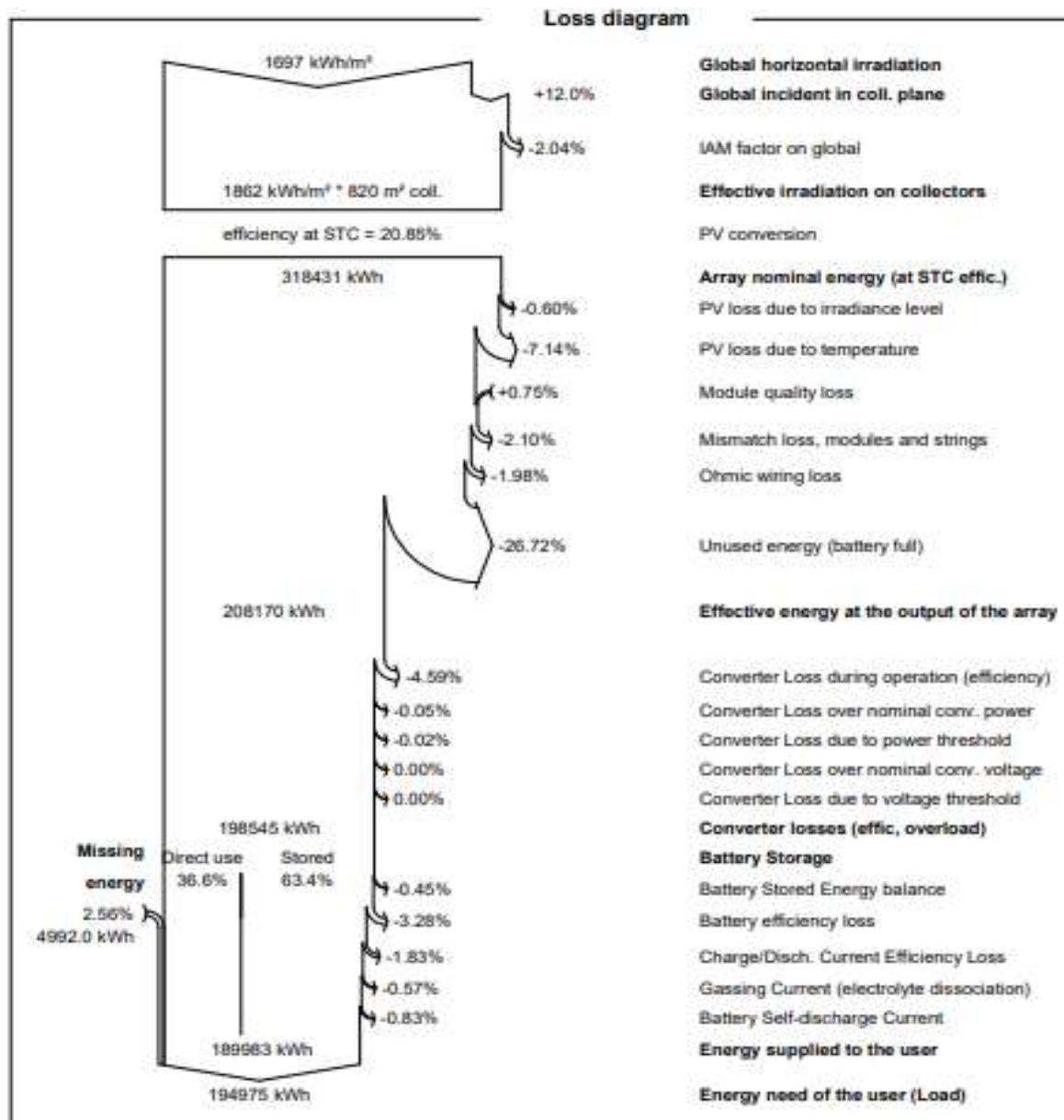


Figure III .24: Diagramme des pertes de champ PV principale

III.7. Discussion des résultats

L'énergie fournie à la charge par le champ PV (Energy supplied to the user=189983 kWh) ne couvre pas le besoin énergétique utilisé par la ferme (Energy need of the user=194975 kWh) et cela dû aux mois les plus défavorables (mars, novembre, décembre) et nous nous retrouvons avec un manque de production d'électricité d'origine photovoltaïque.

Pour répondre à nos besoins énergétique tout au long de l'année nous pouvons envisager d'utiliser deux méthodes

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

- La première solution ajoutant un champ photovoltaïque secondaire.
- La deuxième solution d'intégrer un générateur diesel.

Ce qui compensera la baisse de production pendant les mois défavorables (mars, novembre, décembre).

1. La première solution :

Nom et orientation du sous-champ

Nom:

Orient.: **Plan incliné fixe**

Inclinaison: **56°**

Azimut: **0°**

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc

... ou surface disponible m²

Redimens.

Sélection du module PV

Prod. depuis 2002

Tri modules par: Puissance Technologie

 700 Wp 36V Si-mono Mono 700 Wp Twin half-cells bifacial Depuis 20:

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **37.1 V**
Vco (-10°C) **55.4 V**

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel Convertisseur de puissance MPPT

Mode d'opération

Couplage direct

Convertisseur MPPT

Convertisseur DC-DC

MPPT 1000 W 230 V 17 A 170 A Universal controller with MPPT conve

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série: doit être: Pas de contrainte

Nb. chaînes: entre 34 et 50

Nbre modules 5 **Surface** 16 m²

Cond. de fonctionnement:

Vmpp (60°C) 185 V

Vmpp (20°C) 215 V

Vco (-10°C) 277 V

Irradiance plan **1000 W/m²**

Imp (60°C) 16.7 A Puiss. max. en fonctionnement **3.21 kW**
(à irrad. max. et 50°C)

Isc (60°C) 17.6 A **Puiss. nom. champ (STC) 3.50 kWc**

Isc (aux STC) 17.5 A

Figure III .25 : Les paramètres du champ PV secondaire

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	83.4	147.8	449.5	0.0	0	15	15	1.000
February	100.8	149.1	461.6	0.0	0	0	0	0.000
March	122.9	135.6	415.2	0.0	14666	1925	16591	0.116
April	171.0	156.9	475.1	0.0	0	0	0	0.000
May	166.7	126.8	385.5	0.0	0	0	0	0.000
June	207.0	144.7	432.1	0.0	0	0	0	0.000
July	237.2	174.0	508.3	0.0	0	0	0	0.000
August	207.6	179.4	523.0	0.0	0	0	0	0.000
September	140.0	147.4	436.4	0.0	0	0	0	0.000
October	120.7	162.5	493.8	160.8	0	0	0	0.000
November	73.1	116.5	355.2	0.0	13805	2265	16069	0.141
December	66.6	122.4	380.7	0.0	16605	0	16605	0.000
Year	1697.0	1763.2	5316.6	160.8	45076	4204	49279	0.085

Tableau III .8 : Bilan énergétique du champ PV secondaire

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	83.4	147.8	32134	13980	0.000	16677	16677	1.000
February	100.8	149.1	33180	17561	0.000	14998	14998	1.000
March	122.9	135.6	29719	12496	0.000	16591	16591	1.000
April	171.0	156.9	34112	17385	0.000	16030	16030	1.000
May	166.7	126.8	27585	10412	0.000	16600	16600	1.000
June	207.0	144.7	31034	14264	0.000	16057	16057	1.000
July	237.2	174.0	36598	19312	0.000	16605	16605	1.000
August	207.6	179.4	37679	20691	0.000	16069	16069	1.000
September	140.0	147.4	31356	15747	0.000	16069	16069	1.000
October	120.7	162.5	34871	16741	0.000	16605	16605	1.000
November	73.1	116.5	25338	9177	0.000	16069	16069	1.000
December	66.6	122.4	27146	9308	0.000	16605	16605	1.000
Year	1697.0	1763.2	380751	177074	0.000	194975	194975	1.000

Tableau III.9 : Bilan énergétique du champ PV secondaire et principale

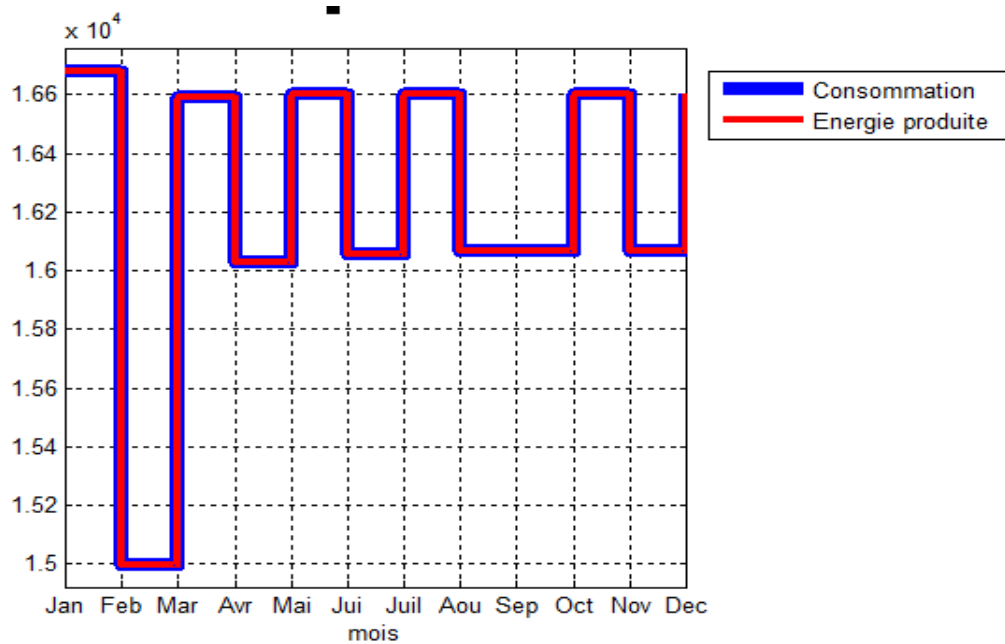


Figure26 : L'énergie produite par le PV et la consommation des charges durant une année

Le tableau III.8 nous montre le bilan énergétique du champ PV secondaire pour les mois défavorables (mars, novembre, décembre). On observe que le champ PV secondaire qui se compose de 5 panneaux en série et un panneau en parallèle compensera la baisse de production pendant les mois défavorables (mars, novembre, décembre).

L'énergie annuelle fournie à la charge est représenté par le tableau III.8 qui nous montre La combinaison entre le bilan énergétique du champ PV secondaire et primaire et cela a provoqué La satisfaction d'énergie produite par le système

Chapitre III: Gestion et supervision de l'électrification d'une ferme agricole isolée

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	83.4	115.5	17693	0	16675	16677	1.000
February	100.8	128.1	19807	3631	14990	14998	0.999
March	122.9	137.4	20754	4760	16584	16591	0.922
April	171.0	179.7	26631	9686	16020	16030	0.999
May	166.7	163.4	24174	6752	16592	16600	1.000
June	207.0	198.2	28706	11730	16044	16057	0.999
July	237.2	232.1	32846	15232	16590	16605	0.999
August	207.6	214.2	30478	13261	16056	16069	0.999
September	140.0	154.2	22457	6774	16059	16069	0.999
October	120.7	147.2	21808	4103	16597	16605	0.999
November	73.1	95.6	14421	0	16069	16069	0.946
December	66.6	93.6	14478	0	16605	16605	0.820
Year	1697.0	1859.3	274255	75928	194881	194975	0.973

Tableau III.10: Bilan énergétique du champ PV avec le générateur diesel

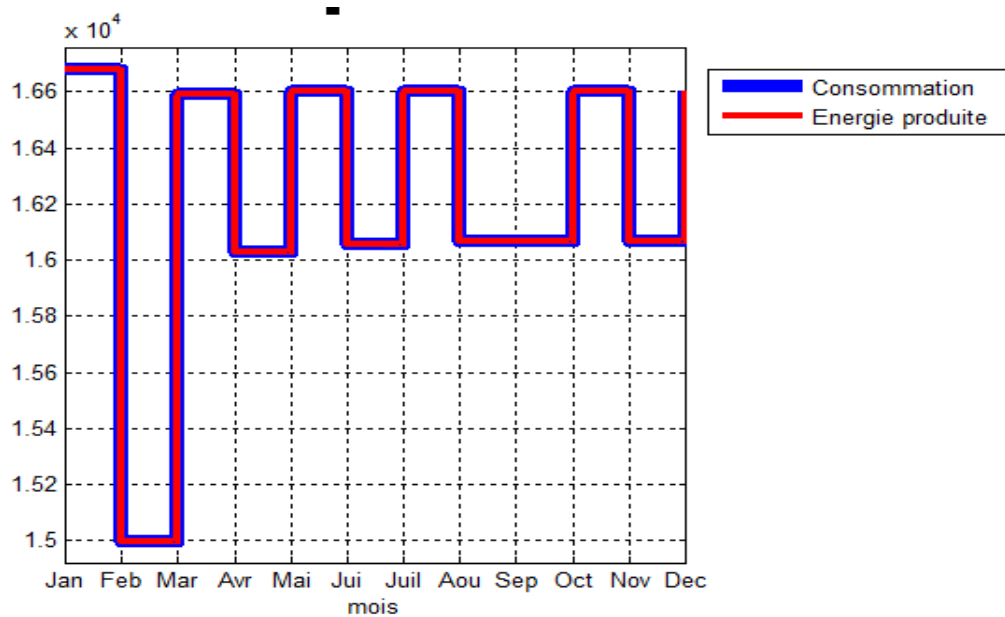


Figure III.29: L'énergie produite par le PV et la consommation des charges durant une année

Le tableau III.10 et la figure III.29 nous montre le bilan énergétique du champ PV avec le générateur diesel pour équilibrera la baisse de production pendant les mois défavorables (mars, novembre, décembre) et cela a provoqué La satisfaction d'énergie produite par le système

D'après les résultats si le cahier de charge est bien respecté, il n'y aura pas de problème en ce qui concerne la fourniture d'énergie.

III.8.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu simuler un système photovoltaïque isolé avec le logiciel *PV_{SYST}* et nous avons étudié pratiquement tous les éléments de l'installation photovoltaïque autonome. Ceci nous a permis de constater que les mois de mars, novembre, décembre sont les plus défavorables en termes d'ensoleillement par rapport aux 09 mois restants. De ce fait, nous avons pu prévoir une solution qui permettra d'exploiter ce manque de production.

III.9.Bibliographies

[1] Larabi Younes, "Etude et modélisation des installations photovoltaïques avec stockage", Mémoire de magistère, Université de Saad Dahlab Blida, 2020.

[2] Amarouayache Mohamed, " Contribution à l'optimisation d'une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque, "Thèse de Doctorat en Sciences, Université Constantine 1, Faculté des Science de Technologie département d'Electrotechnique, 2019.

[3] DAHMANI Chawqi, " Etude et conception d'une installation photovoltaïque à l'aide du logiciel PVSYST, " Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Faculté de Technologie, département d'Electronique, 2020.

Conclusion générale

Le travail qu'on a présenté, concerne l'étude et la modélisation d'un système hybride (PV-GD-Stockage) d'une installation photovoltaïque pour une ferme agricole isolée.

En premier lieu, on a entamé une présentation générale des énergies renouvelables et non renouvelables existantes dans le monde et étudiées les systèmes hybrides à travers différentes configurations impliquant les sources PV, WT, GD, ainsi que le stockage, avec une attention particulière et détaillée du mix énergétique de l'Algérie.

Dans le deuxième chapitre, nous avons établi la modélisation des différents constituants de base de la gamme photovoltaïque.

Finalement dans le dernier chapitre nous avons effectué une étude sur l'électrification d'une ferme agricole isolée de manière autonome au niveau de la commune d'Ain el Hammam, la wilaya Tizi-Ouzou à partir de l'énergie solaire en utilisant une installation photovoltaïque, et d'identifier les équipements électriques et leur puissance mise en jeu pour une consommation mensuelle sur l'année et on a proposé une stratégie de gestion et supervision de l'alimentation électrique de la ferme. Ensuite, nous avons décrit les étapes nécessaires pour effectuer une simulation en utilisant le logiciel « PVsyst » accompagné d'un rapport final.

D'après les résultats finaux de rapport de simulation il s'est avéré que notre système autonome se retrouve avec un déficit de production d'électricité d'origine photovoltaïque pendant le mois de mars, novembre, décembre sont les plus défavorables en termes d'ensoleillement.

Afin de garantir le bon fonctionnement du système et pour compenser la baisse de production d'énergie par le champ photovoltaïque principale nous proposons deux solutions la première et d'ajouter un champ PV secondaire et la deuxième solution d'intégrer un générateur diesel qui fonctionne durant la période de déficit de production et cela a abouti à la satisfaction d'énergie produite par le système.

Bien que, les premiers résultats sont encourageants et il est clair que l'agrivoltaïsme a le potentiel de jouer un rôle important dans le développement des fermes agricoles isolées en Algérie et dans la transition énergétique vers un avenir plus durable.

En fin, Cette étude nous a permis d'enrichir notre connaissance dans le domaine de l'énergie renouvelable et de nous familiariser avec le monde d'agrivoltaïsme.

Les perspectives

Pour augmenter le développement énergétique de notre ferme on peut utiliser:

- Un système PV avec pompage.
- Un système PV principale et éolienne secondaire.

Résumé

Notre projet de fin d'étude consiste à l'étude et le dimensionnement d'une installation photovoltaïques pour l'alimentation électrique d'une ferme agricole isolée, sise à la commune d'Ain el Hammam, la wilaya Tizi-Ouzou. Dans ce faire, nous avons tout à abord déterminé le bilan de puissance énergétique des équipements de la ferme. Ensuite, et en utilisant le logiciel PVsyst on a déterminé le dimensionnement des différents composants des systèmes photovoltaïques, pour l'alimentation électrique de la ferme.

Mots clés : Energie photovoltaïque, dimensionnement, simulation.

Summary

Our end-of-study project consists of the study and sizing of a photovoltaic installation for the electricity supply of an isolated agricultural farm, located in the commune of Ain el Hammam, the Tizi-Ouzou wilaya. To do this, we first determined the energy power balance of the farm equipment. Then, using the PVsyst software, we determined the sizing of the different components of the photovoltaic systems, for the power supply of the farm.

Key words: Photovoltaic energy, sizing, simulation.