

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication

Département d'Electronique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Présenté par :

Lamouri Sabah

Thème:

*Etude de l'optimisation d'énergie dans
un système hybride avec stockage*

Devant le jury :

Mr RACHEDI Mohamed
Mr KADRI Salim
Mr BENCHABANE A.razak

Président
Encadreur
Examineur

UKM Ouargla
UKM Ouargla
UKM Ouargla

Année universitaire 2020/2021

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu et le tout puissant pour la santé, la patience, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

*J'adresse le grand remerciement à mon Encadreur Monsieur **KADRI SALIM** qui m'a proposé le thème de ce mémoire et pour sa gentillesse, son encouragement et son précieux conseil je tiens également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner et évaluer ce mémoire.*

*Je remerciais mes enseignants du département d'électronique de l'université **KASDI MERBAH OUARGLA**. Mes sincères remerciements à **M^{lle} BEDONDA MADJIDA**. je profite aussi de cette occasion solennelle pour adresser mes remerciements à toute ma famille qui ont toujours encouragés et soutenu tout au long des années de mon étude. Je remerciais tous ce qui m'a aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.*

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à : Ma très chère mère
YAYA, pour leurs sacrifices et leur encouragements toute
ma vie. A mon mari RACHED SAHAT pour la
patience qu'il a toujours manifesté à mon égard. A mes
filles Kkadidja et Ala et mes fils Yacine et Amine.
À ceux que j'ai aimé et ceux qui m'ont aimé, et tous mes
proches
Ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail et pour
leurs encouragements.*

SABAT

Liste des figures

<i>Figure (1.1) : LES ENERGIES RENOUVELABLES.....</i>	4
<i>Figure (1.2): PANNEAUX SOLAIRES.....</i>	5
<i>Figure (1.3):CYCLE PHOTOVOLTAÏQUE.....</i>	5
<i>Figure (1.4):LES ENERGIES DE LA EOLIEN.....</i>	6
<i>Figure (1.5): TECHNOLOGIES D'EOLIENNES</i>	7
<i>Figure (1.6):LES ENERGIES DE L'HYDRAULIQUE</i>	8
<i>Figure (1.7):LA PRODUCTION D'ENERGIE PAR LA BIOMASSE.....</i>	9
<i>Figure (1.8):LE PRINCIPE D'ENERGIE GEOTHERMIQUE</i>	10
<i>Figure (2.1):CLASSIFICATION DES SYSTEMES HYBRIDES.....</i>	16
<i>Figure (2.2):SYSTEME HYBRIDE AVEC CONNEXION SERIE.....</i>	18
<i>Figure (2.3):SYSTEME HYBRIDE A COMMUTATION.....</i>	19
<i>Figure (2.4):SYSTEME HYBRIDE A CONNEXION PARALLELE.....</i>	20
<i>Figure (2.5):CLASSIFICATION DES ETUDES</i>	25
<i>Figure (3.1): SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME.....</i>	30
<i>Figure (3.2) : SCHEMA DU PRINCIPE DU SYSTEME.....</i>	30
<i>Figure (3.3) : MODELE SIMPLIFIE D'UNE CELLULE PV.....</i>	31
<i>Figure (3.4) : MODELE EQUIVALENT A DEUX DIODES.....</i>	32
<i>Figure (3.5) : CARACTERISTIQUE COURANT – TENSION DU GPV</i>	32
<i>Figure (3.6) : CARACTERISTIQUE PUISSANCE – TENSION DUGPV.....</i>	33
<i>Figure (3.7): CARACTERISTIQUE COURANT -TENSION POUR DIFFERENT TEMPERATURE.....</i>	33
<i>Figure (3.8):CARACTERISTIQUE PUISSANCE – TENSION POUR DIFFERENT TEMPERATURE.....</i>	34
<i>Figure (3.9): CARACTERISTIQUE COURANT – TENSION POUR DIFFERENT RAYONNEMENT.....</i>	35
<i>Figure (3.10): CARACTERISTIQUE PUISSANCE – TENSION POUR DIFFERENT TEMPERATURE.....</i>	35
<i>Figure (3.11): MODELE IDEAL D'UNE BATTERIE PLOMB-ACIDE.....</i>	36
<i>Figure (3.12): SCHEMA DU CIRCUIT DU SOUS-SYSTEME DE PUISSANCE PV.....</i>	38

Liste des abréviations

CCV : Coût du cycle de vie

PV_{CCV} : Coût de cycle de vie d'un système photovoltaïque

WT_{CCV} : Coût du cycle de vie des éoliennes choisies

Bat_{CCV} : Coût de cycle de vie des batteries

ρ : Densité de l'air (1.275 Kg/m³),

V: Vitesse du vent

A: Surface balayée par le rotor.

C_p: Rendement de la turbine éolienne.

η_{gb} : Rendement du multiplicateur de vitesse.

SOC : L'état de charge des batteries

A_{PV} : Surface des panneaux photovoltaïques en mètres carrés

A_{WT} : Surface balayée par le rotor de l'éolienne.

C_n : Capacité de stockage des batteries

EE: Energie primaire contenue ou intrinsèque.

PV_{EE} : Energie primaire incarnée par le photovoltaïque

WT_{EE}: Energie primaire incarnée par une petite éolienne.

Bat_{EE} : Energie primaire de batterie.

LPSP_{max} : Probabilité d'insatisfaction maximum

I_{Ph}: Courant généré par un panneau photovoltaïque.

I_D : Courant de diode

R_s : Résistance en série dans le modèle d'un panneau photovoltaïque

R_p : Résistance en parallèle dans le modèle d'un panneau photovoltaïque

P_{PV} : Puissance produite par le générateur PV

η_g : Rendement de la génératrice éolienne

A_g : La surface

I_g : L'irradiation [W/m²]

E : Eclairage

SOC_{max} : Etat de charge maximal des batteries

SOC_{min}: Etat de charge minimal des batteries

V₀ : Tension au borne du panneau

R_{bat} : Resistance de batterie

V_{bat} : Tension de batterie

N_s : Batteries en série

N_P : Batterie en parallèle

Sommaire

Table of Contents

<i>Remerciement</i>	I
<i>Dédicace</i>	II
Liste des figures	IV
Liste des abréviations	VII
Introduction générale	1

CHAPITRE I

Etat de l'art sur les systèmes d'énergies renouvelables et la nécessité à l'hybridation de ces systèmes	3
Introduction	3
I.1 les systèmes d'énergies renouvelables :	3
I.1.1.Énergie solaire :	4
Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques.....	6
I.1.2.Énergie éolienne :	6
I.1.3.Énergie hydraulique :.....	7
I.1.4. Biomasse :.....	8
I.1.5.Géothermie :.....	9
I.2 -la nécessité des systèmes hybrides :	10
I.2.1. Définition :	10
I.2.2. Les avantages et les inconvénients d'un système hybride :.....	11
I.2.3. Système hybride étude :	11
I.2.3.1. Système hybride photovoltaïque-éolien :.....	11
I.2.3.2. Principaux composantes d'un système d'étude :	12
Conclusion :	12

CHAPITRE II

Introduction	14
II.1. Systèmes hybrides	14
II.1.1. Définition :	14
II.1.2. Classification :	14
II.1.2.1. Le régime du fonctionnement.....	14
II.1.2.2. La structure du système hybride.....	15
II.1.3. Etudes des systèmes hybrides :.....	16
II.1.3.1. Etudes des structures de systèmes hybrides :	16

II.1.3.1.1. Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle	16
II.1.3.1.1.1. Systèmes photovoltaïque/source conventionnelle :	16
II .1.3.1.1.2. Systèmes éolien/source conventionnelle	20
II.1.3.1.1.3. Systèmes photovoltaïque/éolien/diesel.....	20
II.1.3.1.2. Systèmes hybrides sans source conventionnelle	21
II.1.3.1.2.1. Systèmes hybrides photovoltaïque/stockage	21
II.1.3.1.2.2. Système hybride éolien/stockage.....	21
II.1.3.1.2.3. Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage	22
II.1.3.1.2.4. Systèmes hybrides photovoltaïque/éolien sans stockage	23
II .2. Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides :	23

CHAPITRE III

Introduction :	28
III.1. Critères d'optimisation :	28
III.2. Présentation de système hybride :	29
III.3. MODELISATION DU SYSTEME HYBRIDE.....	31
III.3.1.2. Caractéristique puissance-tension :	33
III.3.1.3. Influence de la température sur les caractéristiques du panneau :	34
III.3.1.4. Influence de l'éclairement sur les caractéristiques du panneau :	35
III.3.2 Modèle de l'aérogénérateur.....	36
III.3.3 Modélisation du stockage :	36
III.3.3.1. Modèle de la batterie :	36
III.3.3.2. Modèle du convertisseur DC/DC :	38

CONCLUSION

Conclusion générale	39
Résumé.....	41

Introduction

Générale

Introduction générale

Depuis le début du siècle, la consommation énergétique mondiale est en très forte croissance dans toutes les régions du monde, l'épuisement rapide des ressources en combustibles fossiles à l'échelle mondiale, a nécessité une recherche rapide pour les sources d'énergie renouvelables.

Dans cette situation, les énergies renouvelables apparaissent comme la solution adéquate qui couvre ce besoin énergétique en diminuant l'inconvénient majeur émis par les énergies fossiles et fissiles: le gaz à effet de serre. Par leur souplesse, elles sont devenues une forme d'énergie indispensable, la facilité d'utilisation et multiplicité des domaines d'activité dans lesquels ils sont appelés à jouer un rôle. Les modes de production et les modes de distribution associés vont connaître de profonds changements dans les prochaines décennies.

Le besoins énergétiques humains actuels, les ressources énergétiques renouvelables représentent une opportunité pour plus de deux milliards de personnes, vivant dans des zones reculées, d'obtenir de l'électricité

Ces filières de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables.

Au regard de notre pays, et de sa situation géographique, l'Algérie favorise le développement et la prospérité de l'utilisation de l'énergie solaire et éolienne, et le défi du développement des énergies renouvelables est plus nécessaire et important.

En effet, ces énergies permettront de plus en plus de couvrir la croissance nécessaire et légitime des services énergétiques de base dans les domaines du développement rural, du logement, de la santé, de l'éducation et, à terme, de l'industrie.

Cependant, la production d'électricité à partir d'une seule des deux sources d'énergie précitées est un objectif qui est souvent limité par le prix de revient final du kWh électrique produit, du fait de la sécurité du vent et de l'interruption du temps de rayonnement solaire qui est un problème de stockage d'énergie. Cependant, cet aspect de ces énergies reste encore aujourd'hui l'un des aspects qui freine le plus leur développement, car ce stockage, et surtout lorsque les régimes de vent sont erratiques ou les temps d'ensoleillement faibles, en représentent souvent une part importante (environ 20%).

Compte tenu des caractéristiques saisonnières de chacune, ces deux énergies ne se concurrencent pas mais au contraire peuvent se renforcer. C'est pourquoi nous proposons ici

un système hybride constitué de ces deux sources d'énergie, qui consiste à optimiser la complémentarité entre elles.

Cette intégration énergétique s'accompagne donc d'un système de stockage assuré par des batteries, et pour cela le volume de stockage optimal en fonction de la part de modélisation des composants qui composent ce système et de la charge d'utilisation.

L'objectif de notre travail est d'étudier un meilleur rendement avec un coût minimal du système hybride photovoltaïque et éolien. Cela entraîne une étude des paramètres de dimensionnement de ce type d'application qui permettra de mettre en évidence les stratégies de contrôles disponibles et d'évaluer les techniques d'optimisations.

Plusieurs travaux ont abordé le problème de cette recherche permettant de tirer le maximum d'énergie des modules PV et éolienne en utilisant différentes méthodes de stockage.

Pour cette raison on présente une méthode de dimensionnement optimale de la taille du système hybride de production d'électricité.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons scindé notre mémoire en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente l'état de l'art sur les systèmes d'énergies renouvelables et la nécessité à l'hybridation de ces systèmes.
- Le deuxième chapitre est consacré à une étude des différents systèmes d'énergie renouvelables hybrides.
- Le troisième chapitre est l'étude d'optimisation optimale d'énergie dans un système photovoltaïque et éolien.

Chapitre I

*Etat de l'art sur les systèmes d'énergies
renouvelables et la nécessité à
l'hybridation de ces systèmes*

Chapitre I

Etat de l'art sur les systèmes d'énergies renouvelables et la nécessité à l'hybridation de ces systèmes

Introduction

La consommation mondiale d'énergie Nous soulevons des questions importantes sur l'impact du réchauffement climatique et l'épuisement des ressources énergétiques. Aujourd'hui, plus de 85 % de l'énergie produite est obtenue à partir de matières fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou l'énergie nucléaire, et la production d'électricité est encore largement dépendante des sources d'énergie classiques, qui s'épuiseront tôt ou tard.

Les formes de production d'électricité basées sur des techniques conventionnelles génèrent une forte pollution de l'environnement par l'émission de gaz à effet de serre qui provoquent un changement climatique irréversible ou, en cas de contamination radioactive nucléaire à long terme posant un problème, encore non résolu, pour le stockage des déchets radioactifs

Parmi les technologies d'énergies renouvelables qui sont un secteur en pleine croissance pouvant produire soit de la chaleur seule, soit de l'électricité seule ou en cogénération : le photovoltaïque (PV) et les éoliennes (E) sont déjà les plus populaires, bien que leur déploiement soit entravé par des coûts et des problèmes élevés technologique.

Cependant, au cours des deux dernières décennies, l'efficacité et la fiabilité des générateurs photovoltaïques et des éoliennes ont été considérablement améliorées et les coûts d'investissement ont été réduits.

Dans ce premier chapitre nous présenterons l'art sur les systèmes d'énergies renouvelables et la nécessité à l'hybridation de ces systèmes. Nous analyserons leurs propriétés physiques et électriques, leurs limites et leurs modèles, ainsi que leurs avantages et inconvénients. Enfin, les différentes composantes qui composent ces sources feront partie de notre intérêt.

I.1 les systèmes d'énergies renouvelables :

Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées sur la conception, l'amélioration, le contrôle et le fonctionnement des systèmes d'énergie renouvelable.

Les efforts de recherche et de développement devraient se poursuivre dans le domaine des technologies d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et d'autres sources d'énergie renouvelables afin d'améliorer leurs performances et leur fiabilité. Au vu des développements récents, ce domaine prend clairement de l'ampleur.

En raison de la nature stochastique des sources d'énergie renouvelables, il est clair que les systèmes d'énergie renouvelable doivent inclure au moins un système de stockage d'énergie pour répondre à la demande de charges à tout moment. Un système de stockage d'énergie peut être un groupe de batteries, un électrolyseur et un assemblage de piles à combustible, un super condensateur ou une combinaison de ces systèmes de stockage.

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, produites à partir de sources différentes *figure (1.1)*.

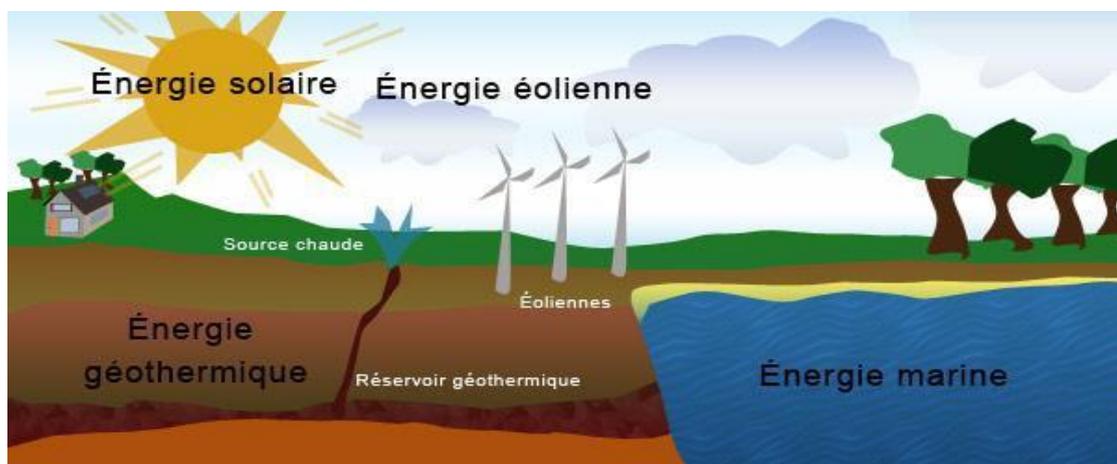


Figure (1.1) : LES ENERGIES RENOUVELABLES.

I.1.1.Énergie solaire :

Ce type d'énergie renouvelable provient directement de la captation du rayonnement solaire. Il utilise des capteurs spécifiques pour absorber et redistribuer l'énergie solaire en deux modes de fonctionnement principaux: Solaire PV (panneaux solaires photovoltaïques) : L'énergie solaire est captée pour produire de l'électricité.

Énergie solaire thermique (chauffe-eau solaire, chauffage, panneaux solaires thermiques): La chaleur du soleil est captée et redistribuée, rarement utilisée pour produire de l'électricité.



Figure (1.2) : PANNEAUX SOLAIRES.

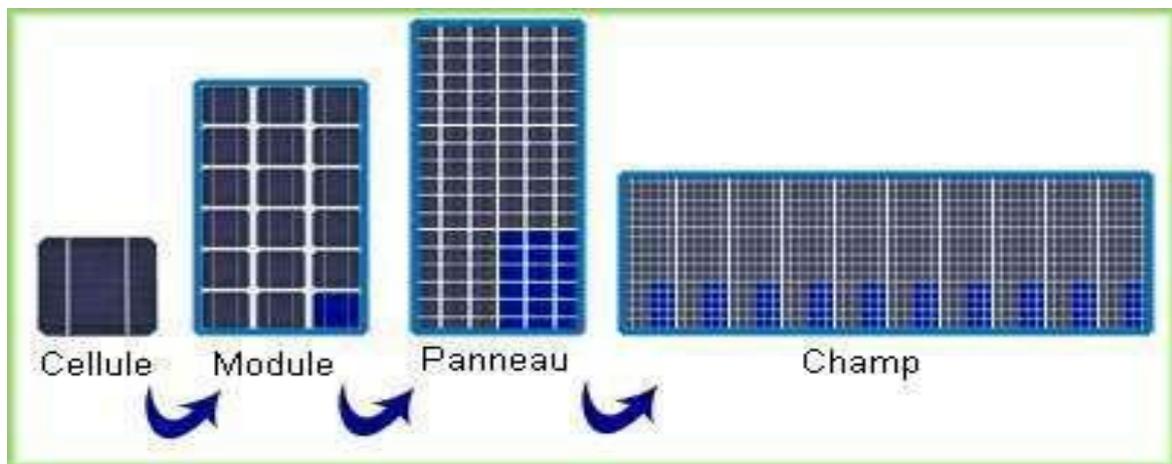


Figure (1.3): CYCLE PHOTOVOLTAÏQUE

Le panneau solaire est composé de plusieurs cellules. Les cellules sont composées de deux couches de silicium, l'une dopée P et l'autre dopée N. Lorsque les photons sont absorbés par un semi-conducteur, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes sont libérés et forment des électrons (charges N) et des trous (charges P). Cela crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel peut être mesurée entre les connexions des bornes positive et négative de la cellule.

Le solaire photovoltaïque est une énergie obtenue en convertissant la lumière en électricité. Cette énergie est obtenue grâce à un phénomène physique appelé effet photoélectrique. Edmund Becquerel déclara en 1839 que le principe est très simple et consiste en l'apparition d'une différence de potentiel aux extrémités de la structure d'un matériau semi-conducteur, résultant de l'absorption de la lumière [1].

Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques

A. Avantages

- La nature modulaire des panneaux photovoltaïques permet un assemblage simple et adaptable pour répondre aux différents besoins énergétiques. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications électriques.
- La technologie photovoltaïque a des caractéristiques environnementales car le produit final est non polluant, silencieux et ne perturbe pas l'environnement.
- Haute fiabilité sans pièces mobiles, ce qui le rend particulièrement adapté aux zones isolées. C'est pourquoi il est utilisé sur les engins spatiaux.
- Il a des coûts d'exploitation très faibles en raison d'un faible entretien et ne nécessite pas de carburant, de transport ou de personnel hautement spécialisé. [2].

B. Inconvénients

- La fabrication de modules photovoltaïques est de haute technologie et nécessite des investissements élevés.
- L'efficacité de conversion réelle de l'unité est faible, environ 10 à 15 %, les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs avec les générateurs diesel que pour les faibles besoins en énergie dans les zones isolées.
- La source n'est pas toujours disponible.
- Occupation de l'espace pour les grandes installations [2].

I .1.2.Énergie éolienne :

Dans le cas de l'énergie éolienne, l'énergie cinétique du vent alimente un générateur qui produit de l'électricité. Il existe plusieurs types d'énergie éolienne renouvelable : éoliennes terrestres, éoliennes offshore, éoliennes flottantes... mais le principe reste globalement le même pour tous ces types d'énergies renouvelables.



Figure (1.4):LES ENERGIES DE L'EOLIEN.

Il existe deux grandes catégories d'éoliennes selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice figure (1.5).

- les turbines éoliennes à axe horizontal.
- les turbines éoliennes à axe vertical.

**A.** Eoliennes à axe horizontal**B.** Eoliennes à axe vertical**Figure (1.5) :**TECHNOLOGIES D'EOLIENNES [7]

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus employées car leur rendement aérodynamique est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et ont un coût moins important [7].

I .1.3.Énergie hydraulique :

L'énergie cinétique de l'eau (rivières, ruisseaux, barrages, courants océaniques et marées) entraîne des turbines qui produisent de l'électricité. Les énergies marines font partie des énergies hydrauliques. La petite hydroélectricité se compose principalement de centrales électriques fonctionnant dans la rivière, ce qui la rend fortement dépendante des débits de la rivière.



*Figure (1.6):*LES ENERGIES DE L'HYDRAULIQUE [4].

I .1.4. Biomasse :

L'énergie provient de la combustion de matières d'origine biologique (ressources naturelles, cultures ou déchets organiques). Il existe trois catégories principales :

Le bois

Le biogaz

Les biocarburants



Figure (1.7): LA PRODUCTION D'ENERGIE PAR LA BIOMASSE [3].

I.1.5. Géothermie :

L'énergie provient de la chaleur dégagée par la terre et stockée sous terre. Selon les ressources et la technologie utilisées, les calories sont soit directement exploitées, soit converties en électricité.

En effet, les énergies renouvelables sont parfois critiquées pour leur moindre efficacité énergétique par rapport aux énergies fossiles. Les coûts de production sont souvent considérés comme plus élevés à court terme. Mais surtout, elles se caractérisent par une disponibilité incertaine : par exemple, les énergies solaire et éolienne ne produisent pas toujours de l'électricité. Ce phénomène est dit intermittent : les éoliennes ne produisent que par intermittence lorsqu'il y a du vent.

Ainsi, pour être utilisables à grande échelle, les énergies renouvelables intermittentes doivent s'accompagner d'infrastructures de stockage d'électricité.

En d'autres termes, vous devriez pouvoir stocker l'énergie qui est surproduite pendant les bonnes périodes (quand il y a beaucoup de soleil et de vent) afin de la redistribuer pendant les périodes creuses, lorsque la production est faible.

Ainsi, il s'agit de construire des batteries ou des systèmes de stockage complexes qui nécessitent de nombreuses ressources naturelles et augmentent la pollution liée aux énergies renouvelables. [4].

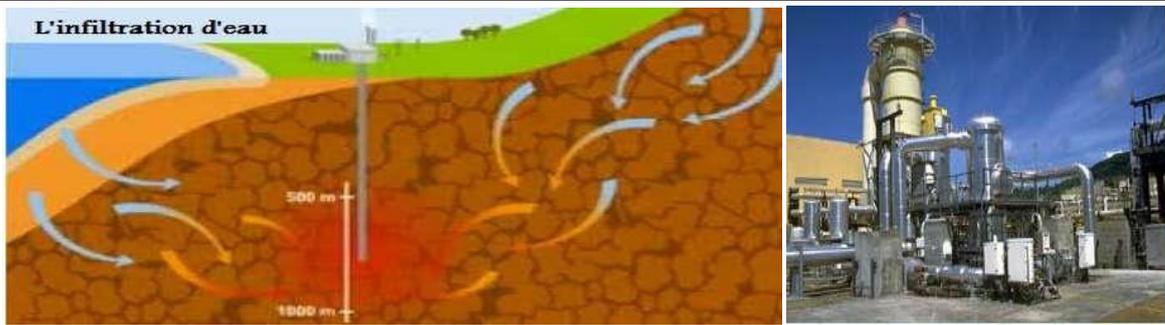


Figure (1.8) : LE PRINCIPE D'ENERGIE GEOTHERMIQUE [4]

I .2 La nécessité des systèmes hybrides :

I .2.1. Définition :

Un système hybride d'énergie est un système qui combine différents Systèmes de production, les systèmes hybrides d'énergie combinent au moins deux technologies complémentaires.

Aujourd'hui, les chercheurs ont trouvé important de manipuler des sources alternatives d'énergie propre et renouvelable. Les sources d'énergie propres et durables sont considérées comme respectueuses de l'environnement contrairement aux sources d'énergie conventionnelles, variant encore une fois selon l'heure de la journée, la saison et l'année.

La combinaison de plusieurs sources d'énergie, notamment renouvelables, permet d'exploiter au maximum les systèmes de production d'électricité, tant sur le plan technique qu'économique. L'hybridation permet de combiner deux ou plusieurs sources d'énergie renouvelables, offrant ainsi au système une disponibilité accrue et un approvisionnement constant des charges électriques.

Les systèmes hybrides d'énergies sont généralement autosuffisants dans les grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans des zones reculées. Les systèmes d'énergies renouvelables hybrides sont fiables, non polluants et répondent à la demande d'énergie sur de longues périodes. [5]

De plus, l'hybridation permet de :

- Lisser la puissance délivrée par la source d'énergie.
- Indisponibilité partielle ou totale de la source d'énergie pendant une durée limitée.

I .2.2. Les avantages et les inconvénients d'un système hybride :

A) Avantages

- Ne comptez pas sur une seule source d'énergie
- Capable de satisfaire des charges évolutives.
- Fonctionnement simple et maintenance et réparation réduites.
- Réduction des coûts liés au cycle de vie électrique des applications.

B) Inconvénients

- Coût d'investissement élevé par rapport aux générateurs diesel.
- Plus complexes que les systèmes électriques isolés, nécessitant un stockage sur batterie et un conditionnement électrique. [6]

I .2.3. Système hybride étude :

I .2.3.1. Système hybride photovoltaïque-éolien :

Un système de production d'énergie hybride est un système qui combine et exploite de nombreuses sources d'énergie. Les sources d'énergie renouvelables, comme l'éolien et les cellules photovoltaïques, ne fournissent pas une énergie constante, ce qui nécessite l'utilisation d'un système de stockage.

En plus des énergies renouvelables, un système hybride peut également inclure un système de distribution de courant alternatif (AC), un système de courant continu (DC), un système de stockage, des transducteurs, des charges, une séparation de charge et possibilité de système de gestion ou de supervision des charges.

Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides conventionnels contiennent deux bus : un bus DC pour les sources et les charges DC et les batteries et un bus AC pour les alternateurs et un système de distribution. [7].

Les sources d'énergies renouvelables peuvent être connectées au bus à AC ou à DC en fonction de la configuration du système. L'interconnexion entre les deux bus peut être réalisée par l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ou convertisseurs bidirectionnels.

En couplant ces systèmes et en les reliant au dispositif de stockage d'énergie, on obtiendra les avantages suivants :

- Exploitation du système sans interruption
- Possibilité de conserver l'énergie excédentaire produite par ce système

- Sécurisation de l'approvisionnement, quelles que soient les conditions météorologiques [8].

I.2.3.2. Principaux composants d'un système d'étude :

Les systèmes hybrides autonome photovoltaïque-éolien comprennent généralement :

- Un système générateur (éolien-photovoltaïque).
- Les batteries de stockage.
- les convertisseurs l'électronique de puissance.
- Une charge (résistive, inductif).

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a donné une brève description des diverses énergies renouvelables, systèmes de stockage et hybrides.

On a opté pour une chaîne hybride composée de deux chaînes de conversion d'énergie éolienne et photovoltaïque avec batteries de stockage. Dans ce domaine, les batteries de stockage et charges auxiliaires, s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelables), celui-ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres charges auxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouent un double rôle : charge et source, elles offrent le meilleur compromis en termes de coût /performance / entretien.

La modélisation des composants du système global qui seront l'objet du chapitre suivant.

Chapitre II

*Présentation et étude des
différents systèmes d'énergie
renouvelables hybride*

Chapitre II

Présentation et étude des différents systèmes d'énergie renouvelables hybride.

Introduction

En respectant l'environnement, les systèmes de production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables, offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs. On propose ici un système hybride composé de deux sources d'énergie (solaire et éolienne) qui consiste en l'exploitation optimale de la complémentarité entre elles.

Dans ce chapitre on va présenter une étude des différents systèmes d'énergie renouvelables hybride, une description et le principe de fonctionnement des différents composants du système hybride éolien-PV seront présentés. Générateur photovoltaïque, éolienne et onduleurs seront proposés. Le système de stockage sera également présenté à la fin du chapitre.

II.1. Systèmes hybrides

II.1.1. Définition :

Le problème avec la puissance variable et non garantie produite par les sources d'énergie renouvelables, peut être résolu par un couplage des sources d'approvisionnement et la formation d'un système dit hybride (SH). Un système hybride à sources d'énergie renouvelables (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage. D'un point de vue plus global, le système énergétique d'un pays donné peut être considéré comme un système hybride.

II.1.2. Classification :

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi. Dans la suite sont présentées les classifications les plus répandues.

II.1.2.1. Le régime du fonctionnement

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique, appelés aussi connectés réseau. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome.

Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc.

II.1.2.2. La structure du système hybride

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système. Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale tout entière.

Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc ...

La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique (centrales hydroélectrique ou utilisation des vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc.

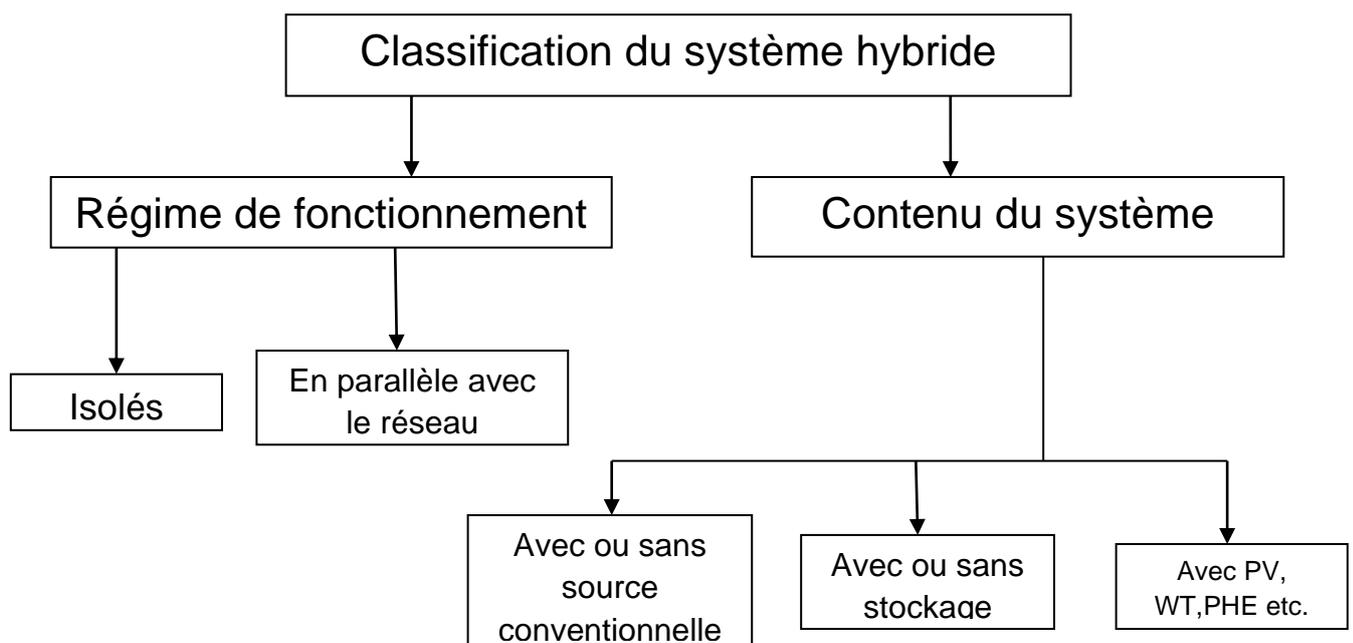


Figure (2.1) : CLASSIFICATION DES SYSTEMES HYBRIDES

Une généralisation de la classification présentée est illustrée sur la Figure (2.1).

II.1.3. Etudes des systèmes hybrides :

Au vue de ces nombreux critères, il est aisé d'imaginer la diversité des études sur les systèmes hybrides disponibles. Une synthèse non exhaustive des études réalisées sur ces systèmes est présentée dans ce paragraphe.

II.1.3.1. Etudes des structures de systèmes hybrides :

II.1.3.1.1. Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle

II.1.3.1.1.1. Systèmes photovoltaïque/source conventionnelle :

Ce type de système hybride est utilisé le plus souvent dans des sites qui se caractérisent par un climat chaud où le potentiel solaire est important.

L'objectif de ces systèmes lorsqu'ils travaillent en mode autonome, est d'alimenter sans interruption une maison, un bâtiment de logements ou administratif. D'autres systèmes alimentent des centres de recherche ou sont également connectés au réseau électrique.

Les systèmes autonomes contiennent souvent des batteries mais aussi d'autres dispositifs de stockage. Les batteries et le champ photovoltaïque produisent du courant continu. Par contre, les moteurs diesel peuvent entraîner des générateurs continus ou alternatifs. Le plus souvent les consommateurs demandent du courant alternatif ; on distingue alors différentes structures de systèmes selon le type de la machine électrique couplée avec le moteur diesel. Ces structures ont été décrites et classifiées selon le type de flux énergétiques par Wickert et al (1999). Chaque configuration, ses avantages et inconvénients sont présentés maintenant.

La première configuration est la connexion série. Dans ce cas, le générateur diesel est connecté sur le bus courant continu. La connexion peut être directe (dans le cas d'un générateur de courant continu) ou à travers un redresseur. L'installation photovoltaïque et la batterie sont aussi liées à ce bus. Le consommateur est alimenté par un onduleur. Le schéma de principe d'un système hybride avec une telle configuration est présenté sur la Figure (2.2).

Dans cette configuration, le générateur diesel peut alimenter la charge à travers les convertisseurs électroniques ou charger la batterie. D'après la stratégie de gestion du système hybride, l'énergie produite par l'installation photovoltaïque peut directement alimenter la charge ou passer par la batterie. Les avantages de cette structure de système sont :

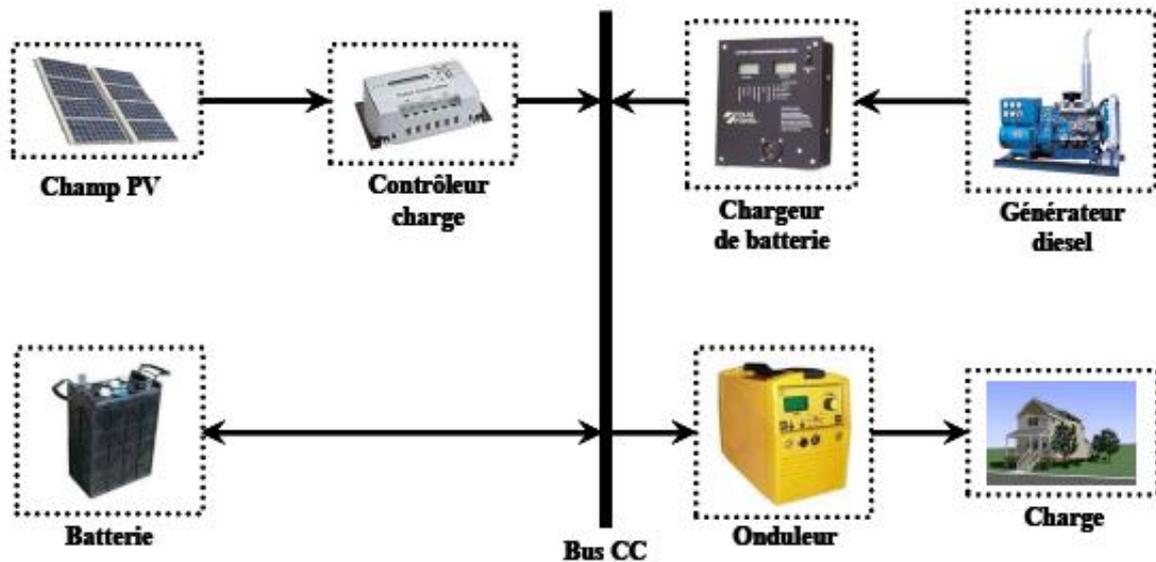


Figure (2.2) : SYSTEME HYBRIDE AVEC CONNEXION SERIE [11]

- Un dimensionnement facile du générateur diesel.
- Un schéma électrique simplifié à cause d'une absence de commutation des sources d'énergie en courant alternatif.
- La mise en marche du générateur diesel n'est pas liée avec une interruption de l'alimentation électrique.
- Grâce à l'onduleur, le consommateur peut être alimenté avec une tension, dont la forme du signal, la valeur et la fréquence sont convenables.

Les inconvénients sont :

- L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel. C'est pourquoi il doit être dimensionné de manière à ce qu'il puisse couvrir la charge maximale possible
- La batterie doit avoir une grande capacité.
- Un rendement relativement faible dans le cas d'un générateur diesel à courant alternatif, parce que la puissance fournie est convertie deux fois avant d'arriver au consommateur.
- Une avarie éventuelle de l'onduleur provoque une coupure totale de l'alimentation électrique.

La deuxième configuration possible est à commutation. Elle est souvent utilisée malgré quelques désavantages. Le consommateur peut être alimenté soit par la source conventionnelle, soit par l'installation photovoltaïque et la batterie via l'onduleur. L'alimentation par les deux

simultanément n'est pas possible. Le générateur diesel peut charger la batterie par l'intermédiaire d'un redresseur. La gestion du système doit être automatique à cause de la complexité du système hybride. Le schéma du système est présenté sur la Figure (2.3).

Les avantages de cette configuration sont :

- Le système possède un rendement plus haut, parce que le générateur diesel peut alimenter directement la charge, d'où une baisse de la consommation de fuel
- L'onduleur peut assurer au consommateur la tension demandée en forme et valeur
- Une avarie de l'onduleur n'engendrera pas l'arrêt complet de l'alimentation électrique, parce que la charge peut être satisfaite par le générateur diesel.

Les inconvénients sont :

- L'apparition d'une coupure instantanée de l'alimentation lors de la commutation des sources
- Le générateur et l'onduleur doivent être dimensionnés pour la consommation maximale du système. De cette façon, ils fonctionnent avec un moindre rendement lors les périodes de faible charge
- Une construction complexe.

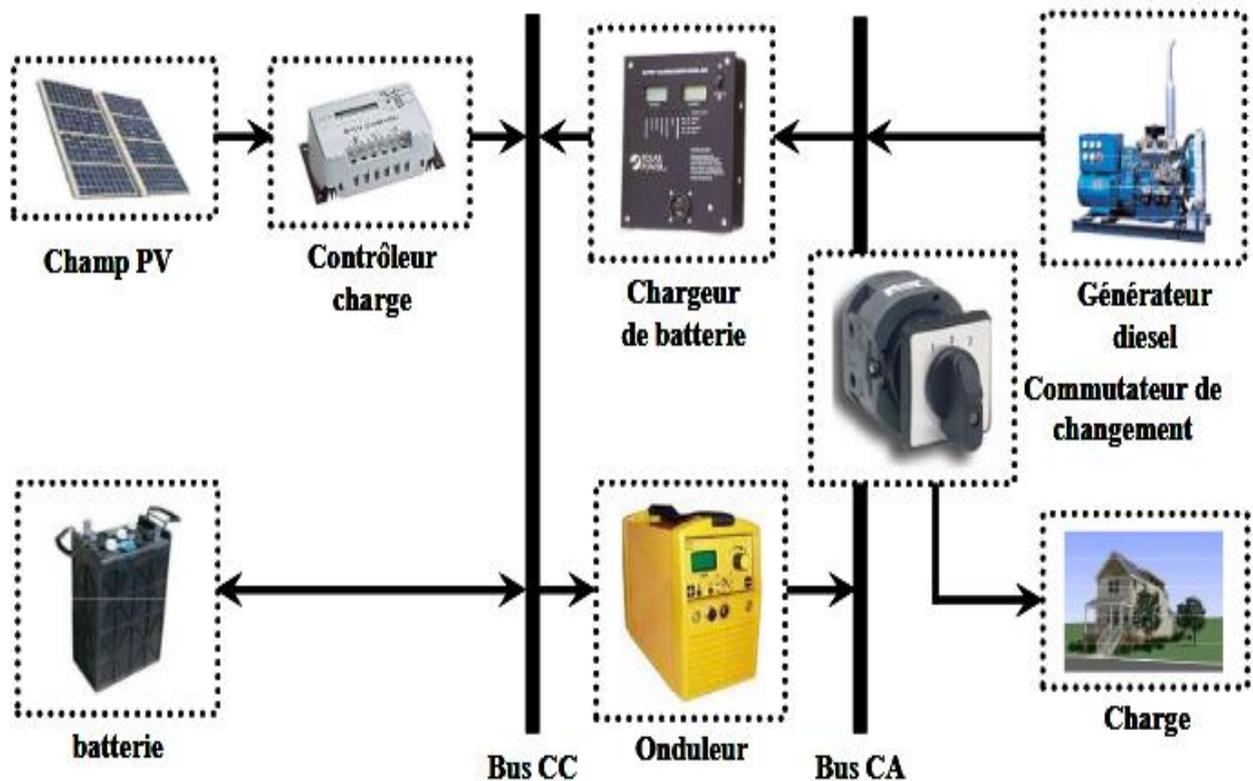


Figure (2.3) : SYSTEME HYBRIDE A COMMUTATION

La dernière configuration d'un système hybride photovoltaïque/source conventionnelle est à connexion parallèle. Ici le générateur diesel est interconnecté sur le bus de courant alternatif. L'installation photovoltaïque et la batterie sont liées sur un autre bus – de courant continu. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel. Il peut travailler soit comme redresseur, lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe dans le chargement de la batterie, soit comme onduleur, quand la charge (ou une part d'elle) est satisfaite par les panneaux photovoltaïques et/ou la batterie. De cette façon, la charge peut être alimentée par les deux bus simultanément. Le schéma d'un tel système hybride est représenté sur la Figure (2.4).

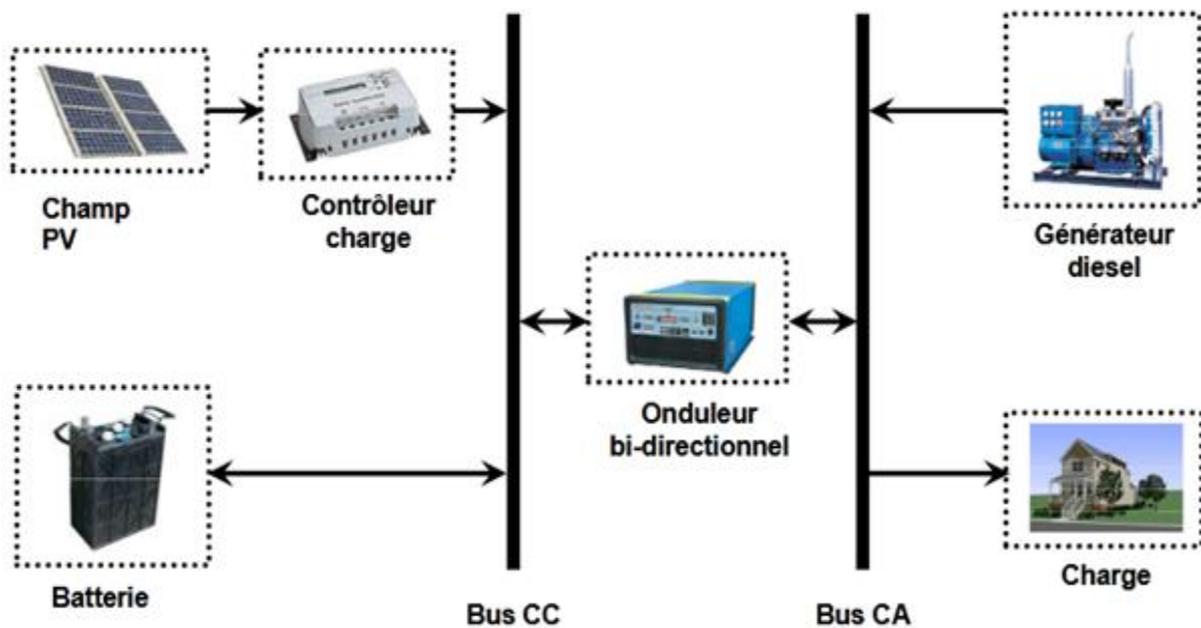


Figure (2.4) : SYSTEME HYBRIDE A CONNEXION PARALLELE [11]

Les avantages de cette configuration sont :

- Les composants du système ne doivent pas être dimensionnés pour la charge totale, parce que le consommateur peut être alimenté par les deux sources en même temps ;
- Un meilleur rendement, parce que les sources fonctionnent avec une puissance plus proche de leur puissance nominale. De plus il n'y a pas une conversion de l'énergie produite par le générateur diesel ;
- Diminution du nombre des convertisseurs électroniques, ce qui diminue le câblage nécessaire et l'investissement initial pour la construction du système hybride ;

- Une avarie du convertisseur électronique ne provoque pas de coupure de l'alimentation de la charge.

Les inconvénients de la configuration sont :

- Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système;
- Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible ;
- Le personnel, qui s'occupe du fonctionnement correct du système, doit être qualifié ;
- Les batteries vieillissent rapidement (pas de chargeur) ;
- Le bus continu est plus difficile à contrôler.

Des systèmes hybrides avec une telle structure ont été étudiés par plusieurs chercheurs.

Les publications, consacrées aux systèmes hybrides photovoltaïques/source conventionnelle présentent des résultats issus de systèmes existants et installés, d'autres examinent la possibilité d'implantation de panneaux photovoltaïques comme source d'énergie supplémentaire dans des installations existantes avec une source conventionnelle. Des auteurs ont réalisé des études théoriques sur l'analyse des processus qui prennent place au sein du système, sur l'optimisation du dimensionnement du système hybride ou sur celle de la stratégie de gestion de l'énergie.

II .1.3.1.1.2. Systèmes éolien/source conventionnelle

Les recherches sur les systèmes hybrides éolien/diesel se distinguent des études sur les systèmes hybrides photovoltaïques car les éoliennes sont capables de produire du courant alternatif identique à celui produit par le générateur diesel. De cette façon il n'y a pas une grande diversité des configurations du système hybride.

Ces systèmes sont plus répandus sur les îles, où les brises de mer et le vent favorisent l'utilisation de l'énergie éolienne pour la production d'électricité. Des études ont été réalisées sur des systèmes installés sur des îles de diverses tailles.

II.1.3.1.1.3. Systèmes photovoltaïque/éolien/diesel

La mise en place d'un tel système a pour objectif de diversifier les sources d'énergie renouvelables. On recherche ainsi une diminution plus significative de la quantité de fuel consommé puisque les sources renouvelables peuvent se compléter et fournir une plus grande quantité d'énergie.

II.1.3.1.2. Systèmes hybrides sans source conventionnelle

Ces systèmes hybrides fonctionnent surtout en mode autonome dans des sites où l'approvisionnement en carburant diesel ou le raccordement au réseau électrique est difficile, voire même impossible. Dans la suite de ce paragraphe sont présentées quatre configurations de système hybride avec ou sans stockage.

II.1.3.1.2.1. Systèmes hybrides photovoltaïque/stockage

L'installation photovoltaïque doit être raccordée avec une autre source d'énergie, pour qu'il soit possible de satisfaire la charge durant la nuit ou par temps nuageux.

Ces systèmes alimentent soit des maisons soit des villages. Certains travaux traitent de modélisation et d'analyse, d'autres de dimensionnement optimisé des composants du système. Le critère d'optimisation le plus souvent utilisé est la probabilité de perte d'alimentation.

Le stockage est parfois idéal, un banc de batteries, un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène ou une combinaison de deux dispositifs de stockage différents comme électrolyseur et batterie ou électrolyseur et super condensateur. L'utilisation de super condensateurs est de conception très récente et sont utilisés pour un stockage très court avec une réactivité de quelques dixièmes de secondes, tandis que l'électrolyseur et le réservoir d'hydrogène permettent un stockage plus important en terme de quantité stockée mais plus lent.

II.1.3.1.2.2. Système hybride éolien/stockage

L'interconnexion du dispositif de stockage avec un générateur éolien peut avoir deux objectifs possibles : soit un rôle de tampon lorsque le système fonctionne en parallèle avec le réseau électrique, le dispositif permet alors de lisser les variations rapides de la puissance électrique en provenance de l'éolienne, soit un rôle de stockage à plus long terme, en régime autonome pour permettre l'alimentation du consommateur lors de périodes de faible vitesse du vent. Le réseau électrique peut être de grande taille ou de faible taille (réseau insulaire).

Les recherches se distinguent aussi par l'intervalle de temps considéré. Dans le cas d'étude de processus à variation lente, des auteurs s'intéressent à l'énergie obtenue par chacune des sources. D'autres études sont réalisées sur les processus de courte durée.

Comme pour les autres systèmes précédemment présentés, ils peuvent alimenter soit un ménage, soit un bâtiment (hôtel) et même un village.

Les modes de stockage étudiés peuvent être une batterie, un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène, une combinaison des deux, un stockage par air comprimé, des aimants

supraconducteurs ou une combinaison d'un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène et un super condensateur.

Lorsque le système opère en parallèle avec le réseau électrique, la stratégie de gestion de la puissance joue un rôle important.

Sur le plan économique, certains auteurs se contentent de donner les prix des divers organes du système, d'autres approfondissent l'analyse économique en calculant le prix de kilowattheure produit.

L'analyse du comportement du système hybride peut être réalisée à partir d'algorithmes de programmation dynamique ou de logiciels commerciaux comme *Matlab* ou *SIMNON*.

II.1.3.1.2.3. Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage

L'inconvénient majeur des deux systèmes hybrides précédemment décrits est le manque de diversité de l'alimentation parce que la ressource primaire utilisée est unique. Cela induit plusieurs des avantages comme par exemple le sur dimensionnement des éléments dont l'objectif est d'assurer une alimentation continue, ce qui va se traduire par un investissement initial élevé (et donc limiter le développement de ces systèmes) et une augmentation du prix de kilowattheure produit. Ces inconvénients peuvent être limités ou même éliminés par l'incorporation d'une seconde source d'énergie.

Les études concernent des systèmes existant, des bancs d'essais ou des travaux théoriques. Dans ce dernier cas, on étudie l'influence de l'ajout d'une seconde source d'énergie dans un système déjà existant ou on élabore un nouveau système hybride. La plupart des travaux concerne l'optimisation de la configuration du système hybride selon divers critères : probabilité minimale de perte de charge, coût minimal du kilowattheure produit, ou combinaison de ces deux critères. Les procédures d'optimisation utilisent soit des algorithmes génétiques, soit des méthodes heuristiques ou de surfaces ou encore des logiciels commerciaux tels que HOMER, Hybrid 2, Matlab et ARENA.

Comme pour les autres systèmes hybrides, ils peuvent assurer l'alimentation des cellules 3G d'opérateurs mobiles, des ménages ou des villages. Ces systèmes fonctionnent le plus souvent en régime autonome, mais il existe des travaux sur des systèmes connectés au réseau électrique.

Les dispositifs de stockage sont plus souvent des batteries, parfois un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène ou une combinaison de batterie et stockage d'hydrogène. Les modèles de comportement ont pour paramètres d'entrée des valeurs de rayonnement solaire et de vitesse de vent horaires, des valeurs moyennes mensuelles ou une distribution statistique de Weibull.

II.1.3.1.2.4. Systèmes hybrides photovoltaïque/éolien sans stockage

Ce type de système hybride s'utilisent très rarement, parce qu'il n'assure pas une sécurité d'alimentation il manque soit une source conventionnelle soit un dispositif de stockage. Pour cette raison, les recherches sur ces systèmes sont rares.

II .2. Logiciels de dimensionnement pour des systèmes hybrides :

La conception des SEH exige la sélection et le dimensionnement de la combinaison la plus appropriée des différents éléments constitutifs du système, ainsi que l'implémentation d'une stratégie de fonctionnement efficace. Les logiciels de dimensionnement sont des outils indispensables pour l'analyse et la comparaison des différentes combinaisons possibles des sources utilisées dans les SEH.

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement et de simulation des systèmes d'énergie hybride parmi lesquels nous pouvons citer: HOMER, SOMES, RAPSIM, SOLSIM, INSEL... Tous ces logiciels ont pour but d'optimiser les systèmes hybrides, mais les stratégies d'optimisation sont différentes.

Parmi les logiciels de dimensionnement les plus connus sont :

- **Hybrid2** – ce logiciel est destiné à l'étude de différents systèmes hybrides avec divers éléments. Il dispose d'outils pour effectuer une analyse économique. La présentation des résultats peut être réalisée de deux manières – des résultats synthétisés ou des résultats détaillés avec variation dans le temps[11].
- **HOMER** (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) – C'est un outil développé par le « National Renewable Energy Laboratory » (NREL) avec ce logiciel, il est capable de dimensionner et d'optimiser des systèmes hybrides qui travaillent en parallèle avec le réseau électrique ou en régime autonome. Il dispose de modèles de générateurs conventionnels et à sources d'énergie renouvelables. De plus, le logiciel contient des algorithmes d'optimisation à l'aide desquels il est possible de choisir le meilleur système hybride[11].
- **RAPSIM**(Remote Area Power Supply Simulator) –
C'est un logiciel de simulation et d'optimisation pour différents modes d'un approvisionnement en courant alternatif. Un dimensionnement optimal est réalisé par tâtonnement. Les utilisateurs changent les paramètres du système (nombre de batteries, d'éoliennes, puissance des générateurs diesels) et jugent le résultat pour choisir la meilleure solution répondant à leurs besoins.

De plus, il faut signaler que l'utilisation de ces logiciels a des inconvénients puisqu'ils limitent les modifications de l'utilisateur et empêchent une analyse approfondie des systèmes hybrides à cause du code protégé [11].

- **SOMES**

C'est un outil de simulation et d'analyse des systèmes d'énergies renouvelables. SOMES est développé par l'Utrecht University, au Pays Bas. Les composants disponibles sont : PV, éolienne, générateur diesel, réseau électrique, batteries de stockage et plusieurs types de convertisseurs. La simulation est réalisée sur une base de temps horaire. Le système optimal est recherché en comparant les coûts de plusieurs systèmes, dans les limites définies par l'utilisateur [9].

- **SOLSIM**

Il est développé en Allemagne. C'est un outil de simulation qui permet aux utilisateurs de concevoir, d'analyser et d'optimiser des systèmes connectés ou pas à un réseau et des systèmes d'énergie hybrides. Des sources d'énergie disponibles consistent en des panneaux PV, en des éoliennes, en des installations de biogaz ou de biomasse, en des batteries et en des générateurs diesels. C'est un logiciel qui comporte des outils différents : un programme de simulation général appelé SOLSIM, une unité d'optimisation de l'angle d'inclinaison des panneaux PV appelée SolOpti, une unité de calcul des coûts du cycle de vie appelée SolCal et l'unité simulant des générateurs éoliens appelée SolWind [9].

- **INSEL**

Il est développé par l'Université d'Oldenburg en Allemagne. Il réalise la simulation des systèmes d'énergie renouvelable. C'est un logiciel avec une interface graphique en blocs. Chaque bloc représente un composant d'une puissance prédéterminée. Les utilisateurs doivent sélectionner des blocs à partir d'une bibliothèque et les interconnecter pour construire un diagramme représentant les systèmes d'énergie à étudier.

En somme, un nombre très limité de logiciels permet d'optimiser la conception de systèmes multi-sources et en particulier les systèmes hybrides éolien-photovoltaïque avec batteries, et encore les optimisations sont faites par variation de la combinaison des composants. En fait, la plupart de ces outils servent à simuler un système donné prédéfini par l'utilisateur et sont plutôt dédiés à évaluer une certaine configuration du système et à visualiser manuellement l'effet d'un changement dans ses paramètres [9].

La classification des études générales est systématisée sur la Figure (2.5).

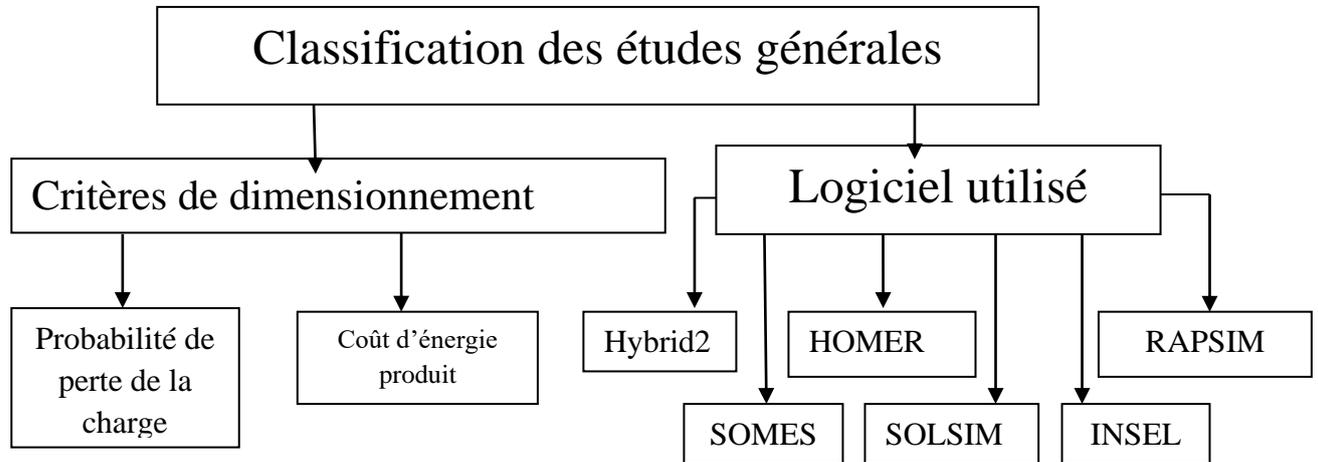


Figure (2.5) : CLASSIFICATION DES ETUDES

II. 3. Système de stockage :

Le stockage de l'énergie électrique constitue une des composantes d'un futur de développement durable. Différents méthodes de stockage d'énergie pouvant être différenciées en deux catégories :

1 - **Stockage à long terme (les batteries)** : est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de la décharge.

2- **Stockage à court terme (le stockage inertiel, Les super-condensateurs)**: Les super-condensateurs électrostatiques dans lesquels l'énergie est donc stockée dans la double couche électrique, et Les super-condensateurs électrochimiques

Conclusion :

Dans ce chapitre on va présenter une étude des différents systèmes d'énergie renouvelables hybride , une description et le principe de fonctionnement des différents composants du système hybride éolien-PV sont présentés. Générateur photovoltaïque, éolienne et onduleurs seront proposés, avec les différents logiciels de dimensionnement et de simulation des systèmes d'énergie hybride.

Compte tenu de la nature aléatoire des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des SEH comportant ce type de sources est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge.

Tous ces logiciels ont pour but d'optimiser les systèmes hybrides, mais les stratégies d'optimisation sont différentes.

Le dernier chapitre sera consacré à la simulation du système global (système hybride et une charge variable) et la discussion des résultats obtenus.

Chapitre III

*L'optimisation optimale
d'énergie dans un système
d'énergie PV/ éolienne*

Chapitre III

L'optimisation optimale d'énergie dans un système d'énergie PV/ éolienne :

Introduction :

Les sources d'énergie renouvelables, comme l'éolien et les cellules photovoltaïques, ne fournissent pas une énergie constante, ce qui nécessite l'utilisation d'un système de stockage.

Nous allons passer maintenant à la phase d'optimisation du dimensionnement du système complet en tenant compte des critères cités précédemment à savoir : la satisfaction des besoins en électricité pour l'habitat résidentiel, le coût énergétique au cours du cycle de vie ainsi que le coût économique du système entier. Ce chapitre est donc consacré à la problématique de l'optimisation du dimensionnement. Plusieurs approches sont passées en revue, allant d'une optimisation mono objective à multi-objective et évaluant le coût économique et écologique de chacune de ces solutions. Les résultats montrent un impact environnemental faible et un coût raisonnable du point de vue économique ainsi qu'une satisfaction de la charge dans les limites autorisées. A la fin de ce chapitre, une évaluation d'un logiciel existant est menée et permet de valider la méthode développée dans nos travaux.

III.1. Critères d'optimisation :

Notre objectif est de trouver la meilleure configuration possible entre le générateur photovoltaïque (A_{pv}), l'éolienne (A_{wt}) et la capacité de stockage des batteries (C_n) afin de satisfaire les besoins en énergie de la charge avec un impact environnemental minimal en terme d'énergie primaire associé à un coût économique le plus réduit. A_{pv} , A_{wt} et C_n seront les variables de décision.

Différents critères sont utilisés pour optimiser le système en fonction du lieu d'installation. Les fonctions objectives à optimiser sont alors les suivantes:

- Fonction coût économique :

Parmi les objectifs d'optimisation, il y a la minimisation du coût du cycle de vie (CCV) du système.

$$CCV = PV_{CCV} + WT_{CCV} + Bat_{CCV} \quad (3.1)$$

CCV : Coût du cycle de vie

PV_{CCV} : Coût de cycle de vie d'un système photovoltaïque

WT_{CCV} : Coût du cycle de vie des éoliennes choisies

Bat_{CCV} : Coût de cycle de vie des batteries

• Fonction coût énergétique :

Un autre objectif de la procédure d'optimisation est de minimiser le coût en termes d'énergie primaire contenue (EE [MJ]) en fonction de la taille des panneaux (A_{pv}), de la surface balayée par le rotor de l'éolienne (A_{wt}) et de la capacité des batteries installés (C_n) :

$$EE \text{ [MJ]} = PV_{EE} \text{ [MJ]} + WT_{EE} \text{ [MJ]} + Bat_{EE} \text{ [MJ]} \quad (3.2)$$

L'un des objectifs de la procédure d'optimisation est de trouver la combinaison entre les différents éléments du système électrique hybride qui garantissent un LPSP inférieur au maximum autorisé par l'utilisateur.

LPSP max : Probabilité maximale d'insatisfaction de la demande autorisée par le consommateur pour la période considérée T.

La fiabilité du système d'alimentation est considérée comme un critère primordial au processus de conception des systèmes hybrides, la fiabilité du système est exprimée en termes de probabilité d'insatisfaction de la demande LPSP [%] [9].

III.2. Présentation de système hybride :

Pour les applications autonomes, un système hybride de production d'énergie solaire et éolienne a été proposé, qui est devenu une solution intéressante. La combinaison de sources d'énergie solaire et éolienne peut offrir une meilleure fiabilité, réduire le volume de stockage d'énergie et rendre leur système hybride plus économique. [1].

Le système hybride considéré comprend deux parties pour la production d'énergie par stockage électrochimique comme le montre la figure (3.1) suivante:

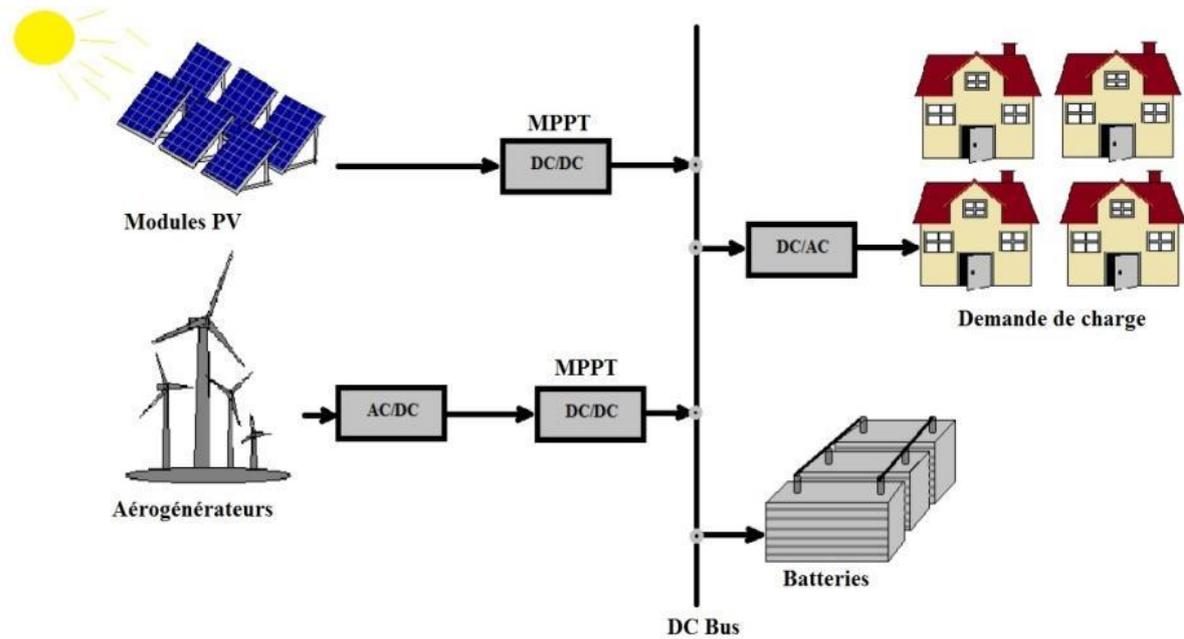


Figure (3.1) : SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME

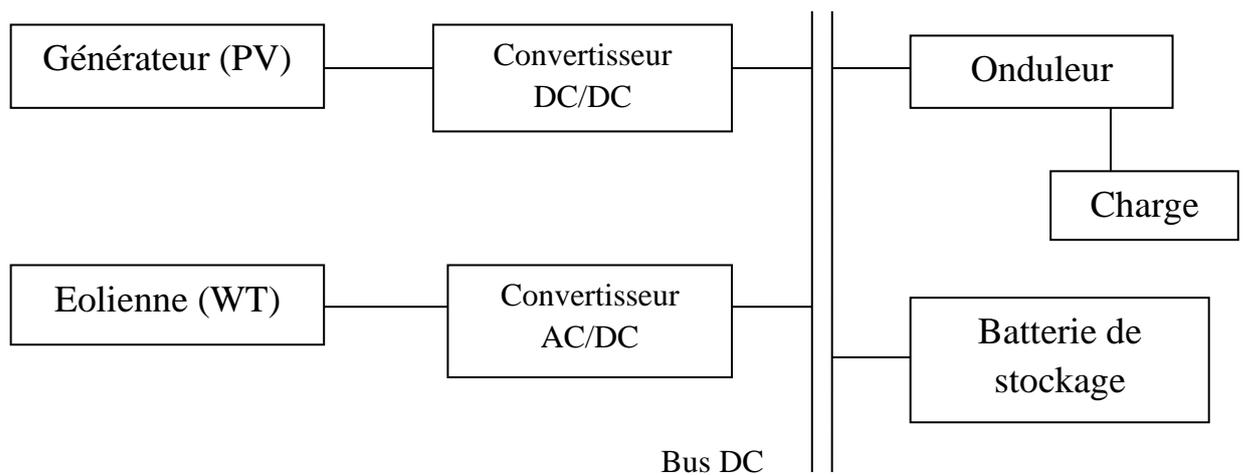


Figure (3.2) : SCHEMA DU PRINCIPE DU SYSTEME

En plus des sources d'énergie renouvelable, un système hybride peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif(CA), un système à courant continu(CC), un système de stockage, des convertisseurs de puissance, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un système de supervision.

III.3. MODELISATION DU SYSTEME HYBRIDE.

III.3.1 Modèle du module PV :

Une cellule photoélectrique peut être comparée à une diode photosensible, son fonctionnement dépend des propriétés des matériaux semi-conducteurs. La cellule photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Son principe de fonctionnement est basé sur l'effet photoélectrique [3].

La cellule est constituée de deux fines couches de semi-conducteurs. Ces deux couches sont caractérisées différemment. Pour la couche N c'est un apport d'électrons terminaux et pour la couche P c'est un déficit d'électrons. Donc les deux couches représentent une différence de potentiel.

L'énergie des photons lumineux captés par les électrons environnants (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et de générer un courant électrique continu. Pour collecter ce courant, les électrodes sont déposées par sérigraphie sur deux couches de semi-conducteurs. Le pôle supérieur est un maillage qui laisse passer les rayons lumineux. Une couche antireflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'augmenter la quantité de lumière absorbée [4].

Le modèle à une diode est le modèle le plus classique de la littérature [6]. Il fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, deux résistances (série et shunte) pour les pertes, le modèle d'une cellule est celui de la figure ci-dessous Figure (3.3).

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant I_{Ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV. Si l'on connecte une charge résistive aux bornes du générateur photovoltaïque, ce dernier y débite une part de courant I et le reste, le courant I_D , dans la diode. On a alors la relation :

$$I = I_{Ph} - I_D \quad (3.3)$$

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$V = V_D$$

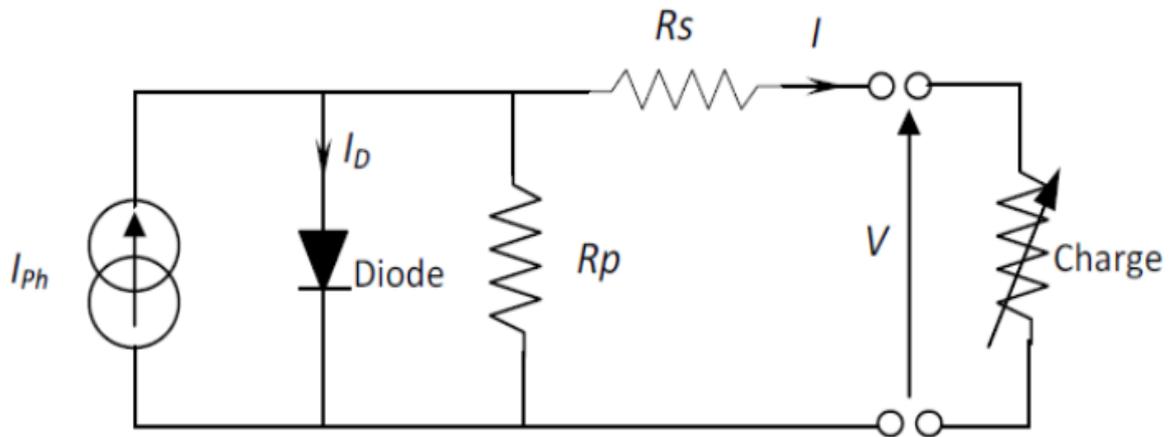


Figure (3.3) : SCHEMA ELECTRIQUE EQUIVALENT D'UNE CELLULE PV, MODELE A UNE DIODE

Une cellule PV (figure 3.3) fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule et deux résistances (série et shunt) pour les pertes. Les résistances R_s et R_p permettent de tenir compte des pertes liées aux défauts de fabrication ; R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_p caractérise les courants de fuite dus à la diode et aux effets de bord de la jonction.

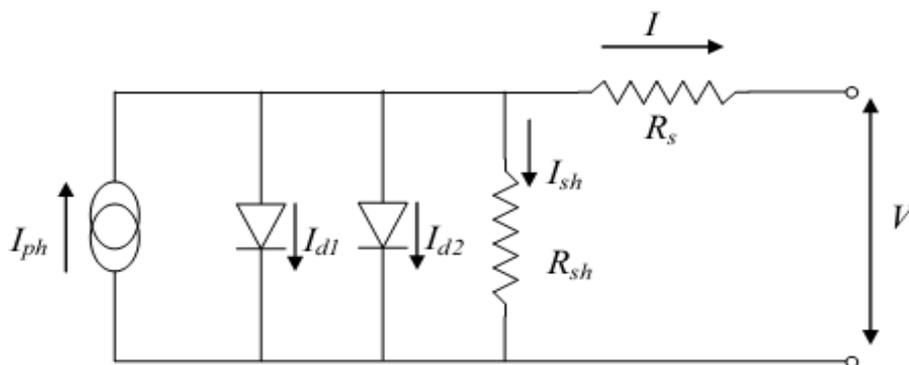


Figure (3.4) : MODELE EQUIVALENT A DEUX DIODES

La puissance électrique générée par les panneaux photovoltaïques est donnée par :

$$P_{pv} = \eta g \cdot A_g \cdot I_g \quad (3.4)$$

ηg : rendement du module qui dépend de la température de la cellule et par conséquent de la température ambiante.

A_g : sa surface.

I_g : l'irradiation [W/m^2].

III.3.1.1. Caractéristique courant-tension :

Pour une température ambiante $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ et un éclairement $E=1000\text{W/m}^2$, on représente la caractéristique courant – tension figure (3.5)

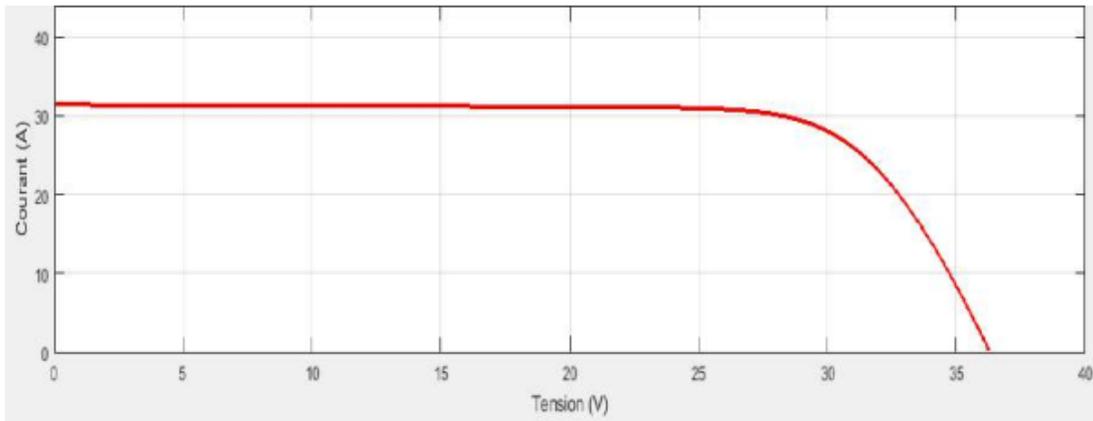


Figure (3.5) : CARACTERISTIQUE COURANT – TENSION DU GPV

III.3.1.2. Caractéristique puissance-tension :

Pour une température ambiante $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ et un éclairement $E=1000\text{W/m}^2$, on représente la caractéristique puissance – tension

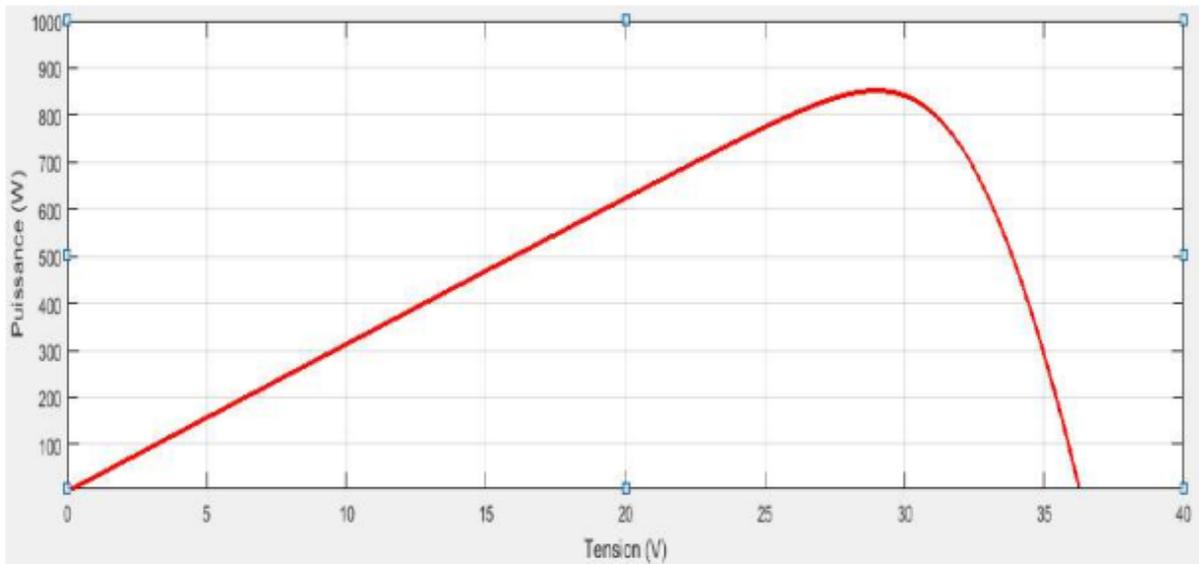


Figure (3.6) : CARACTERISTIQUE PUISSANCE – TENSION DU GPV

III.3.1.3. Influence de la température sur les caractéristiques du panneau :

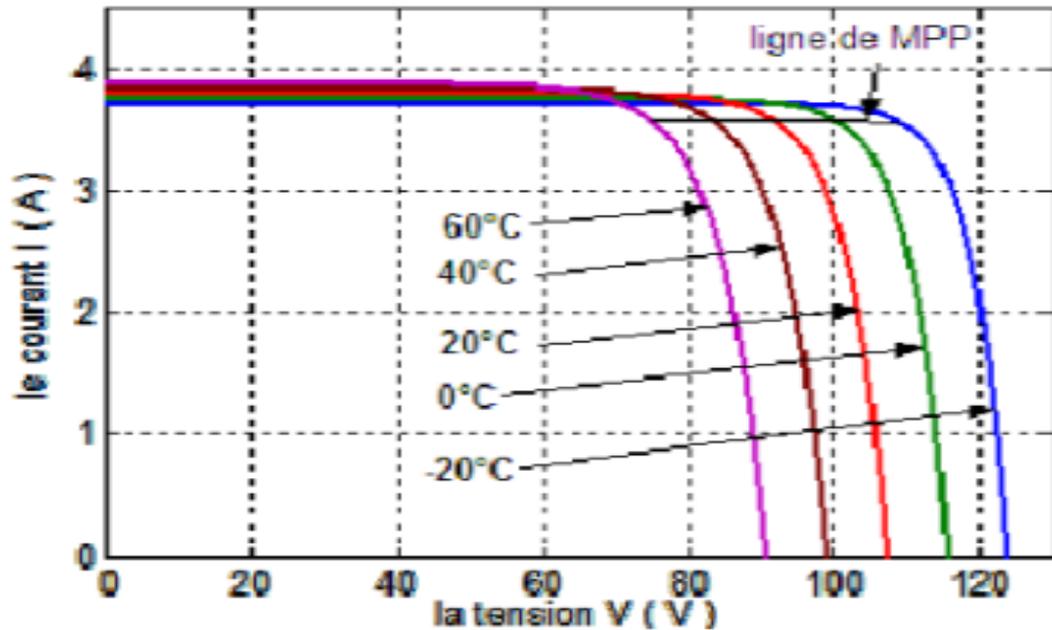


Figure (3.7) : CARACTERISTIQUE COURANT – TENSION POUR DIFFERENT TEMPERATURE

On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site devra être prise en compte.

Il est important de savoir que la puissance du panneau diminue d'environ 0,5% par degré d'augmentation de la température de la cellule au-dessus de 25 °C. La figure (3.8) présente des courbes puissance-tension pour différentes températures de fonctionnement de la cellule PV :

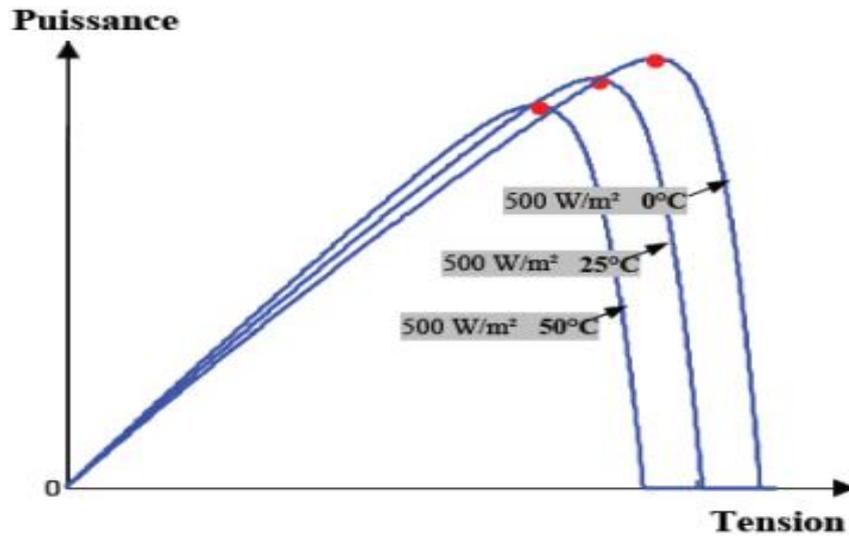


Figure (3.8) : CARACTERISTIQUE PUISSANCE – TENSION POUR DIFFERENT TEMPERATURE

III.3.1.4. Influence de l'éclairement sur les caractéristiques du panneau :

L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C . La figure (3.9) présente un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement :

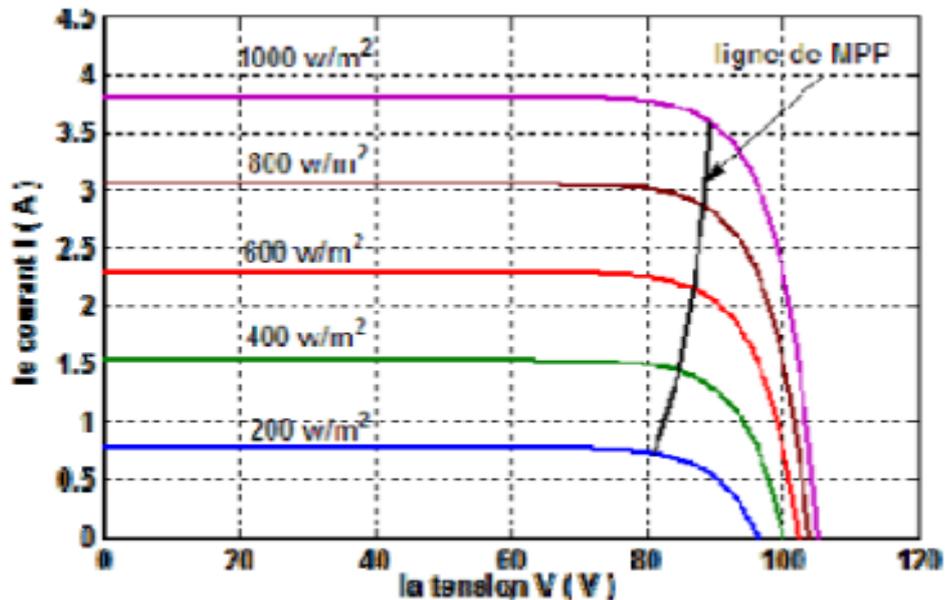


Figure (3.9) : CARACTERISTIQUE COURANT – TENSION POUR DIFFERENT RAYONNEMENT

On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions,

elle reste quasiment identique même à faible éclairement. La figure (3.10) présente un exemple des courbes puissance-tension pour différents niveaux de rayonnement :

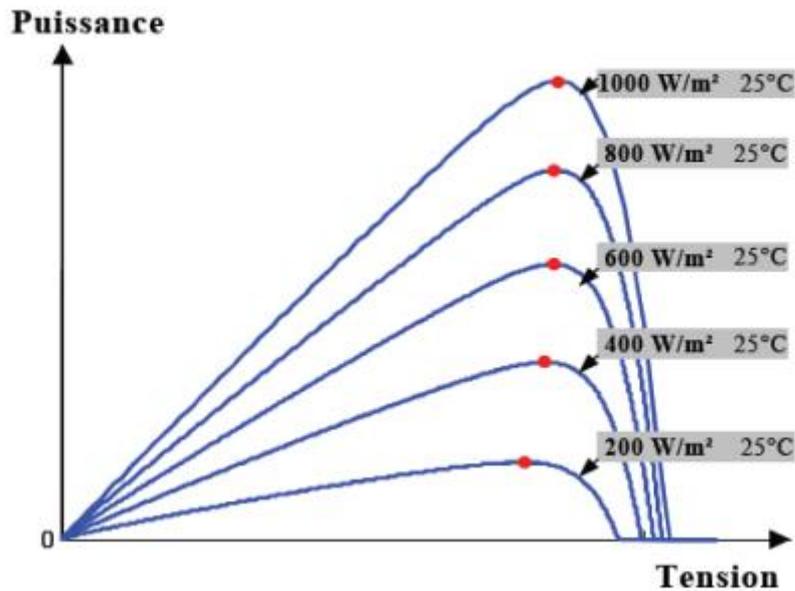


Figure (3.10) : CARACTERISTIQUE PUISSANCE – TENSION POUR DIFFERENT TEMPERATURE

III.3.2 Modèle de l'aérogénérateur

La puissance électrique générée par l'éolienne est donnée par :

$$P_{wg} = C_P \cdot \eta_{gb} \cdot \eta_g \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho A V^3 = \eta_t \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho A V^3 \quad (3.5)$$

Avec:

ρ : densité de l'air (1.275 Kg/m³),

V : Vitesse du vent

A : surface balayée par le rotor.

C_p : Rendement de la turbine éolienne.

η_{gb} : Rendement du multiplicateur de vitesse.

III.3.3 Modélisation du stockage :

III.3.3.1. Modèle de la batterie :

La plupart des batteries utilisées dans les systèmes hybrides de type Plomb-acide sont à cyclage profond. Le modèle simple d'une telle batterie est représenté à la figure 3. Il s'agit d'un modèle

idéal avec V_0 , R_{bat} , V_{bat} représentant respectivement la tension en circuit ouvert, la résistance interne équivalente et la tension aux bornes.

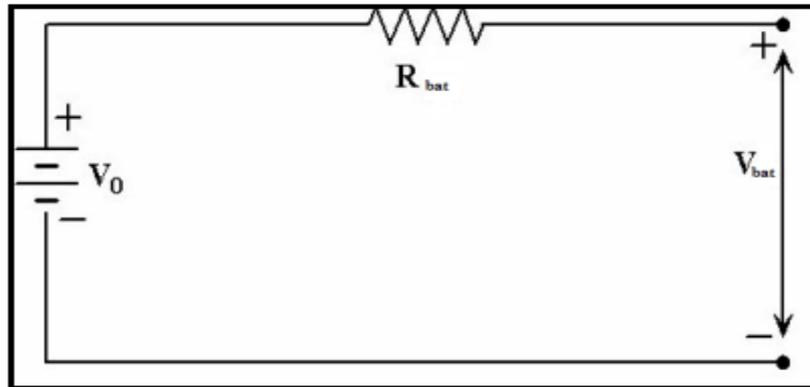


Figure (3.11): MODELE IDEAL D'UNE BATTERIE PLOMB-ACIDE

L'état de charge des batteries (SOC) est soumis aux contraintes suivantes :

SOC_{min} et $SOC(t)$ et SOC_{max} (3) Avec SOC_{max} et SOC_{min} étant les capacités de stockage maximal et minimal permises. SOC_{max} correspond à la capacité nominale des accumulateurs assemblés C_n .

Pour un bon fonctionnement du système d'énergie hybride, le système de stockage joue un rôle crucial, il permet d'avoir une continuité de service et une meilleure qualité d'énergie fournie. Nous rappelons quelques paramètres électriques employés pour caractériser une batterie, ces derniers sont:

- **La capacité nominale (Q) :** C'est le nombre maximal d'ampères-heures (Ah) qui peut être extrait de la batterie, pour des conditions de décharge données.
- **L'état de charge « SOC » (State of charge) :** C'est le rapport entre la capacité présente « q » et la capacité nominale « Q » : ($0 \leq SOC \leq 1$). Si $SOC = 1$ la batterie est totalement chargée et si $SOC = 0$ la batterie est totalement déchargée.
- **Le régime de charge (ou décharge) :** C'est le paramètre qui reflète le rapport entre la capacité nominale d'une batterie et le courant auquel celle-ci est chargée (ou déchargée). Il est exprimé en heures.
- **La durée de vie :** C'est le nombre de cycles charge/décharge que la batterie peut soutenir avant de perdre 20% de sa capacité nominale.

Pour un pack de batteries composé de :

N_s : batteries en série et N_p : batterie en parallèle,

On peut écrire les équations suivantes :

$$E_0' = N_s * E_0 \quad (3.6)$$

$$C_0' = \frac{N_p}{N_s} * C_{bat} \quad (3.7)$$

$$R_s' = \frac{N_s}{N_p} * R_s \quad (3.8)$$

Pour déterminer la capacité (C_b) de batterie :

$$C_b = \frac{E_{bat} * N_j}{V_{bat} * \eta_{bat} * D} \quad (3.9)$$

III.3.3.2. Modèle du convertisseur DC/DC :

Pour la conversion de puissance, il est nécessaire de maintenir le rendement élevé pour éviter la dissipation de puissance et pour éviter un échauffement excessif des composants électroniques. Pour cette raison, toute conversion d'énergie mutuelle doit être effectuée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et des commutateurs. Les interrupteurs de puissance utilisés dépendent du niveau de puissance à commuter ou à contrôler. Les transistors à effet de champ à oxyde métallique sont généralement utilisés à des puissances relativement faibles (quelques kilowatts) et les IGBTs (transistors bipolaires à grille isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont généralement été utilisés et acceptés aux niveaux de puissance les plus élevés. Du point de vue du circuit le hacheur apparaît comme un quadripôle Figure (3.12), agissant comme un élément de liaison entre deux parties du réseau. Il peut être considéré comme un transformateur de grandeurs électriques continues.

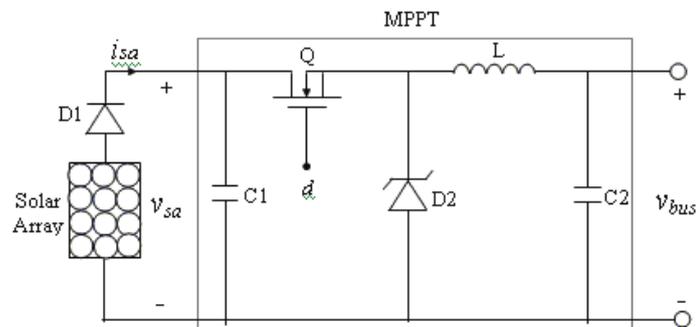


Figure (3.12) : SCHEMA DU CIRCUIT DU SOUS-SYSTEME DE PUISSANCE PV

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les modèles *Simulink* de chaque élément des chaînes de conversion photovoltaïque avec batteries et la pile à combustible en utilisant les modèles qu'on a obtenus dans la modélisation. Après, on a présenté les résultats de simulation du système hybride.

Après avoir examiné ces résultats de la simulation, on a conclu qu'il était très important de gérer ce système hybride: Pour assurer une meilleure gestion possible, on peut utiliser un algorithme approprié. On peut montrer comment utiliser la batterie dans les deux cas de charge et de décharge et l'utiliser avec la pile à combustible en l'absence du GPV ou en cas d'incapacité du GPV tout seul pour répondre aux besoins de la charge.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire est consacré à l'étude de la problématique de la gestion de l'énergie dans les systèmes hybrides. Le système hybride étudié est constitué d'une éolienne, d'un générateur photovoltaïque, une pile à combustible des batteries de stockages et ce système débite sur une charge variable (site isolé).

Le problème de gestion de l'énergie dans les systèmes hybride est important. Cependant, il faut à chaque instant connaître les puissances fournies par les sources (éolienne et photovoltaïque dans notre cas), celle demandé par la charge et l'état de charges des éléments de stockages (batteries). Ensuite il faut que l'algorithme de gestion prenne une décision adéquate pour le bon fonctionnement du système.

Le chapitre I de ce mémoire est consacré à la description des diverses énergies renouvelables, systèmes de stockage et hybride, et la nécessité à l'hybridation de ces systèmes ainsi les différentes caractéristiques et paramètre des différentes composantes et étude le système hybride (photovoltaïque et la pile à combustible et la batterie).

Dans le second chapitre, on a présenté la modélisation des différents éléments du système de la chaîne de conversion d'énergie éolienne, du système photovoltaïque avec les batteries.

Dans le dernier chapitre, on a étudié l'optimisation optimale d'énergie dans un système d'énergie électrique renouvelable hybride choisi, et on a montré le bon déroulement de gestion d'énergie. Les études présentées montrent le bon fonctionnement des batteries avec des cycles de charge et de décharge et montrent l'efficacité de notre gestion d'énergie.

Enfin, on propose quelques perspectives pour l'amélioration de nombreux système :

- La conception d'un système de contrôle intelligent qui pourrait répondre aux besoins techniques et opérationnels de ces systèmes hybrides.
- Utilisé le régulateur *MPPT* floue pour un suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque afin d'optimiser le fonctionnement.

- La généralisation de ces systèmes dans le but d'être utilisés dans des conditions et des lieux différents et avec de nombreuses autres ressources renouvelables.
- Faire une analyse économique pour le couple hybride solaire retenu et une étude comparative avec un système purement diesel et un système purement photovoltaïque de même puissance totale pour montrer les avantages et les éventuels inconvénients.
- Enfin, la réalisation d'un prototype est inévitable pour une application pratique du système afin de valider les résultats théoriques.

Références bibliographiques

Bibliographiques

[1]A. Ferhat, A.Amirouche, «*Etude et implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride (Photovoltaïque Diesel)* », Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2012.

[2] R. Maouedj « *Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah* » mémoire de magister, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 2005.

[3].A. Hidayatullah “*Impacts of Distributed Generation on Smart Grid*” Master of Engineering (Electrical Engineering), Victoria University February 2011.

[4]BOULAL Kelthoum IDRIS Charifa « *Etude Sociale de l'Acceptation des Energies Renouvelables dans la Région Adrar- Application Pompage Solaire* » mémoire de master université d'ADRAR .2019

[5] Abdoul Karim Traoré <<*Gestion d'un système autonome hybride photovoltaïque éolien pour application agricoles*>> Juillet 2016, mémoire présenté a l'université du Québec a trois –rivières comme exigence partielle de la maitrise en génie électrique

[6] M. SADAoui Elias et MEDDOURI Mustapha<<*Gestion d'énergie dans un système hybride (Photovoltaïque-Eolien)*>>Université Abderrahmane Mira – Bejaia Promotion 2012.

[7]Mr. MAHAMMEDI Abdellatif<<*étude et optimisation d'un système hybride éolien photovoltaïque* >>université Ferhat Abbas-Sétif 1UFAS(Algérie) Soutenu le 15/12/2014

[8]Mr. FELLAH Boumediene<<*Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah*>> soutenu en octobre 2012 université Abdou –Baker Belkaid et Tlemcen

[9]Mr. Dhaker Abbes<<*Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome*>> université de POITIERS Soutenu le 20/06/2012.

[10]FRADJ Mohammed MECHERI Khairredine<<*Etude et gestion d'un système hybride*>>UniversiteKasdimerbahOUARGLASoutenule07/07/2019.

[11]LudmilStoyanov<<*Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables* >> Université TECHNIQUE DE SOFIA Soutenu le 28/10/2011.

Résumé

Les sources d'énergie renouvelables sont des systèmes efficaces et propres comparés aux sources classiques et sont utilisées dans de nombreuses applications, notamment la production d'électricité dans des endroits isolés.

A cause de l'inconstance du vent et de la lumière, la gestion de l'énergie constitue l'un des défis majeurs dans les systèmes électriques éoliens déconnectés du réseau, ainsi que dans les systèmes photovoltaïque.

Pour assurer la continuité de l'énergie on fait appel à des systèmes hybrides

Dans ce travail on va s'intéresser en premier lieu à ces sources d'énergies, prendre connaissance de leurs caractéristiques et comprendre leur fonctionnement et ensuite faire une analyse de la gestion.

La gestion du système en fonction des conditions météorologiques, demande de la charge et de la disponibilité des éléments du système.

Summary

Renewable energy sources are efficient and clean Systems compared to conventional sources and are used for many applications, including power generation at remote sites.

Due to the inconstancy of wind and light, energy management is one of the major challenges in wind power systems disconnected from the grid, as well as in photovoltaic systems.

To ensure energy continuity, hybrid systems are used

In this work we will first be interested in these energy sources, learn about their characteristics and understand how they work, and then do a management analysis.

The management of the system according to the meteorological conditions, demands the load and the availability of the elements of the system.

ملخص

تعد مصادر الطاقة المتجددة أنظمة فعالة ونظيفة مقارنة بالمصادر التقليدية وتستخدم في العديد من التطبيقات، بما في ذلك توليد الطاقة في المواقع البعيدة.

نظر لعدم ثبات الرياح والضوء، تعد إدارة الطاقة أحد التحديات الرئيسية في أنظمة طاقة الرياح المنفصلة عن الشبكة، وكذلك في الأنظمة الكهروضوئية.

لضمان استمرارية الطاقة، يتم استخدام الأنظمة الهجينة

في هذا العمل، سنهتم أولاً بمصادر الطاقة هذه، ونتعرف على خصائصها ونفهم كيفية عملها، ثم نقوم بتحليل إداري. تتطلب إدارة النظام وفقاً لظروف الأرصاد الجوية المحمولة وتوافر عناصر النظام.