

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITÉ A. MIRA DE BÉJAIA



*Faculté de Technologie*  
*Département de Génie Electrique*

# Mémoire de fin de cycle

Pour l'obtention du diplôme de master  
Filière : Génie électrique  
Spécialité: Commande électrique

## *Thème*

## *Gestion de Puissance d'un système hybride tout électrique*

*Réalisé par :*  
*SERHANE Farouk*  
*ISSADOUNENE Samir*

*Encadré par :*  
*MOKRANI Zahra*

Soutenu le : 22 / 09 / 2022

Devant le Jury composé de :

**Mr. BOUZIDI Athmane**

**Président**

**Mr. MEBARKI Nasser-Eddine**

**Examineur**

Année universitaire : 2021/2022

# Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience durant toutes les années d'études, et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.*

*Nous sommes honorés d'adresser nos sincères remerciements et notre gratitude à tous ceux qui ont contribué à l'achèvement de ce modeste travail.*

*Nous tenons à représenter nos vifs remerciements à notre promotrice Mme Mokrani Zohra pour avoir accepté de nous encadrer, pour sa permanente gentillesse et pour ces précieux conseils tout au long de notre travail.*

*Nous tenons aussi à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.*

*Nous remercions également les professeurs et toute la famille de la section d'électrotechnique industriel.*

*Enfin, nous voudrions également remercier nos chers amis et collègues et tous ceux qui nous ont aidés de près et de loin afin de réaliser ce travail.*

# *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, ma précieuse *maman* qui grâce à elle je suis arrivée là où j'en suis aujourd'hui, À celui qui a recherché et continue de chercher Pour moi « *mon père* »

À *mes frères* et *ma sœur* et à toute personne qui m'est cher au cœur.

A tous mes amis avec qui j'ai passé les meilleurs moments d'études(*Aimbo, Massi, Nanou, la quiqa, Yanis Na, Samir le directeur*)

A mon ami *Amdjed Kasri* qui m'a aidé à réaliser ce travail et a ma meilleur amie *Rahmani Maissa* je la remercié et lui souhaite la réussite dans sa vie

A tous ceux qui m'ont aidé à réaliser de près ou de loin ce travail.

**FAROUK**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à À celui qui a recherché et continue  
de chercher Pour moi : « mon père »*

*À celle Qui m'a appris le sens de la vie, mon premier  
Professeur : « ma mères »*

*A tous mes amis : 'DERRYA LEHOUMA', Reuss,aïmbou , la quiqa  
,farouk, yanis NA, lalou ,rahim ,lotfi ,dady,tipouh,yanis  
arya,hayley,Cici,Nadi,messi.*

*A ceux qui m'ont soutenu pendant toute la durée de mes études  
et toute ma vie.*

*SAM*

## *Liste des abréviations*

# Liste des abréviations

***SEH*** : Système Energie Hybride

***PV*** : Photovoltaïque

***CC*** : Courant Continu

***CA*** : Courant Alternatif

***DC/DC*** : Convertisseur Courant continu/ Courant continu

***DC/AC*** : Convertisseur Courant continu/ Courant Alternatif

***Ah*** : Ampère heure

***EDC*** : Etat de Charge des batteries (State Of Charge)

***SOC*** : State Of Charge

***GPV*** : Générateur Photovoltaïque

***MPP***: Maximum Power Point

***MPP***: Maximum Power Point Tracking

***P&O*** : Perturbation et Observation

# *Symboles et notations*

# Symboles et notations

## ***Panneaux***

***ki***: Coefficient de température de court-circuit de la cellule ( $A/K$ ).

***Tc***: Température de la cellule en ( $K$ ).

***E*** : Eclairement absorbé par la cellule.

***Eref***: Eclairement de référence ( $1000 W/m^2$ ).

***I0*** : Courant de saturation de la diode.

***Vt***: Tension thermique.

***B*** : Facteur d'idéalité.

***K*** : Constant de Boltzmann ( $1,38.10^{-23}J/K$ ).

***q***: Charge de l'électron ( $1,6.10^{-19}C$ ).

***Ipv***: Courant générer par la cellule photovoltaïque.

***Iph***: Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident).

***Id*** : Courant circulant dans la diode.

***Ior***: Courant de court- circuit de la cellule à la température et l'éclairement de référence.

***Ppv***: Puissance du générateur PV ( $W$ )

***T*** : Température de la jonction des cellules PV ( $K$ ).

***B*** : Facteur d'idéalité de la jonction.

***Eg***: Énergie de gap ( $eV$ ).

***Rs***: Résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi- conducteur, ainsi les résistances ohmiques et de contact au niveau des connexions des cellules.

***Vpv***: Tension de sortie.

***Ip***: Courant circulant dans la résistance RP.

***Rp***: Résistance shunt représente les fuites autour de la jonction p-n et sur les coins de cellule.

***Em***: Eclairement maximal du site ( $W/m^2$ ).

***t***: Temps solaire en heure.

***t0*** : Temps de la levée du soleil ( $6h$ ).

***Im*** : Courant optimale (max).

***Vm***: Tension optimale (max).

***A*** : la surface du module solaire.

***d***: diode.



### Batterie

**$Qd$** : Quantité de charge manquante par rapport à  **$Cbat$** .

**$Cb$**  : Capacité nominale de la batterie ( **$Ah$** ).

**$Rs$**  : Résistance sérié de la batterie ( **$\Omega$** )

**$Rb$**  : Resistance interne

**$Ebat$**  : Energie de la batterie ( **$Wh/jour$** ).

**$Nj$** : Nombre de jour d'autonomie de la batterie.

: Rendement de la batterie.

**$D$**  : Profondeur de la batterie.

**$Ubat$** : Tension de la batterie.

**$E0$**  : f.e.m de la batterie ( **$V$** ).

**$E0'$**  : f.e.m de group des batteries ( **$V$** ).

**$C0'$**  : Capacité nominale de group des batteries ( **$Ah$** ).

**$Rs'$**  : Résistance sérié de group des batteries ( **$\Omega$** ).

**$Vdc$** : Tension de bus ( **$V$** ).

**$Vdc, ref$** : Tension de référence ( **$V$** ).

**$Ib$** : Courant de batterie ( **$I$** ).

**$Ib, ref$** : Courant de référence ( **$I$** ).

**$Cbat$** : capacité de la batterie ( **$F$** ).

## *Liste des figures*

# Liste figures

## Chapitre I

|   |    |
|---|----|
| Figure I.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV .....                    | 5  |
| Figure I.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque .....                 | 5  |
| Figure I.3: Principe de fonctionnement d'une cellule PV.....                      | 6  |
| Figure I.4 : Conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique..... | 7  |
| Figure I.5 : Eolienne à axe vertical.....   | 9  |
| Figure I.6 : Eolienne à axe horizontal .....                                      | 9  |
| Figure I.7 : Organigramme descriptif de différents types de stockage. ....        | 12 |

## Chapitre II

|  |    |
|--|----|
| Figure II.1 : Configuration du système hybride à bus continu.....          | 17 |
| Figure II.2 : Configuration du système hybride à deux bus à CC et CA ..... | 17 |
| Figure II.3 : Configuration du système hybride à bus alternatif. ....      | 18 |
| Figure. II.4 :Système hybride avec connexion série. ....                   | 21 |
| Figure II.5 : Système hybride à commutation .....                          | 21 |
| Figure. II.6 :Système hybride à connexion parallèle.....                   | 22 |
| Figure II.7 Schéma d'un système hybride éolien-diesel.....                 | 23 |

## Chapitre III

|  |    |
|--|----|
| Figure. III.1 : Système photovoltaïque avec convertisseur d'adaptation .....                                 | 25 |
| Figure 16Figure III.2 : schéma équivalent d'un générateur photovoltaïque, modèle simplifié à une diode ..... | 27 |
| Figure III.3 : Caractéristique Courant-Tension. ....   | 30 |
| Figure III.4: Caractéristique puissance-tension d'un module photovoltaïque .....                             | 31 |
| Figure III.5: Caractéristique courant-tension pour différentes températures. ....                            | 31 |
| Figure III.6 : Caractéristique puissance-tension pour différentes températures.....                          | 32 |
| Figure III.7 : Caractéristique puissance- tension pour différents ensoleillements. ....                      | 33 |
| FigureIII.8 : Organigramme de l'algorithme MPPT(P&O) .....   | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Figure III.9: Circuit électrique du convertisseur DC-DC.....                 | 36 |
| Figure III.10: Schéma d'un Hacheur survolteur à $t \in [0, \alpha.T]$ .....  | 37 |
| Figure III.11 : Schéma d'un Hacheur survolteur à $t \in [\alpha.T, T]$ ..... | 37 |
| Figure III.12 : Schéma équivalent de la Batterie.....                        | 38 |
| Figure.III.13 : Montage abaisseur-survolteur du convertisseur DC-DC .....    | 40 |
| Figure.III.14 : le bus continu.....  | 41 |

## Chapitre IV

|  |    |
|--|----|
| Figure IV.1 : Architecture de système global .....                             | 42 |
| Figure IV.2 : Organigramme de la stratégie de gestion de l'énergie.....        | 43 |
| Figure IV.3 :Batterie AGM 12V 200mH .....                                      | 45 |
| Figure IV.4: Allure de l'éclairement .....                                     | 46 |
| Figure IV.5 : Allure de la température .....                                   | 47 |
| Figure IV.6 : Profil de la charge.....   | 47 |
| Figure IV.7 : Allure de la puissance du GPV.....                               | 48 |
| Figure IV.8: Allure du courant de batterie .....                               | 49 |
| Figure IV.9 : Allure de la puissance de batterie .....                         | 49 |
| Figure IV.10: Allure de la tension de batterie.....                            | 50 |
| Figure IV.11: Etat de charge de la batterie.....                               | 50 |
| Figure IV.12 : Allure des puissances du système global (hybride + charge)..... | 51 |
| Figure IV.13: Puissance du batterie .....                                      | 52 |
| Figure IV.14 : Puissance hybride ( $P_{pv}$ , Batterie).....                   | 52 |
| Figure IV.15 : Puissance photovoltaïque + la chargé la batterie .....          | 53 |
| Figure IV.16: Puissance photovoltaïque.....                                    | 53 |



## *Liste des tableaux*

# Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau II.1 : Classification des systèmes hybrides par gamme de puissance ..... | 19 |
| Tableau III.1:Paramètres d'un panneau solaire JIAWEI JW-S80W .....               | 29 |
| Tableau IV.1:le besoin journalier d'une habitation.....                          | 44 |
| Tableau IV.2:le choix de Vdc.....  | 45 |

# *Sommaire*



|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Introduction générale ..... | 1 |
|-----------------------------|---|

## **Chapitre I Etat de l'art sur les énergies renouvelables**

|  |    |
|--|----|
| I. Introduction .....  | 3  |
| I.1 . Définition d'un système de production d'électricité .....        | 3  |
| I.2 les différentes sources utilisables pour l'hybridation .....       | 3  |
| I.3 Energie solaire .....  | 4  |
| I.3.1 Cellule photovoltaïque.....                                      | 4  |
| I.3.2 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque .....             | 5  |
| I.3.3 Générateurs photovoltaïques .....                                | 5  |
| I.3.4 Avantages et inconvénients des générateurs photovoltaïques.....  | 6  |
| I.4 Energie éoliens .....  | 6  |
| I.4.1 Principe de fonctionnement.....                                  | 7  |
| I.4.2 Classification des éoliennes.....                                | 8  |
| I.4.2.1 Selon l'axe .....  | 8  |
| I.4.2.2 Selon la vitesse .....   | 10 |
| I.4.3 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.....            | 10 |
| I.5 Energie biomasse.....  | 11 |
| I.6 Système de stockage.....   | 12 |
| I.6.1 Stockage long terme .....  | 13 |
| I.6.1.1 Batteries.....   | 13 |
| I.6.1.2 Le stockage par pile à combustible.....                        | 13 |
| I.6.1.3 Stockage sous forme d'air comprimé (CAES).....                 | 13 |
| I.6.2 Stockage à court terme .....                                     | 14 |
| I.6.2.1 Volants d'inertie .....  | 14 |
| I.6.2.2 Inductance supraconductrice (SMES) .....                       | 14 |
| I.6.2.3 Super-condensateur .....                                       | 14 |
| I.6.3 Comparaison entre les batteries et les super condensateurs ..... | 14 |
| I.6.4 Utilisation du stockage .....                                    | 15 |
| CONCLUSION.....  | 15 |

---

## Chapitre II : Généralités sur les systèmes hybrides

|   |    |
|---|----|
| II Introduction .....   | 16 |
| II.1 Définition d'un système hybride .....  | 16 |
| II.2 Etat de l'art des architectures pour systèmes d'énergie hybride .....        | 16 |
| II.2.1 Architecture à bus continu (CC).....                                       | 17 |
| II.2.2 Architecture mixte à bus (CC/CA).....                                      | 17 |
| II.2.3 Architecture à bus alternatif (CA).....                                    | 18 |
| II.3 Choix des convertisseurs de puissance.....                                   | 18 |
| II.4 Différents convertisseurs statiques .....                                    | 18 |
| II.4.1 Convertisseur DC/DC (hacheur) .....  | 18 |
| II.4.2 Convertisseur DC/AC (onduleur).....  | 19 |
| II.4.3 Convertisseur AC/DC (Redresseur).....                                      | 19 |
| II.5 Classification des SEH.....  | 19 |
| II.6 Les différentes structures des systèmes hybrides.....                        | 20 |
| II.6.1 Système hybride (photovoltaïque/groupe électrogène).....                   | 20 |
| II.6.1.1 Systèmes hybrides (photovoltaïque/groupe électrogène) série .....        | 20 |
| II.6.1.2 Systèmes hybrides (photovoltaïque/groupe électrogène) à commutation..... | 21 |
| II.6.1.3 Systèmes hybrides (photovoltaïque/groupe électrogène) parallèle.....     | 22 |
| II.6.2 Systèmes hybrides (éolien/source conventionnelle) .....                    | 23 |
| II.6.3 Système hybride (éolien/photovoltaïque/groupe électrogène).....            | 23 |
| II.6.4 Système hybride (photovoltaïque/éolien/stockage) .....                     | 23 |
| II.7 Avantage et inconvénient d'un système hybride.....                           | 23 |
| Conclusion .....  | 24 |

---

## Chapitre III : Modélisation des différentes parties du système hybride

|  |    |
|--|----|
| III. Introduction .....  | 25 |
| III.1 Modélisation de la chaîne de production photovoltaïque .....                                     | 25 |
| III.2 Modélisation du générateur photovoltaïque.....   | 26 |
| III.2.1 Caractéristiques d'un panneau solaire .....  | 29 |
| III.2.1.1 Caractéristique Courant-Tension .....  | 29 |
| III.2.1.2 Caractéristique puissance –tension .....   | 30 |
| III.2.2 Influence de l'éclairement et la température.....  | 31 |
| III.2.2.1 Influence de la température.....   | 31 |
| III.2.2.2 Influence de l'éclairement.....  | 32 |
| III.3 Commande (MPPT) des convertisseurs DC/DC.....  | 33 |
| III.3.1 Méthode de poursuite du point de puissance maximale .....                                      | 33 |
| III.3.2 Méthode de la dérive de la puissance .....   | 34 |
| III.3.2.1 Méthode de perturbation et d'observation (P&O) .....   | 34 |
| III.4 Modèle d'un hacheur survolteur (Boost) .....   | 36 |
| III.5 Modélisation de la batterie.....   | 38 |
| III.5.1 Modélisation de la capacité <i>C<sub>bat</sub></i> .....                                       | 38 |
| III.5.2 Equations de la tension de décharge .....  | 39 |
| III.5.3 Equations de la tension de charge.....   | 39 |
| III.6 Modélisation du convertisseur DC-DCabaisseur-survolteur (Back–Boost) côté unité de stockage..... | 40 |
| III.7 Modèle du bus continu.....   | 40 |
| Conclusion .....   | 41 |

---

## Chapitre IV : Gestion de puissance du système hybride

|  |    |
|--|----|
| <i>IV</i> Introduction .....   | 42 |
| <i>IV.1</i> Gestion d'énergie .....  | 42 |
| <i>IV.2</i> Différents scénarios pour la gestion d'énergie.....            | 42 |
| <i>IV.3</i> Dimensionnement de la source hybride .....                     | 44 |
| <i>IV.3.1</i> Source photovoltaïque .....                                  | 44 |
| <i>IV.3.2</i> Batteries :.....   | 45 |
| <i>IV.4</i> Simulation du système hybride étudié .....                     | 46 |
| <i>IV.4.1</i> Allure de l'éclairement (G) .....                            | 46 |
| <i>IV.4.2</i> Allure de la température (T).....                            | 47 |
| <i>IV.5</i> Résultats de simulation .....                                  | 48 |
| <i>IV.5.1</i> Générateur photovoltaïque (GPV).....                         | 48 |
| <i>IV.5.2</i> Batterie.....  | 49 |
| <i>IV.6</i> Discussion des résultats de simulation du système global ..... | 51 |
| Conclusion.....  | 54 |

# *Introduction générale*

### Introduction générale

Une grande partie de la consommation mondiale d'énergie est assurée par les énergies d'origines fossiles (pétrole, gaz,...). La consommation excessive de ces ressources énergétiques limitées, conduit à l'épuisement progressif de ces réserves et intensifie les rejets de gaz à effet de serre et donc la pollution de l'atmosphère qui cause un changement climatique. Face à ces conséquences, il est nécessaire de prendre en considération le développement des énergies alternatives dites sources d'énergies renouvelables. Le soleil, le vent, les chutes d'eau et la biomasse sont des ressources naturelles accessibles et exploitées pour générer de l'énergie électrique. Leur flexibilité, leur simplicité d'utilisations et la multiplicité des domaines d'activités les ont rendues des énergies indispensables. Pour un développement écologique et économique, la combinaison de ces sources d'énergie renouvelable pour avoir un système d'énergie hybride dit multi sources peut constituer une bonne alternative aux systèmes mono sources. Un système hybride peut être très intéressant lorsque les conditions locales sont favorables du point de vue vent et ensoleillement(4).

Les nouvelles solutions technologiques, apportées par les systèmes hybrides à énergie renouvelable, même si elles ne sont pas encore de point de vue économique compétitives, offrent par contre une sûreté élevée. Toutefois, à la vue de la nécessité du développement durable, ces solutions, avec l'appui de la volonté publique, peuvent être économiquement viables, à moyen et long terme. Le caractère aléatoire des ressources d'énergie renouvelables fait que le système autonome utilisant une seule source d'énergie renouvelable nécessite une large capacité de stockage afin de satisfaire les besoins de la charge en énergie et d'assurer une meilleure fiabilité de la production d'énergie (3). L'utilisation des systèmes hybrides, combinant plusieurs sources d'énergie, permet d'une part, de réduire les besoins de stockage et d'atténuer les fluctuations de la production causées par la nature aléatoire de ces ressources et, d'autre part de constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesel utilisés généralement pour la génération d'énergie électrique dans les régions isolées(7).

Dans le premier chapitre, les principales sources des énergies renouvelables sont présentées Avec les avantages et les inconvénients de chaque source. Par la suite, nous présentons les différents type de stockage ( batteries, super condensateurs...).

Le deuxième chapitre, sera consacré à des généralités sur l'hybridation, Nous nous s'intéresson aux sources d'énergie qui composent ces systèmes et les différentes structures

des systèmes hybrides, en s'accumulant pour notre travail sur le système hybride combinant la source photovoltaïque avec des batteries de stockage.

Dans le troisième chapitre, on procédera à une modélisation mathématique des différentes parties constituant le système à étudier.

Dans le dernier chapitre nous établirons une approche de gestion pour l'ensemble de L'installation et une simulation de leur fonctionnement.





*Chapitre I*  
*Etat de l'art sur les énergies*  
*renouvelables*

## **I .Introduction**

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement l'énergie Solaire, éolienne, géothermique et hydraulique.

Une des propriétés qui limite l'utilisation de l'énergie renouvelable est liée à la variabilité des ressources. Les fluctuations de la charge selon les périodes annuelles ou journalières ne sont pas forcément corrélées avec les ressources. La solution à ce problème est l'hybridation des types de source par exemple des éoliennes, des panneaux photovoltaïque et de générateurs diesel. Car les uns peuvent alors à certains moments fournir de l'énergie quand les autres sont à l'arrêt.

### **I.1 . Définition d'un système de production d'électricité**

Nous cherchons à définir les structures possibles pour un système de production d'électricité en site isolé, qui assure la gestion de son énergie produite en autonomie totale. Deux composants sont alors indispensables à son architecture [01]: une source d'énergie renouvelable, disponible près de la structure à alimenter, et une unité de stockage capable continuellement d'emmagasiner les excès de production, tantôt de les restituer pour compléter celle-ci. Un système de production est un dispositif formé de plusieurs éléments de nature différente, qui assure une fonction déterminée, donc un système d'alimentation hybride consiste en un assemblage de sources d'énergie dont les caractéristiques et les propriétés sont différentes, destiné à alimenter un système doté d'un consommateur.

### **I.2 les différentes sources utilisables pour l'hybridation**

Différentes sources d'énergies sont exploitables dans un système d'énergie hybride (SEH) autonome. Les deux conditions pour qu'elles représentent une solution viable sont la possibilité d'absorber de la puissance à l'aide d'un générateur suffisamment compact et facile à entretenir pour un utilisateur isolé, et la viabilité économique comparée aux solutions de raccordement au réseau ou à l'utilisation d'énergies fossiles.

## I.3 Energie solaire

Le soleil reste jusqu'à présent la plus importante source d'énergie, L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite Photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière.

### I.3.1 Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un moyen de conversion de la lumière en énergie électrique par le processus « effet photovoltaïque ».

le principe de fonctionnement de cette cellule repose sur l'effet photovoltaïque, en effet une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur, ces deux couches sont dopées différemment :

- pour la couche N, apport d'électrons périphériques.
- pour la couche P, déficit d'électrons.

Ces deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur [02].

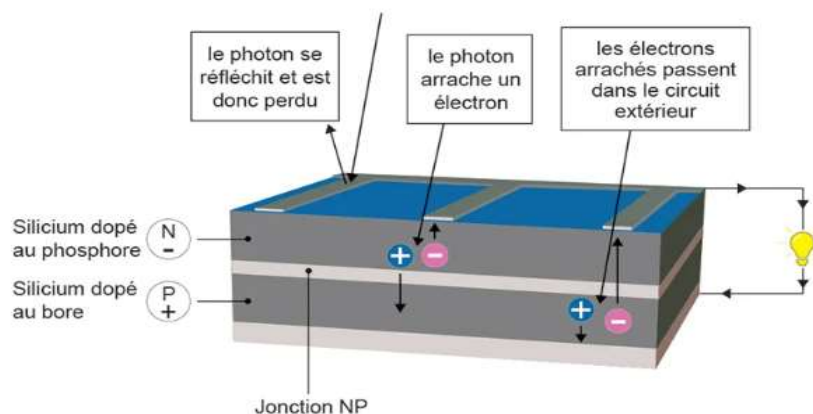


Figure I.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV.

### I.3.2 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque est composé d'un générateur de courant qui modélise l'éclairement et d'une diode en parallèle qui modélise la jonction PN. Mais le schéma équivalent réel tient compte de l'effet résistif parasite dû à la fabrication. [03].

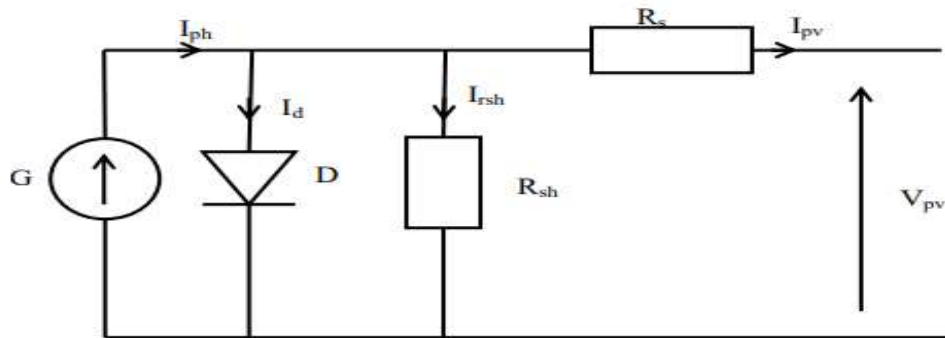


Figure I.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

La diode modélise le comportement de la cellule dans l'obscurité. Le générateur de courant modélise le courant  $I_{ph}$  généré par l'éclairement. Les deux résistances modélisent les pertes internes : Résistance série  $R_s$  : modélise les pertes ohmiques du matériau (chutes de tension). Résistance shunt  $R_{sh}$  : modélise les courants parasites qui traversent la cellule (courant de fuite). Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et /ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque, plusieurs panneaux qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque ou générateur photovoltaïque GPV.

### I.3.3 Générateurs photovoltaïques

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et en parallèle [04], elles produisent de l'électricité du moment où elles sont exposées au rayonnement solaire, elles ne polluent pas, n'ont aucune pièce mobile, ne nécessitent pratiquement aucun entretien et ne produisent aucun bruit [05]. Un générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs modules PV en série et / ou en parallèle pour obtenir une puissance, un courant de court-circuit  $I_{cc}$  et une tension en circuit ouvert  $V_{co}$  désirés [04].

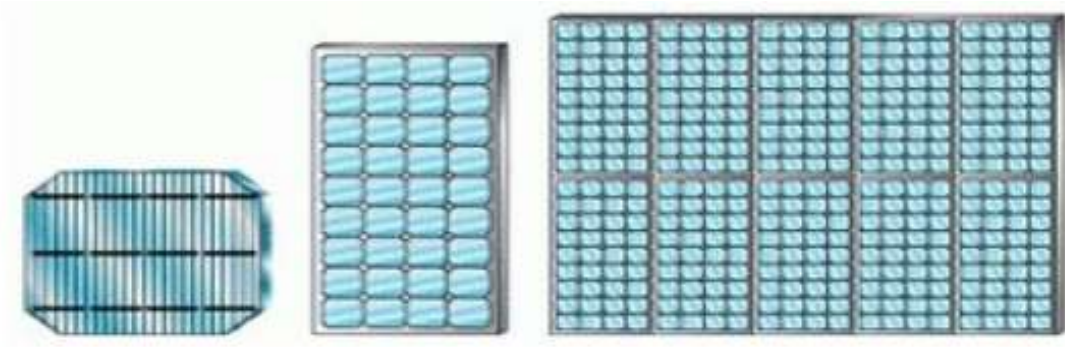


Figure I.3 : Cellule, module et panneau PV [06]

### I.3.4 Avantages et inconvénients des générateurs photovoltaïques

#### ❖ Avantages

- La production de cette électricité renouvelable est propre, n'est pas toxique.
- Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- L'énergie photovoltaïque est particulièrement attractive pour les sites urbains pour sa petite relative taille, et son opération silencieuse.
- La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montage dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville .

#### ❖ Inconvénients

- La production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, est toujours variable.
- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques et des capteurs est élevé.
- S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.

## I.4 Energie éoliens

La deuxième source possible est l'énergie du vent, propre et renouvelable, elle est disponible en quantité abondante sur toute la surface de la planète, une éolienne est une installation qui convertit la puissance de vent en énergie électrique, donc le maximum d'énergie émis ne dépend pas seulement de la machine mais aussi des limites de la vitesse du vent. D'autre part, elles convertissent l'énergie éolienne en énergie mécanique.

Cette énergie mécanique peut être exploitée de deux manières :

- Tenir compte de la conservation de l'énergie mécanique pour faire avancer le véhicule (voile) pour pomper l'eau.
- Conversion à l'électricité : Les éoliennes sont connectées à des générateurs pour produire de l'électricité en courant continu ou alternatif, qui sont connectés au réseau ou fonctionnent de manière indépendante.

#### I.4.1 Principe de fonctionnement

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en trois étapes:

- 1) au niveau des pâles (capteur d'énergie), qui extraient une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique.
- 2) la génératrice électrique, reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au convertisseur statique.
- 3) le convertisseur statique, qui est en général placé entre le générateur électrique et la charge, qui adapte la forme de l'énergie électrique fournie par le générateur à ce qu'exige la charge. Cette dernière peut être un chauffage électrique, un moteur, une pompe ou un réseau de distribution d'énergie électrique.

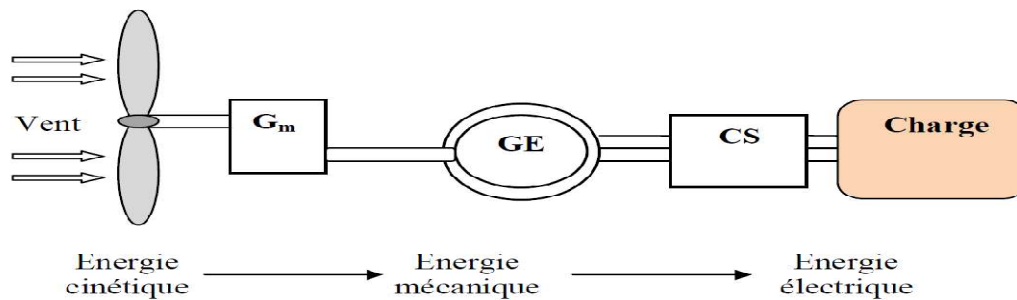


Figure I.4 : Conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique.

## I.4.2 Classification des éoliennes

Les génératrices éoliennes peuvent être regroupées selon différentes catégories, et un classement est proposé comme suit :

### I.4.2.1 Selon l'axe [07]

Selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice, les éoliennes sont classées en deux catégories :

#### ➤ **Eolienne à axe vertical**

L'axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la direction du vent, et sont les premières structures développées pour produire de l'électricité, elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc elles sont facilement accessibles. Et elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation.

Deux d'entre elles sont particulièrement remarquables: SAVONIUS et DARRIEUS :

- L'éolienne SAVONIUS comporte principalement deux demi-cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Cette machine présente deux avantages :
  - ✓ • Elle est simple à fabriquer.
  - ✓ • Elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s.
- L'éolienne inventée par le Français DARRIEUS est un rotor dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs. Cette machine est bien adaptée à la fourniture d'électricité. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer seule. Ce type de machine, qui peut offrir les puissances les plus fortes n'a pas connu le développement technologique qu'il méritait à cause de la fragilité du mécanisme encore mal maîtrisée.



Figure I.5 : Eolienne à axe vertical.

➤ **Eolienne à axe horizontal**

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent.

Ce type d'éoliennes a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie son efficacité [07]



Figure I.6 : Eolienne à axe horizontal



### I.4.2.2 Selon la vitesse [08]

#### ❖ Eolienne à vitesse constante

Ce mode de fonctionnement concerne principalement les éoliennes dont la vitesse de rotation est régulée par orientation des pales (pitch control). Généralement, ces éoliennes reposent sur l'utilisation d'une machine asynchrone à cage d'écureuil directement reliée à un réseau d'énergie puissant qui impose sa fréquence (50Hz) aux grandeurs statoriques. Pour assurer un fonctionnement en générateur, il est nécessaire que la vitesse de rotation de la MAS soit au-delà du synchronisme (glissement négatif). Le système d'orientation des pales maintient alors la vitesse de rotation de la machine constante, entraînée au travers d'un multiplicateur, avec un glissement inférieur ou égal à 1%.

#### ❖ Eolienne à vitesse variable

Pour optimiser la puissance débitée en fonction du vent, il est souhaitable de pouvoir régler la vitesse de rotation de l'éolienne. L'idée est de réaliser un générateur à fréquence fixe et vitesse variable. Le générateur à vitesse variable permet de fonctionner pour une large gamme de vents donc de récupérer un maximum de puissance tout en réduisant les nuisances sonores lors d'un fonctionnement à faible vitesse de vent. En vitesse variable, on régule le système de façon à ce que pour chaque vitesse de vent, l'éolienne fonctionne à puissance maximale. C'est ce qu'on appelle le Maximum Power Point Tracking. La puissance maximale est atteinte pour une vitesse de rotation de la turbine donnée par la caractéristique de l'éolienne.

Dans ces systèmes, la vitesse mécanique de la turbine et la fréquence de la charge sont découplées. Pour obtenir ce découplage, on utilise une interface d'électronique de puissance.

De cette manière la turbine tourne à vitesse variable, ajustée de manière optimale à tout instant à la vitesse du vent. Ils ont une majeure efficacité car ils parviennent à maximiser la capture d'énergie du vent disponible.

### I.4.3 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.

#### ❖ Avantages

- L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée).
- L'énergie éolienne est en plein développement en termes de puissance installée dans le monde. Plusieurs facteurs ont contribué et contribuent encore à son essor

- L'énergie éolienne est propre : les éoliennes n'engendrent aucune pollution. Elle ne rejette aucune substance dangereuse dans l'environnement et n'engendre aucun déchet.
- L'énergie éolienne est abondante : le vent est inépuisable, Il constitue donc une véritable ressource renouvelable.

#### ❖ **Inconvénients**

- La qualité de la puissance électrique : la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante donc la qualité de la puissance produite n'est pas toujours très bonne. Jusqu'à présent, le pourcentage de ce type d'énergie dans le réseau reste limité.
- Effets sur les oiseaux : Certaines études suggèrent que les oiseaux évitent les éoliennes. D'autres études ont montré que les sites éoliens ne devraient pas être situés sur les voies migratoires des oiseaux, de peur qu'ils ne soient capturés par les turbines d'aviation.
- Coût de l'énergie éolienne par rapport aux sources d'énergie conventionnelles : bien qu'en termes de coût, l'énergie éolienne puisse rivaliser avec les sources d'énergie les plus conventionnelles dans les meilleurs endroits, là où le vent est le plus fort, elle est toujours plus chère que les sources d'énergie conventionnelles. Sources traditionnelles sur des sites avec moins ventés.

## **I.5 Energie biomasse**

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles)). La biomasse utilisée par l'homme dans le monde depuis qu'il maîtrise le feu, pour le chauffage et la cuisson surtout, mais essentiellement dans les pays peu industrialisés. Le problème le plus important est que la biomasse n'est pas inépuisable. Quand on l'exploite biocarburants de biomasse de manière naturelle elle est peu menacée sur l'environnementaux.

## I.6 Système de stockage

Au regard de la transition énergétique et de la lutte contre les émissions de CO<sub>2</sub>, il convient d'apprécier de manière spécifique les objectifs du stockage stationnaire et ceux du stockage dédié à la mobilité.

Les unités de stockage, sont des éléments indispensables dans les systèmes en site isolé. Correctement dimensionnées, elles participent en effet à garantir l'autonomie du site, en constituant une réserve d'énergie lorsque les sources produisent en excédent, et en la restituant lorsqu'elles ne produisent momentanément plus assez.

L'un des objectifs du stockage est de permettre aux énergies renouvelables de déployer tout leur potentiel d'efficacité au service de la satisfaction des besoins électriques et énergétiques des particuliers, des entreprises, des territoires, des administrations et services publics. Dans cette optique, il s'agit d'éviter de perdre de l'électricité produite quand la production est supérieure à la demande. [09]

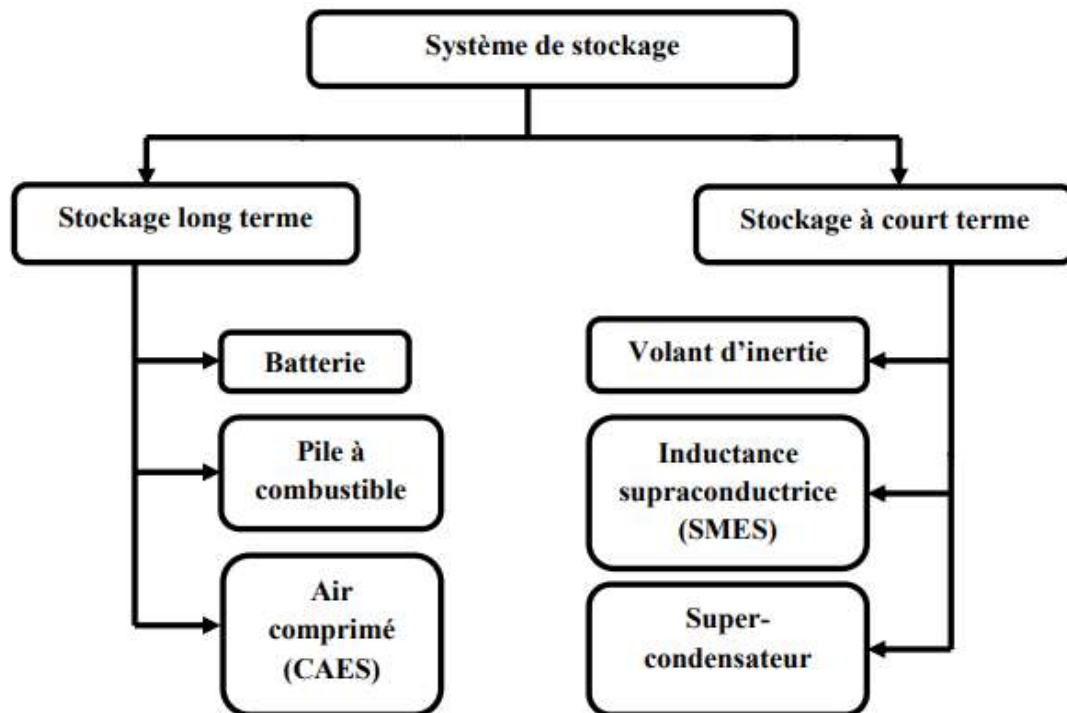


Figure I.7 : Organigramme descriptif de différents types de stockage.

## **I.6.1 Stockage long terme**

Les systèmes de stockage ayant un horizon temporel d'une dizaine de minute à plusieurs années peuvent être considérés comme des stockages longs terme. Ainsi, les types de stockage peuvent aller des barrages hydrauliques jusqu'aux batteries chimiques.

### **I.6.1.1 Batteries**

Dans les batteries, l'énergie est stockée sous forme électrochimique. Elles sont composées de deux électrodes séparées par un électrolyte et des interfaces dans lesquelles interviennent des réactions d'oxydation ou de réduction qui cèdent ou absorbent des électrons. Les ions ainsi générés circulent dans l'électrolyte. Les systèmes de batteries sont constitués d'un ensemble de modules de batteries à basse tension qui se connecte en parallèle ou en série pour obtenir les caractéristiques électriques désirées, elles représentent les systèmes de stockage qui ont la plus grande capacité de stockage d'énergie électrique [10]

### **I.6.1.2 Le stockage par pile à combustible**

Une pile à combustible qui fonctionne à l'hydrogène, dont le principe est de générer de l'électricité en convertissant directement l'énergie chimique du combustible. Celui-ci a la particularité d'utiliser deux gaz : l'hydrogène H<sub>2</sub> et l'oxygène O<sub>2</sub> comme couples électrochimiques, de sorte que les réactions redox qui se déroulent dans la cellule sont particulièrement simples. La réaction a lieu au sein d'une structure composée principalement de deux électrodes (anode et cathode) séparées par un électrolyte, un matériau qui laisse passer les ions. L'électrode permet au catalyseur de fonctionner en activant la réaction d'oxydation de l'hydrogène d'une part et la réaction de réduction de l'oxygène d'autre part.

### **I.6.1.3 Stockage sous forme d'air comprimé (CAES)**

Le principe de ces installations est de comprimer de l'air avec un turbocompresseur. L'air comprimé est stocké dans des cavernes situées à grande profondeur. Pour récupérer l'électricité, l'air comprimé est dirigé vers une machine semblable à une turbine à gaz. Pour être exploité, l'air est réchauffé dans une chambre de combustion grâce à un appoint de gaz naturel. Cette technique conduit à stocker de l'énergie sous forme d'air comprimé, soit dans de grandes cavités géologiques (par exemple mine de sel) soit à une échelle plus petite, dans des bouteilles de gaz sous pression. Les inconvénients de cette technologie sont son rendement, la faible manœuvrabilité, l'investissement élevé et la consommation de gaz.

## **I.6.2 Stockage à court terme**

### **I.6.2.1 Volants d'inertie**

La masse tournante composée de l'ensemble convertisseur-moteur (Volant d'inertie de la Machine Asynchrone) est généralement appelée le volant d'inertie. Le stockage d'énergie est appelé le système de stockage inertiel.

Ces systèmes de stockage ont une capacité de stockage de plusieurs minutes et, de par leur conception, la conversion d'énergie est réversible. Lors du stockage, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique en faisant fonctionner la machine électrique en moteur électrique. L'énergie mécanique est alors stockée dans le volant sous forme d'énergie cinétique.

### **I.6.2.2 Inductance supraconductrice (SMES)**

Les SMES sont des stockages magnétiques qui utilisent des matériaux supraconducteurs qui fonctionnent à très basse température, ce qui permet d'avoir une résistance quasi-nulle. L'absence de résistance dans les conducteurs permet de stocker de l'énergie dans un bobinage court-circuité sur lui-même pendant un temps théoriquement infini.

### **I.6.2.3 Super-condensateur**

L'énergie électrique s'accumule dans le champ électrique de sa capacité. La technologie est connue depuis les années 80, lorsqu'elle était utilisée en électronique. Dès la fin des années 1990, la taille du dispositif permettait d'envisager des applications de forte puissance.

Les super condensateurs (condensateurs à double couche) fonctionnent sur la base de condensateurs conventionnels, mais la technologie est dérivée des composants des cellules électrochimiques. Ils offrent les performances d'une densité de puissance plus élevée que les batteries et d'une densité d'énergie plus élevée que les condensateurs. Cette technologie nécessite l'utilisation de convertisseurs électroniques de puissance.[11]

## **I.6.3 Comparaison entre les batteries et les super condensateurs**

Les super condensateurs possèdent une puissance instantanée plus importante que celle des batteries et une énergie plus grande que celle des condensateurs classiques. Sa durée de vie est plus élevée que celle des batteries (environ 10 ans).

les condensateurs électrochimiques possèdent une très grande densité de puissance mais une très faible énergie spécifique. Ils sont utilisés généralement pour des constantes de temps inférieures à quelques centaine de milliseconde. Les batteries ont une densité de puissance très faible et une énergie spécifique élevée. Elles peuvent être utilisées avec une constante de temps supérieure à la minute. En ce qui concerne la pile à combustible c'est un convertisseur d'énergie et non pas un élément de stockage. Entre les batteries et les condensateurs électrochimiques se trouvent les super condensateurs qui sont utilisés pour stocker l'énergie avec une constante de temps inférieure à quelques dizaines de secondes.

#### **I.6.4 Utilisation du stockage**

Si l'utilisation du stockage est indispensable dans les systèmes de production d'énergie, il n'en est pas de même dans les réseaux électriques. Dans le cadre d'un système électrique le recours à un système de stockage doit être justifié économiquement. Il n'en reste pas moins que sur un plan technique le stockage augmente la souplesse et la fiabilité des réseaux électriques et peut intervenir à tous les niveaux de la chaîne électrique.

#### **Conclusion**

Dans ce premier chapitre nous avons présentés des généralités sur les différentes sources d'énergie renouvelables et les types de stockage, Nous avons choisis le système (panneauxsolaires , batterie), Réglementer l'intervention de chacun selon les besoins pour contrôler la manière dont l'énergie circule. Nous ont permis d'inspirer quelques idées utiles pour le contrôle de notre système d'entraînement.

## *Chapitre II*

# *Généralités sur les systèmes hybrides*

## II Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur les systèmes électriques hybrides, expliqué le concept et l'intérêt d'hybridation des différentes sources électriques, et présenté les différentes architectures d'un système hybride, les convertisseurs statiques, et les topologies d'hybridation permettant la classification de ces systèmes hybrides en fonction de leur structure et leur régime de fonctionnement

### II.1 Définition d'un système hybride

Un système d'énergies hybride (SEH) est un système électrique qui associe au moins deux technologies complémentaires, une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement diesels et au moins une source d'énergie renouvelable. Les sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne et le photovoltaïque, ne délivrent pas une puissance constante. Leur association avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées.

Le but d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et, si possible, de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable, tout en maintenant la qualité de l'énergie fournie.

### II.2 Etat de l'art des architectures pour systèmes d'énergie hybride

Les générateurs électriques d'un SEH peuvent être connectés en différentes Configurations. Ces configurations constituées par des sources d'énergies renouvelables, des batteries et des générateurs diesels se résument en trois types :

- Architecture à bus continu (CC)
- Architecture mixte à bus (CC/CA)
- Architecture à bus alternatif (CA)



### II.2.1 Architecture à bus continu (CC)

Ce type d'assemblage est adapté pour les sites isolés, à charge continue ou alternative relié au bus continu via un onduleur. L'avantage de cette topologie est la simplicité de la commande par rapport aux autres configurations [12].

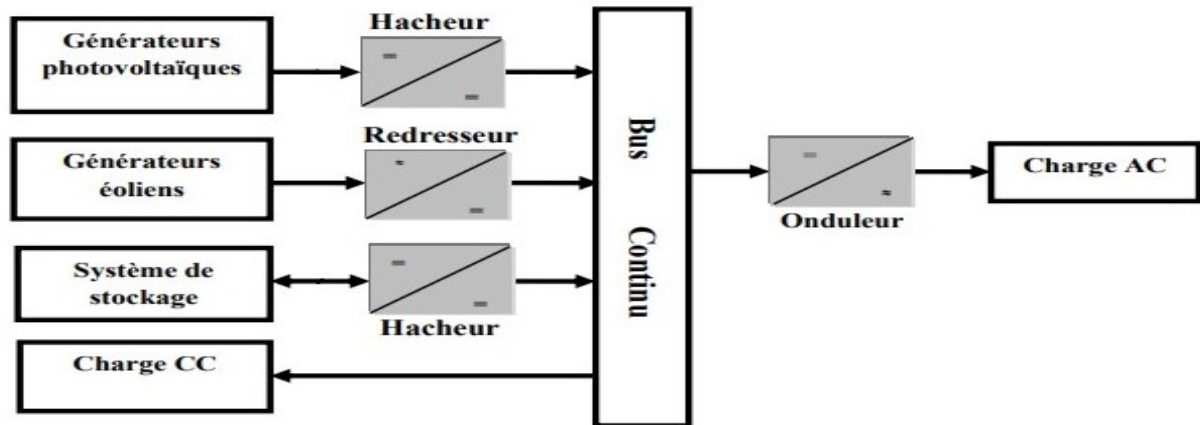


Figure II.1 : Configuration du système hybride à bus continu

### II.2.2 Architecture mixte à bus (CC/CA)

La figure (II.2) représente la structure (CC/CA) d'un système hybride. Dans cette configuration, les sources d'énergies peuvent alimenter une charge alternative CA ou une charge continue CC par un convertisseur bidirectionnel qui réalise la conversion continue-Alternative et vice versa.

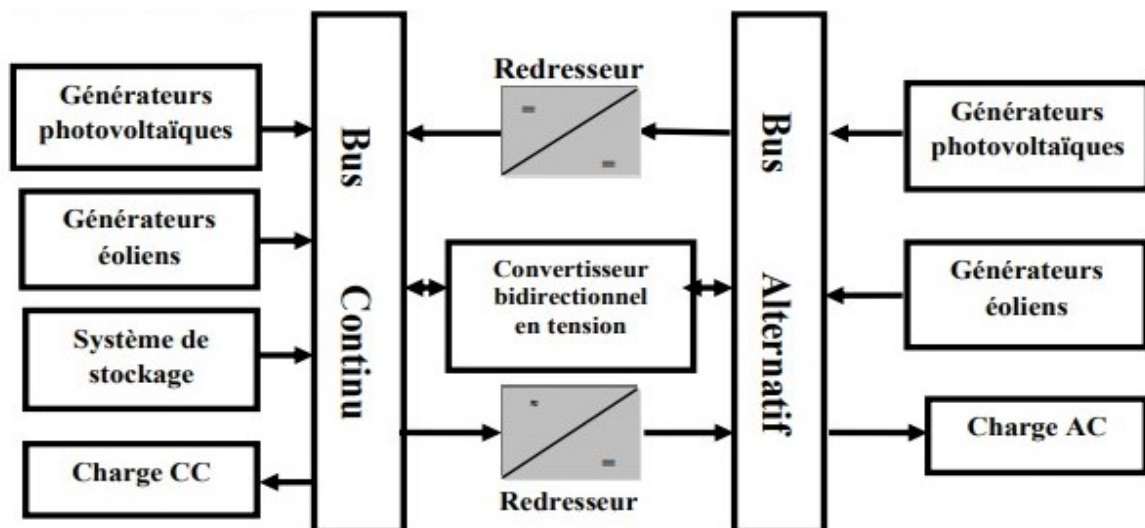


Figure II.2 : Configuration du système hybride à deux bus à CC et CA.

### II.2.3 Architecture à bus alternatif (CA)

De nouvelles approches sont proposées pour améliorer la modularité par un couplage CA (toute l'énergie converge vers un même bus CA) [04], .Toutes les sources de productions sont reliées au bus AC via des convertisseurs sauf le générateur diesel qui peut fixer la fréquence de bus. [12]

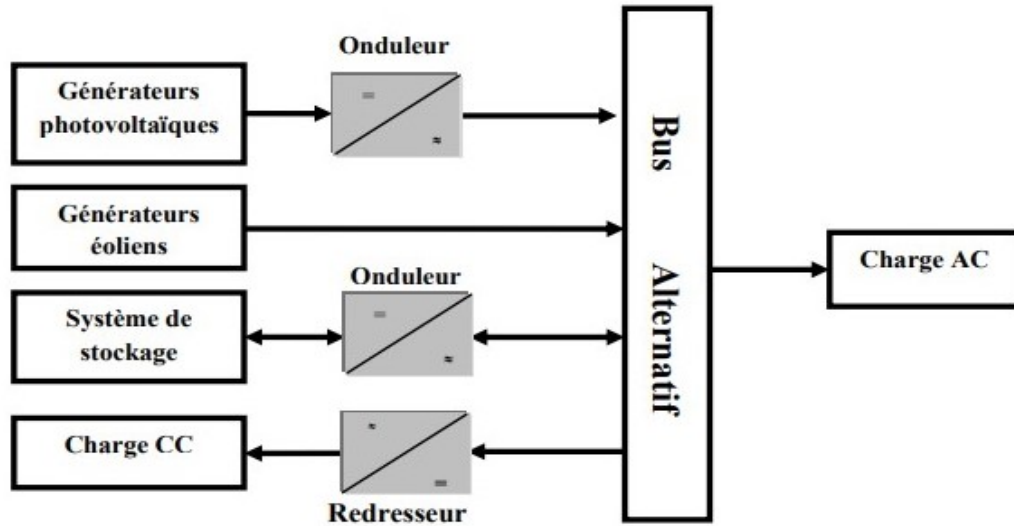


Figure II.3 : Configuration du système hybride à bus alternatif.

## II.3 Choix des convertisseurs de puissance

Différentes architectures ont été proposées pour les systèmes de puissance multi-sources éolien-photovoltaïque, pour les différents modes de couplage vu précédemment. Dans chacune, l'objectif principal est de maximiser la production de puissance des sources. Pour cela, chacune est connectée à un convertisseur de puissance, qui permet de contrôler son point de fonctionnement, et le relie au bus commun avec l'adaptation nécessaire.

## II.4 Différents convertisseurs statiques [13]

### II.4.1 Convertisseur DC/DC (hacheur)

Les hacheurs sont des convertisseurs directs du type continu-continu. Leur utilisation permet le contrôle de la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Il existe plusieurs types d'hacheurs, nous citons les plus utilisés couramment : le hacheur buck, le hacheur boost, le hacheur buck-boost.

#### II.4.2 Convertisseur DC/AC (onduleur)

Dans leur principe, les structures de ces convertisseurs continu-alternatif sont naturellement réversibles en puissance instantanée, donc en puissance moyenne, autorisant ainsi des marches en onduleur, lorsque la source continue, fournit une puissance moyenne non nulle à la source alternative, mais aussi au redresseur, dans le cas contraire.

#### II.4.3 Convertisseur AC/DC (Redresseur)

Le redresseur commandé est le montage le plus simple des montages d'électronique de puissance et permet de transformer l'énergie alternative en une énergie unidirectionnelle quasi-continue que l'on peut diriger vers les moteurs à courant continu.

### II.5 Classification des SEH

Le champ d'application des SEH est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes. On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance tableau (II.1) [13].

| Puissance du (SEH) [Kw] | Application  |
|-------------------------|--|
| Faible :< 10            | Système autonome : stations de télécommunication, de pompage de l'eau ,autres application isolées. |
| Moyenne :[[10 -250]     | Micro réseaux isolés : alimentation d'un village isolé, d'un hameau, des zones rurales.            |
| Grande :> 500           | Grands réseaux isolés (ex : réseaux insulaires   |

Tableau II.1 : Classification des systèmes hybrides par gamme de puissance [12]

## II.6 Les différentes structures des systèmes hybrides

Il existe plusieurs combinaisons possible que sa soit entre des sources non-renouvelables (généralement des générateurs diesels) ou partiellement renouvelables, cela dépend de plusieurs critères (économique, énergétique environnemental...) Dans ce qui suit nous allons présenter quelque différente combinaison de système hybride.

### II.6.1 Système hybride (photovoltaïque/groupe électrogène)

Ce type de système hybride est le plus couramment utilisé dans les régions à climat chaud à fort potentiel solaire. Lorsqu'ils fonctionnent en mode autonome, ces systèmes ont pour but de fournir une alimentation électrique ininterrompue aux maisons, habitations ou bâtiments administratifs ou villages. Ce type de système peut également alimenter des centres de recherche fonctionnant en mode autonome ou connectés au réseau.

Les systèmes autonomes contiennent généralement des batteries et éventuellement d'autres dispositifs de stockage. Les batteries et les champs photovoltaïques génèrent du courant continu, les moteurs diesel, quant à eux, peuvent entraîner des générateurs de courant continu ou de courant alternatif.[14]

Pour ce SH à base de source photovoltaïque et un autre SH classique, on distingue différentes structures basées sur l'interconnexion de composants internes.

Distinguez les configurations suivantes :

#### II.6.1.1 Systèmes hybrides (photovoltaïque/groupe électrogène) série

Dans cette configuration, le générateur diesel est connecté sur le bus à 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 et le consommateur est alimenté par un onduleur.

Le générateur diesel peut alimenter la charge à travers les convertisseurs électroniques ou charger la batterie, lorsque l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le diesel est arrêté.

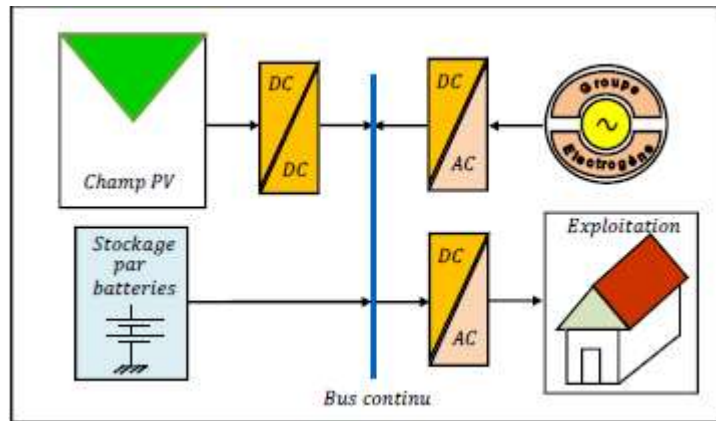


Fig. II.4 Système hybride avec connexion série.

### II.6.1.2 Systèmes hybrides (photovoltaïque/groupe électrogène) à commutation

Les consommateurs peuvent être alimentés par des générateurs diesel ou par des systèmes photovoltaïques et des batteries via des onduleurs. L'alimentation simultanée des deux n'est pas possible, le générateur diesel peut charger la batterie via un redresseur, et en raison de la complexité du système hybride, la gestion du système doit être automatique.

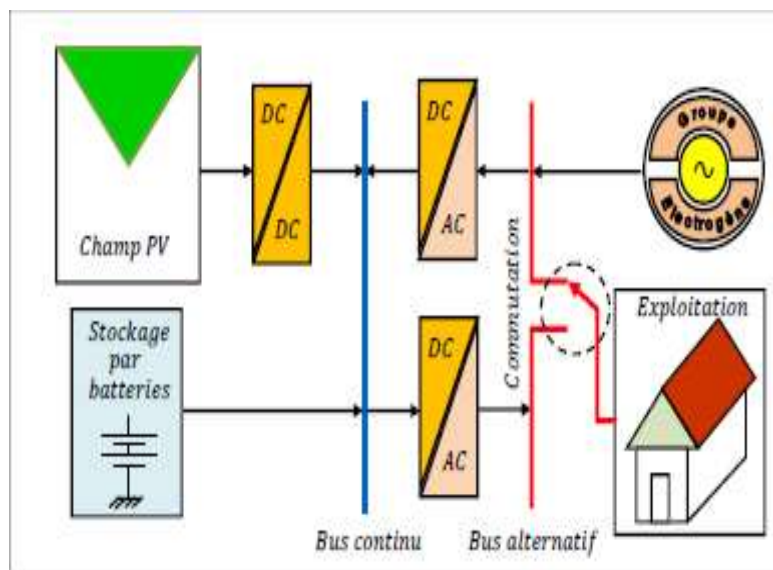


Fig. II.5 Système hybride à commutation.

### II.6.1.3 Systèmes hybrides (photovoltaïque/groupe électrogène) parallèle

Les générateurs diesel sont interconnectés sur le bus AC, et le photovoltaïque et les batteries sont connectés en série avec des convertisseurs bidirectionnels.

Il peut fonctionner soit en redresseur, lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe à la charge de la batterie, soit en onduleur, lorsque les panneaux photovoltaïques et/ou les batteries satisfont la charge, de sorte que la charge peut être alimentée par deux bus au niveau même temps.

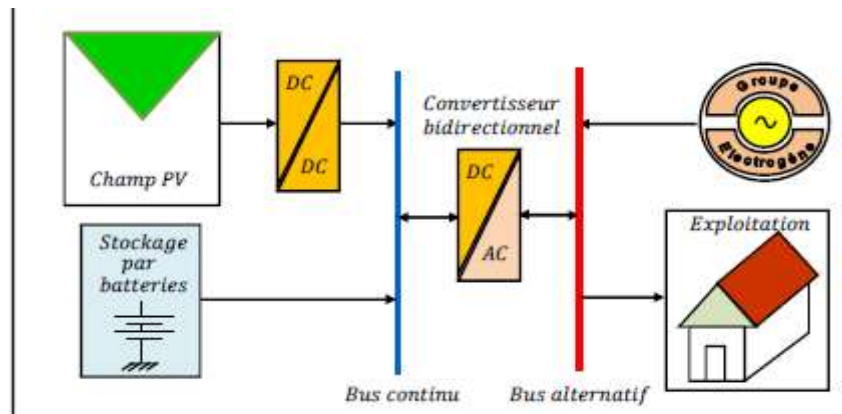


Fig. II.6 Système hybride à connexion parallèle.

### II.6.2 Systèmes hybrides (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. C'est pour quoi il n'existe pas une grande diversité des configurations de ce genre de systèmes hybrides. Ceux-ci 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.

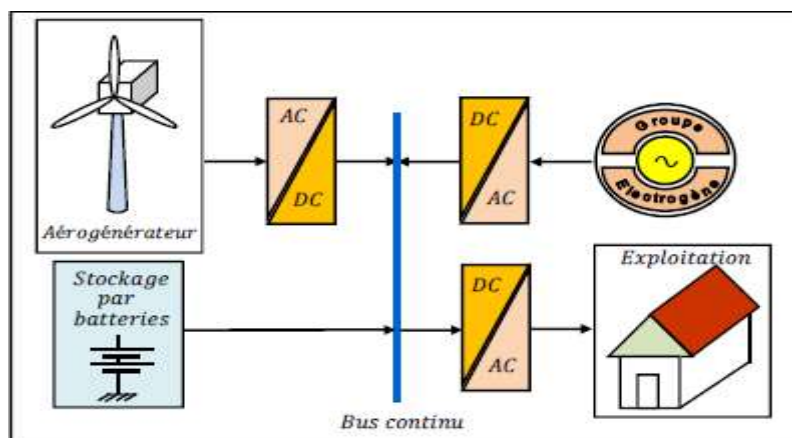


Fig. II.7 Schéma d'un système hybride éolien-diesel.

### II.6.3 Système hybride (éolien/photovoltaïque/groupe électrogène)

Ce type de système hybride est idéal pour la production d'électricité décentralisée, Peut aider à la connexion au réseau (site isolé). La donnée initiale pour la mise en place d'un tel système énergétique est la demande, qui sera déterminée en fonction de la charge à alimenter. Cette demande doit être estimée au plus juste en fonction du pouvoir invoqué et de sa répartition temporelle, même si son caractère souvent aléatoire rend cette tâche très difficile.[15]

L'ajout de groupes électrogènes à un système de production d'énergie renouvelable peut, d'une part, améliorer la fiabilité du système en termes d'alimentation des charges, et d'autre part, réduire significativement le coût de production d'électricité en réduisant significativement la taille du système de stockage.

### II.6.4 Système hybride (photovoltaïque/éolien/stockage)

Ces systèmes hybrides fonctionnent surtout en mode autonome dans des sites isolés ou L'approvisionnement groupe électrogène en ou le raccordement au réseau électrique est difficile.

## II.7 Avantage et inconvénient d'un système hybride

### ➤ Avantages

- Capable de satisfaire des charges évolutives.
- Exploitation simple, travaux de maintenance et révision réduits.
- Non dépendant d'une seule source d'énergie.

### ➤ Inconvénients

- Coût de capital élevé.
- Plus complexe que les systèmes électriques isolés; nécessite le stockage par batterie et le Conditionnement de l'électricité.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présentés des généralités sur les systèmes électriques hybrides, nous avons expliqué le concept et l'intérêt d'hybridation des différentes sources électriques, et présenté les différentes topologies d'hybridation permettant la classification de ces systèmes hybrides en fonction de leur structure et leur régime de fonctionnement lié à la connexion ou la dis-connexion du réseau électrique.



## *Chapitre III*

# *Modélisation des différentes parties du système hybride*

### III. Introduction

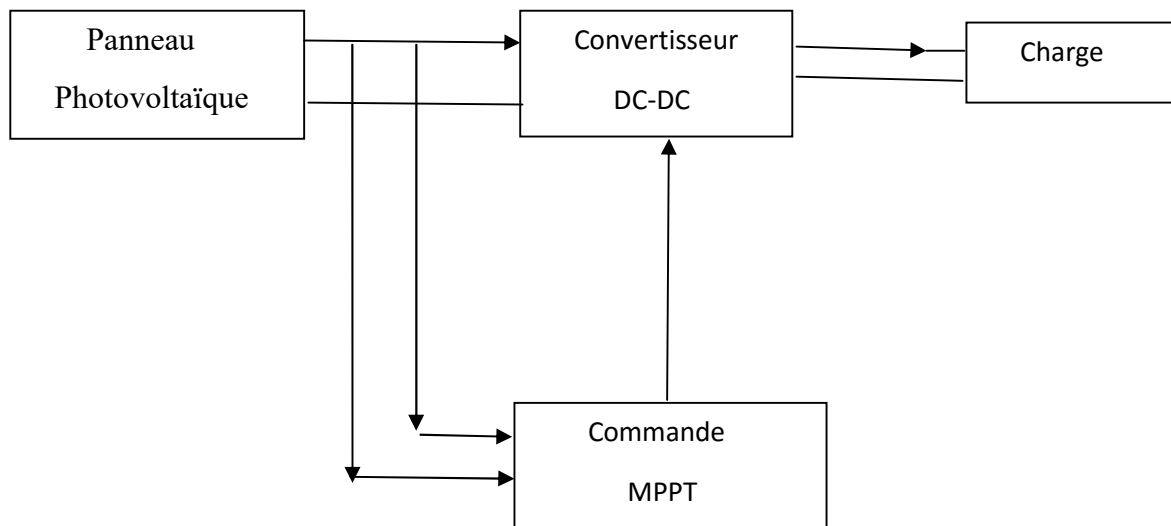
Ce troisième chapitre a pour but de présenter les générateurs photovoltaïque (GPV), avec les éléments de stockage d'énergie (batteries) et les convertisseurs statiques.

La modélisation est un moyen destiné à représenter par une forme mathématique une fonction ou un processus technologique, elle consiste à traduire en équation le comportement d'un système physique donné, afin de pouvoir comprendre son fonctionnement et faciliter son dimensionnement.

#### III.1 Modélisation de la chaîne de production photovoltaïque

Un système photovoltaïque est l'ensemble des éléments permettant de convertir l'énergie solaire qu'il reçoit en énergie électrique utilisée pour alimenter une charge spécifique pour une application donnée.

la chaîne de conversion est constituée principalement d'une source photovoltaïque et d'un convertisseur DC/DC (Hacheur) pour la poursuite du point correspondant à la puissance désirée (mode MPPT ou autre mode). De plus, cette chaîne peut être munie d'un bus continu (constitué de condensateur et/ou batteries) et d'un onduleur permettant de convertir l'énergie en forme alternative pour l'injecter dans le réseau.[16]



*Figure. III.1 : Système photovoltaïque avec convertisseur d'adaptation*

### III.2 Modélisation du générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est constitué principalement de cellules PV ou cellules solaires. Ces cellules constituent l'élément de base de la conversion photovoltaïque.

Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur qui transforme en énergie électrique l'énergie lumineuse fournie par une source d'énergie inépuisable, le soleil.

Les équations mathématiques développées à partir du circuit équivalent, pour la modélisation des générateurs PV sont basées sur la caractéristique courant-tension et puissance.

Pour avoir le point optimal qui correspond au point de la puissance maximale, il est évident de modéliser le générateur photovoltaïque.

Parmi ces modèles, on trouve [17] :

- **Le modèle idéalisé:** c'est le modèle le plus simplifié, la valeur de la résistance  $R_{sh}$  étant généralement très grande, elle est donc souvent supposée infinie (négligée), la valeur de la résistance  $R_s$  étant petite elle est supposé être nul ( $R_s = 0$ ).
- **Le modèle à une diode :** pour tenir compte des chutes de tension dans les zone P et N, on doit ajouter une résistance série dans le modèle idéalisé, une résistance série  $R_s$  et pour le courant de fuite, une résistance parallèle  $R_{sh}$ .
- **Le modèle à deux diodes :** une diode supplémentaire mise en parallèle avec la diode du modèle précédent, permettant de reproduire des effets chimiques de recombinaison des électrons.

Pour trouver le modèle du générateur photovoltaïque, il faut tout d'abord retrouver le circuit électrique équivalent à cette source. De nombreux modèles mathématiques ont été proposés pour simuler la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire (ou d'un panneau) [04]

Dans notre études on a choisi un modèle simplifié à une diode, qui est un modèle de cinq paramètres ( $I_L, I_D, I_R, R_P, R_S$ ), qui tient compte de la variation du courant et de la tension du panneau photovoltaïque en fonction des conditions climatiques. Ce modèle est caractérisé par son schéma équivalent suivant :

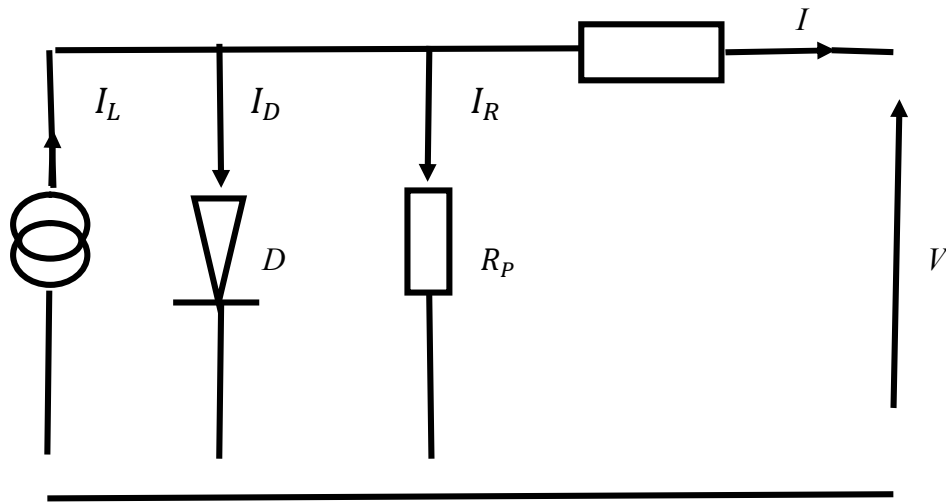


Figure III.2 : schéma équivalent d'un générateur photovoltaïque, modèle simplifié à une diode.

A partir de la figure (II.2) la loi des nœuds nous permet d'écrire la relation suivante:

$$I = I_L - I_D - I_R$$

$$I_L = P_1 E_S \left( 1 + P_2 (E_S - E_{sréf}) + P_3 (T_j - T_{jréf}) \right) \quad (III.1)$$

$$T_j = T_a + E_S \left( \frac{N_{oct} - 20}{800} \right) \quad (III.2)$$

$$I_D = I_0 \left[ \exp \left( \frac{q}{K A n_s T_j} (V + R_S I) \right) - 1 \right] \quad (III.3)$$

$$I_0 = P_4 T_j^3 \exp \left( \frac{E_S}{K T_j} \right) 5 \quad (III.4)$$

$$I_R = \frac{V}{R_P} \quad (III.5)$$

On obtiendra alors :

$$I = P_1 E_s (1 + P_2 (E_s - E_{sréf}) + P_3 (T_j - T_{jréf}) - P_4 T_j^3 \exp\left(\frac{E_g}{Kt_j}\right) * \\ \left[ \exp\left(\frac{q}{k A n_s T_j} (V + R_s I)\right) - 1 \right] - \frac{V}{R_p} \quad (\text{III.6})$$

Où :

I : Le courant de cellule.

V : La tension de cellule.

$R_s$  : La résistance série de la cellule [ $\Omega$ ].

$E_s$  : L' ensoleillement [ $WW/mm^2$ ].

$E_{sréf}$  : L' ensoleillement de référence [ $WW/mm^2$ ].

$T_j$  : La température de jonction de la cellule [ $^{\circ}C$ ].

$T_{jréf}$  : La température de jonction de référence [ $^{\circ}C$ ].

$T_a$  : La température ambiante [ $^{\circ}C$ ].

q : La charge d' électron  $e = 1.6 * 10^{-19}$  C.

$I_0$  : Le courant de saturation [A]

K : La constante de Boltzmann ( $1.3854 * 10^{-23}$  JKK $^{-1}$  ).

$n_s$  : Le facteur de qualité de la diode.

A: Coefficient d' idéalité de la cellule.

$E_g$ : Energie de gap

### III.2.1 Caractéristiques d'un panneau solaire

| Paramètres  | Valeurs   |
|---|-----------|
| Puissance maximale du panneau $P_{mpp}$                         | 80 w      |
| Courant au point de puissance maximale $I_{mpp}$                | 4.38 A    |
| Tension au point de puissance maximale $V_{mpp}$                | 18.3 V    |
| Courant de court-circuit $I_{sc}$                               | 4.68A     |
| Tension en court-circuit $V_{oc}$                               | 22.5 V    |
| Coefficient d'incrémentatation du courant $I_{sc}$ ( $a_{sc}$ ) | 1.4 mA/°C |
| Coefficient d'incrémentatation de la tension $V_{oc}$           | -152mV/°C |

*Tableau III.1: Paramètres d'un panneau solaire JIAWEI JW-S80W*

Pour valider ce modèle nous l'avons simulé en utilisant le modèle mathématique déjà décrit et les paramètres du tableau (III.1 ). Nous avons déterminé les caractéristiques courant-tension et puissance-tension pour un niveau d'irradiation ( $G=1000W/m^2$ ) et une température ( $T=25^{\circ}C$ )

#### III.2.1.1 Caractéristique Courant-Tension

Les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque varient en fonction de la température et de l'irradiation.

La courbe caractéristique d'un panneau photovoltaïque représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension à ses bornes, depuis le court-circuit (tension nulle correspondante au courant maximal) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes de panneau).

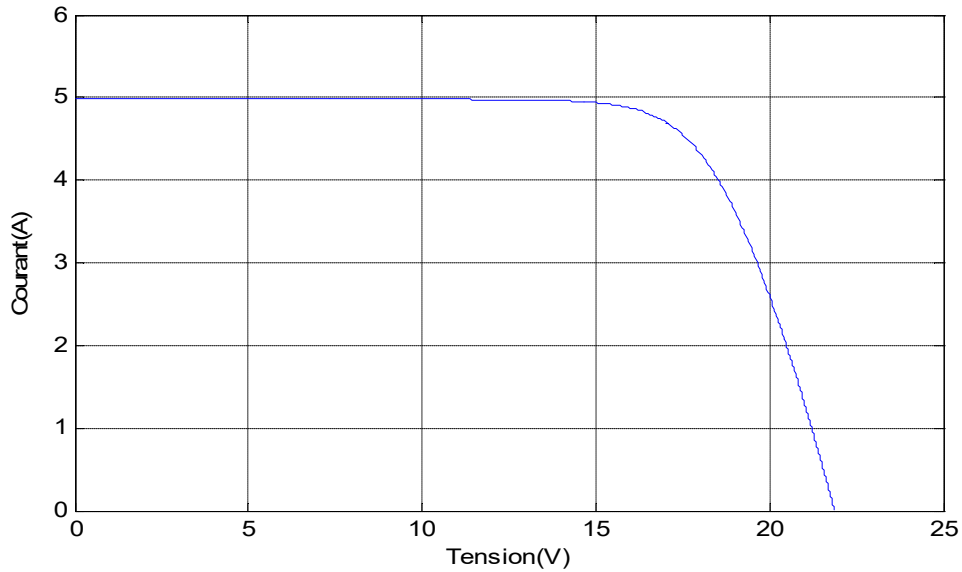


Figure III.3 : Caractéristique Courant-Tension.

### III.2.1.2 Caractéristique puissance –tension

La Figure.5 représente la caractéristique (puissance, tension) tracée pour un éclairement  $E=1000W/m^2$  et une température ambiante  $T = 25^{\circ}C$ . On constate que la caractéristique (P, V) On note aussi qu’il existe toujours un point de puissance maximale, située sur le coude de la caractéristique

Puissance délivrée par le module a pour expression :  $P_{pv} = V_{pv} * I_{pv}$

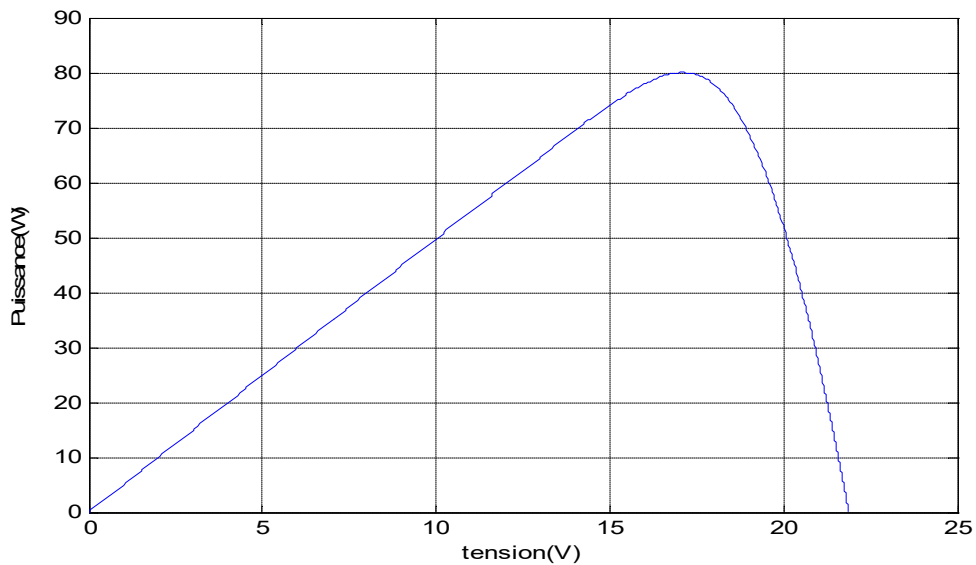


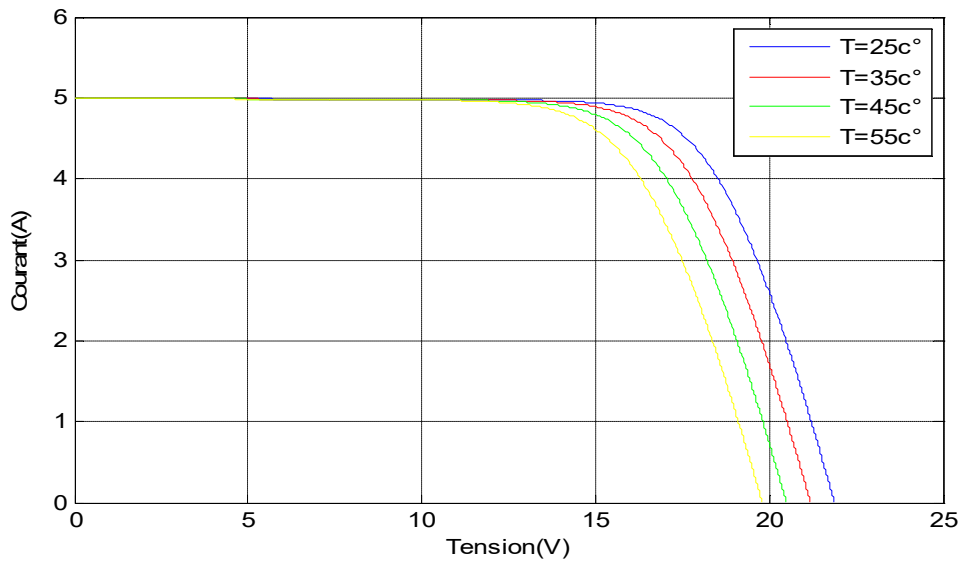
Figure III.4: Caractéristique puissance-tension d’un module photovoltaïque

### III.2.2 Influence de l'éclairement et la température

#### III.2.2.1 Influence de la température

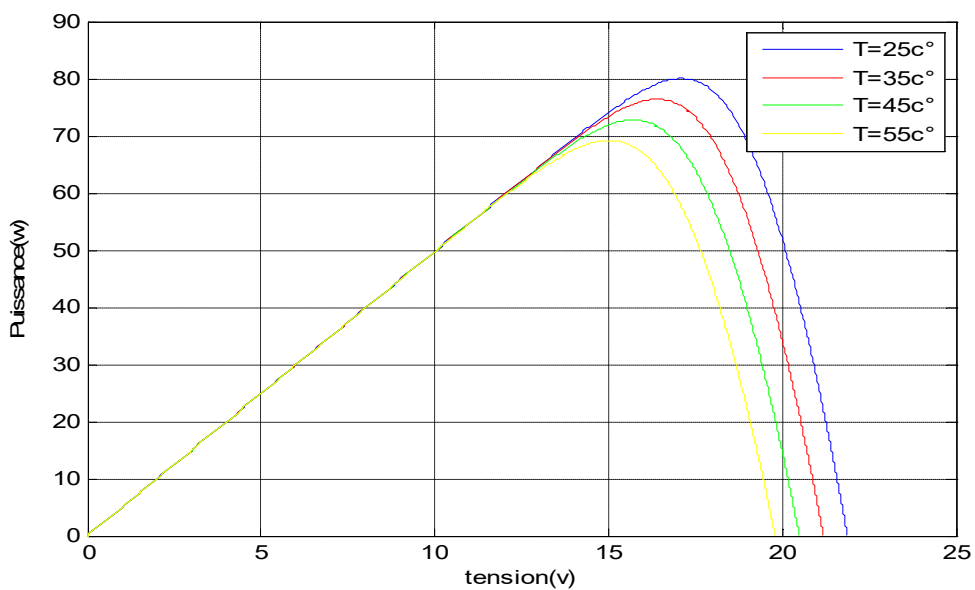
Sur la figure ( III.5) nous remarquons que la tension à vide  $V_{oc}$  décroît avec la température.

Plus la température est élevée, plus  $V_{oc}$  est faible, tandis que le courant ( $I_{cc}$ ) reste presque constant.



*Figure III.5: Caractéristique courant-tension pour différentes températures.*

Pour la figure (III.6) l'augmentation de la température a un effet sur la puissance, mais elle cause surtout une diminution apparente de la tension de circuit ouvert.



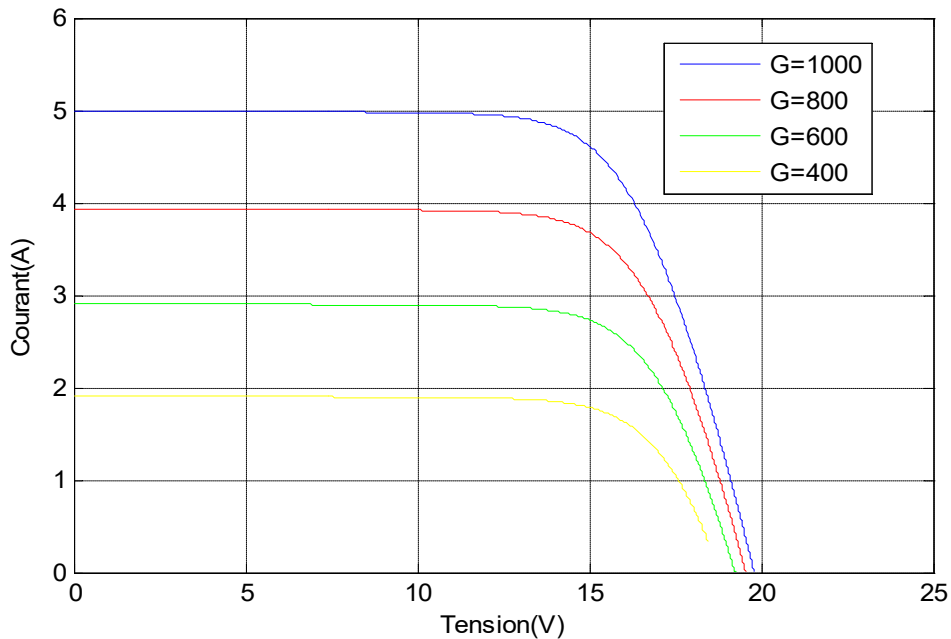
*Figure III.6 : Caractéristique puissance-tension pour différentes températures.*



### III.2.2.2 Influence de l'éclairement

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. LA figure (III.7) représente la caractéristique courant-tension d'une cellule PV pour une température constante de (25°C) et pour différentes intensité rayonnante de (400, 600, 800 et 1000W/m<sup>2</sup>). Nous remarquons que

- Le courant de court-circuit  $I_{cc}$  et la puissance varie proportionnellement à l'éclairement G.



*Figure III.7 : Caractéristique courant - tension pour différents ensoleillements.*

### III.3 Commande (MPPT) des convertisseurs DC/DC

Dans un système électrique comprenant une source et une charge, la recherche du point de fonctionnement optimal par des techniques d'optimisation représente ce qui est le plus important [18] ,par définition, une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking), associé à un convertisseur DC/DC d'adaptation permet de faire fonctionner un générateur photovoltaïque de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance, la présence de convertisseur (DC/DC) permet la mise en place d'algorithmes de poursuite de point de puissance maximal (MPPT).

Ces algorithmes vont modifier l'impédance équivalente du convertisseur pour s'assurer que le générateur PV fonctionne à sa puissance maximale. De nombreux travaux ont été et sont menés sur l'amélioration de ces algorithmes [19]

### III.3.1 Méthode de poursuite du point de puissance maximale

Pour obtenir un meilleur rendement dans le fonctionnement des générateurs photovoltaïques, la technique appelée la poursuite de la puissance maximale (MPPT) qui consiste à transférer de façon optimale toute la puissance électrique à extraire de cette source de l'énergie photovoltaïque vers la charge à alimenter. Elle doit être utilisée dans toute application utilisant ces générateurs, et deviendra nécessaire et même indispensable selon la théorie de transfert optimale de puissance..

Les techniques de contrôle employées pour la poursuite du point de puissance sont :

- Méthodes de la dérive de la puissance
- Méthodes à contre réaction de la tension
- Méthodes à contre réaction de courant

Dans notre cas nous avons choisi la méthode de la dérive de la puissance

### III.3.2 Méthode de la dérive de la puissance

Cette méthode est basée sur la recherche de l'extremum de la courbe de puissance  $P_{PV}$  obtenue directement de la caractéristique du (GPV). le (MPP) est obtenue lorsque la dérive de la puissance maximale (MPP) est donné par la figure suivante.

#### III.3.2.1 Méthode de perturbation et d'observation (P&O)

C'est la méthode la plus utilisée vu sa simplicité. C'est une méthode itérative qui permet d'obtenir le point de puissance maximale du panneau photovoltaïque, Son principe consiste à perturber la tension VPV d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance PPV que en résulte, comme l'illustre la figure (III.8), on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension VPV engendre un accroissement de la puissance PPV, cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique  $P_{PV}(V_{PV})$ , il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande.

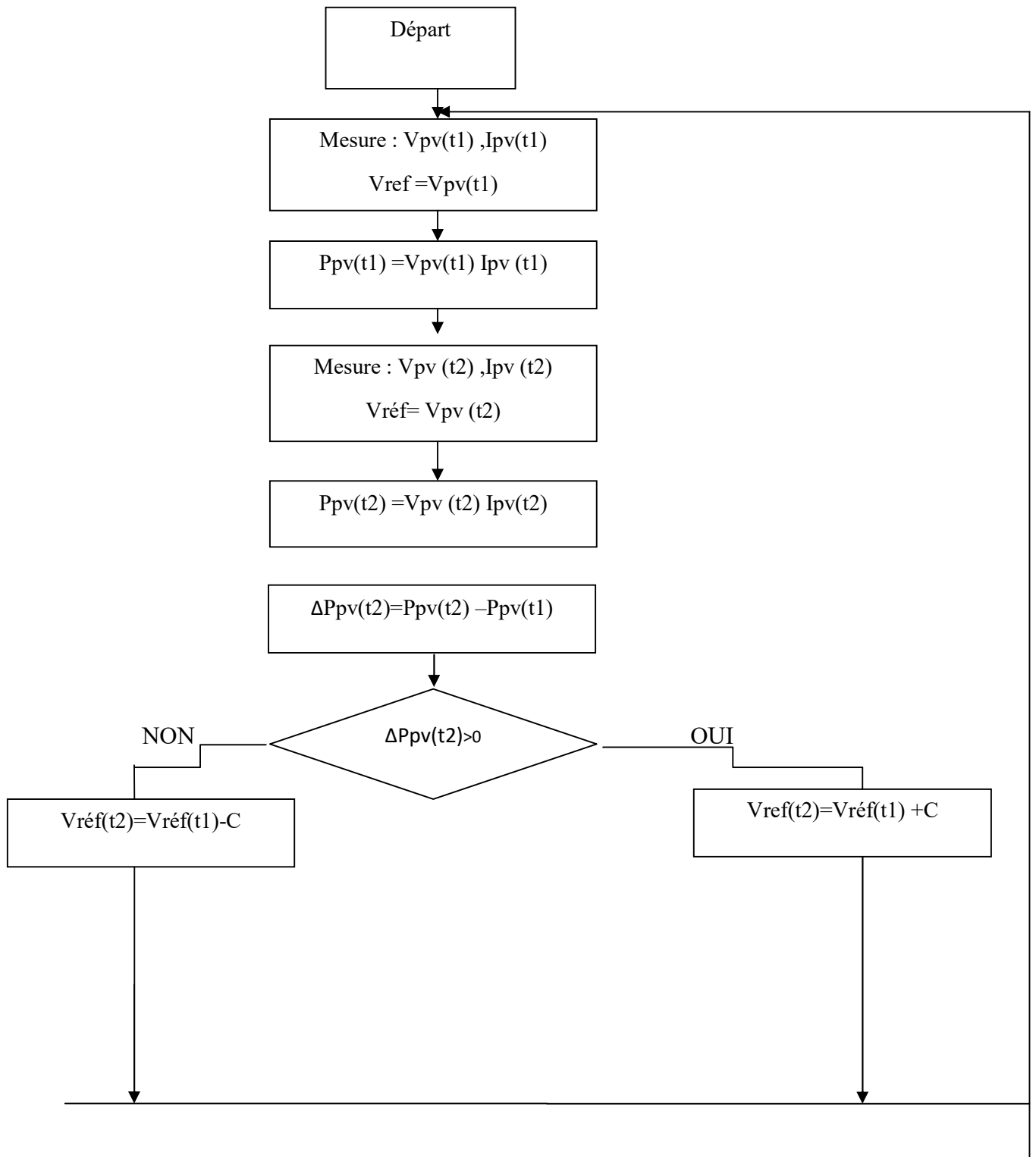
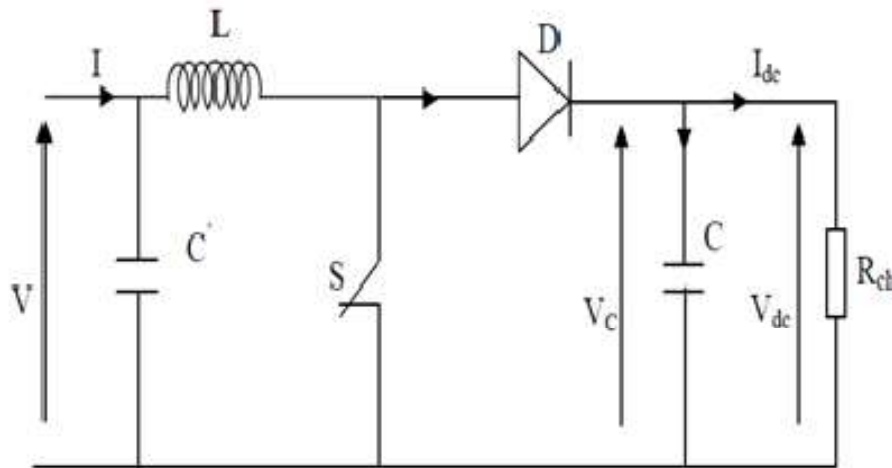


Figure III.8 : Organigramme de l’algorithme MPPT(P&O)

### III.4 Modèle d'un hacheur survolteur (Boost)

Les convertisseurs statiques DC/DC, appelés aussi hacheurs, sont souvent utilisés dans les systèmes photovoltaïques comme interface d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et sa charge. Ils permettent de commander le flux d'énergie générée par les GPV et d'assurer la poursuite du point de puissance maximale en suivant des stratégies de contrôle spécifiques [04].

Le convertisseur Boost est un élévateur de tension, On l'utilise lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une source continue. Un convertisseur Boost permet d'augmenter la tension fournie par la cellule photovoltaïque et ainsi diminuer le nombre de cellule nécessaires pour atteindre le niveau de tension désiré.



**Figure III.9:** Circuit électrique du convertisseur DC-DC.

Les figures (III.9), (III.10) montrent le cycle de fonctionnement, de période de hachage  $T$ , qui comporte deux étapes. Lors de la première, on rend l'interrupteur passant et la diode polarisée en inverse, donc bloquée. Cette phase dure de  $0$  à  $\alpha.T$  ( $\alpha$  rapport cyclique, est compris entre  $0$  et  $1$ ).

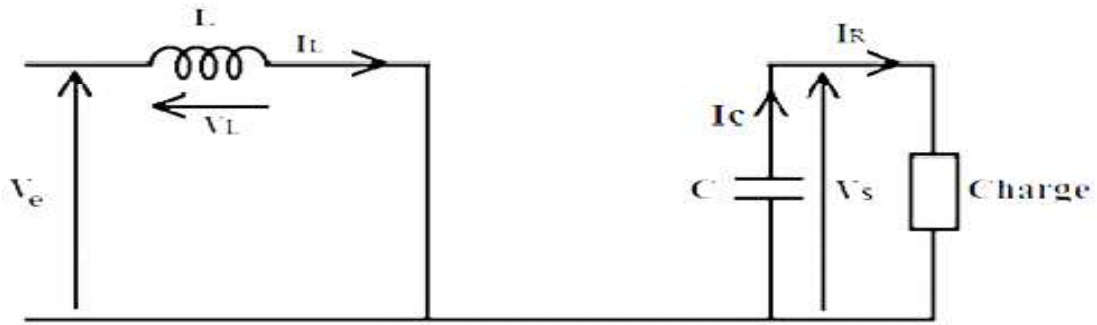


Figure III.10: Schéma d'un Hacheur survolteur à  $t \in [0, \alpha.T]$ .

Le condensateur C supposé initialement chargé, fournit de l'énergie à la charge et un courant  $I_R$  circule dans cette dernière.

$$V_L = -V_e = L \frac{di_L}{dt} \quad (\text{III.7})$$

$$V_S = R * I_R \quad (\text{III.8})$$

Lors de la seconde période, on bloque l'interrupteur. La diode devient passante. Cette phase dure de  $\alpha.T$  à  $T$ .

Avec :  $I_C = I_R$

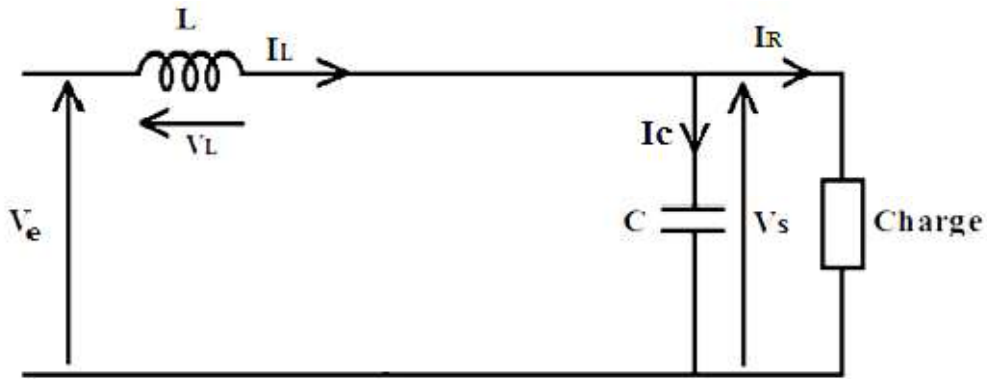


Figure III.11 : Schéma d'un Hacheur survolteur à  $t \in [\alpha.T, T]$ .

$$V_L = V_e - V_S \quad (\text{III.9})$$

$$I_C = I_L - I_R \quad (\text{III.10})$$

On en déduit facilement la tension et l'intensité dans la charge par les équations suivantes:

$$V_S = \frac{1}{1-\alpha} * V_e \quad (\text{III.11})$$

$$I_R = (1 - \alpha) * I_L \quad (\text{III.12})$$

### III.5 Modélisation de la batterie

La batterie joue un rôle important en termes de stockage dans le cas le plus général, mais spécialement dans les installations hybrides

Il existe plusieurs modèles de batterie au plomb et leur mise en œuvre n'est pas aisée du fait de la prise en compte de plusieurs paramètres, suivant les applications et les contraintes auxquelles elles sont soumises, notre choix s'est porté sur le modèle dit « CIEMAT »

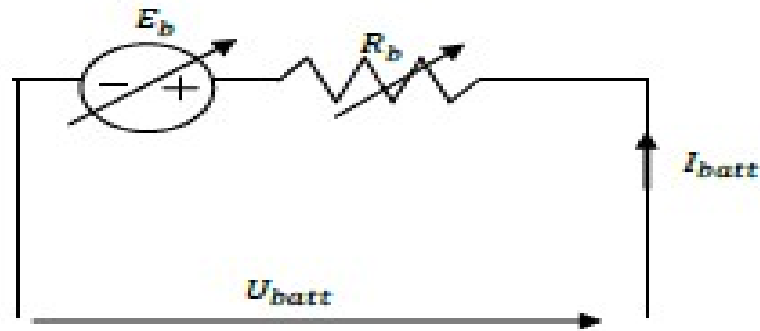


Figure III.12 : Schéma équivalent de la Batterie

Pour un nombre de cellule  $n_b$  l'équation de la tension  $U_{bat}$  est

$$U_{batt} = E_b \pm R_b * I_{batt} \quad (III.13)$$

Avec :

- $U_{batt}$ : Tension de la batterie.
- $I_{batt}$ : Courant de la batterie.
- $E_b$ : La force électromotrice, variable fonction de l'état de charge de la batterie.
- $R_b$ : La résistance interne, variable en fonction de l'état de charge

#### III.5.1 Modélisation de la capacité $C_{bat}$

La capacité  $C_{bat}$  donne la quantité d'énergie que peut restituer la batterie en fonction du courant moyen de décharge  $I_{bat,moy}$ ,

$$C_{bat} = \frac{1.67 * C_{10}}{1 + 0.67 * \left(\frac{I_{bat,moy}}{I_{10}}\right)^{0.9}} (1 + 0.005 \Delta T) \quad (III.14)$$

Avec  $I_{10} = 10A$ ,  $I_{bat,moy} = 5A$ ,  $C_{10} = 10 * I_{10}$

Le fonctionnement de la batterie :

$$Q_m = I_{bat} * t \quad (III.15)$$

L'expression de l'état de la charge de la batterie EDC :

$$EDC = 1 - \frac{Q_m}{C_{bat}} \quad (III.16)$$

### III.5.2 Equations de la tension de décharge

En régime de décharge, la f.e.m et la résistance sont interne sont :

$$E_{b\_déch} = 1.965 + 0.12 EDC \quad (III.17)$$

$$R_{b\_dech} = R_{bet} = \frac{1}{C_{10}} \left( \frac{4}{1+I_{bat}^{0.5}} + \frac{0.27}{EDC^{1.5}} \right) \quad (III.18)$$

L'expression de la tension de batterie, pour ce régime de décharge :

$$V_{bat-déch} = n_b [1.965 + 0.12 EDC] - n_b \frac{I_{bat}}{C_{10}} \left( \frac{4}{1 + I_{bat}^{0.8}} + \frac{0.27}{EDC^{1.5}} + 0.02 \right) * (1 - 0.007 \Delta T) \quad (III.19)$$

### III.5.3 Equations de la tension de charge

En régime de charge

On définit également l'état de charge (EDC) de la batterie par :

$$EDC = 1 - \frac{Q_d}{C_{bat}} \int I dt \quad (III.20)$$

Avec :

$C_{bat}$  la capacité (Ah) nominale de la batterie et  $Q_d$  la quantité de charge manquante par rapport à  $C_{bat}$

$$E_{b\_char} = 2 + 0.16 EDC \quad (III.21)$$

$$R_{b\_char} = R_b = \frac{1}{C_{10}} \left( \frac{6}{1+(I_{bat})^{0.86}} + \frac{0.48}{(1-EDC)^{1.2}} + 0.036 \right) * (1-0.025 \Delta T) \quad (III.22)$$

Et l'expression de la tension de la batterie :

$$V_{bchar} = n_b [2 + 0.16. EDC] + n_b \frac{I_{bat}}{C_{10}} \left( \frac{6}{1 + (I_{bat})^{0.06}} + \frac{0.48}{(1 - EDC)^{1.2}} + 0.036 \right) * (1 - 0.025 \Delta T) \quad (III.23)$$

### III.6 Modélisation du convertisseur DC-DC abaisseur-survolteur (Buck–Boost) côté unité de stockage

L'objectif principal du convertisseur de batterie est de : maintenir la tension de liaison continue commune constante. De cette façon, non quelle que soit la charge ou la décharge de la batterie, la tension de le **Bus** à courant continu peut être stable et donc l'ondulation dans le condensateur la tension est beaucoup moins. Lors de la charge, le Commutateur **S1** est activé et le convertisseur fonctionne comme un circuit de **Boost**. Autrement. Quand la décharge, l'interrupteur **S2** est activé et le convertisseur fonctionne comme un circuit **Buck**[20].

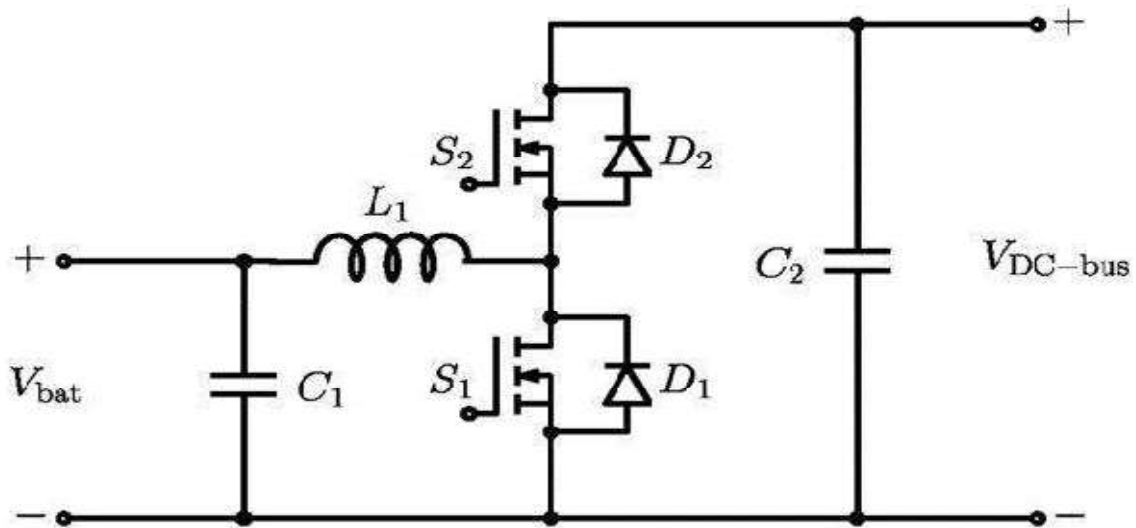


Figure.III.13 : Montage abaisseur-survolteur du convertisseur DC-DC

Les équations électriques du hacheur survolteur sont :

$$L_1 \frac{di_l}{dt} = V_{bat} - (1 - S_1)V_{dc} \quad (III.24)$$

$$C_2 \frac{dv_{dc}}{dt} = (1 - S_1)I_L + I_{dc} \quad (III.25)$$

Les équations électriques du hacheur abaisseur sont :

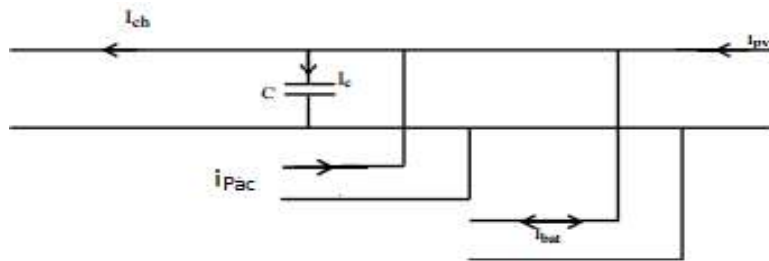
$$L_1 \frac{di_l}{dt} = V_{bat} - S_2 * V_{dc} \quad (III.26)$$

$$C_2 \frac{dv_{dc}}{dt} = S_2 * I_{L1} - I_{dc} \quad (III.27)$$



### III.7 Modèle du bus continu

Le bus continu assure le couplage entre les sources d'énergie, les batteries et la charge, il est composé d'une capacité, qui a pour but de filtrer la tension et chaque convertisseur statique qui est reliés avec lui exerce une influence par le courant



**Figure.III.14** : le bus continu.

On a :

$$I_{ch} = I_{pv} + I_{bat} - I_c \quad (III.28)$$

$$I_c = C \frac{d_{vc}}{dt} (III.29)$$

### **III Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons modélisé un système électrique hybride (panneau solaire, batterie) et le modèle de convertisseur de chaque élément. Cette modélisation nous permettra de simuler les performances du système global étudié.

## *Chapitre IV*

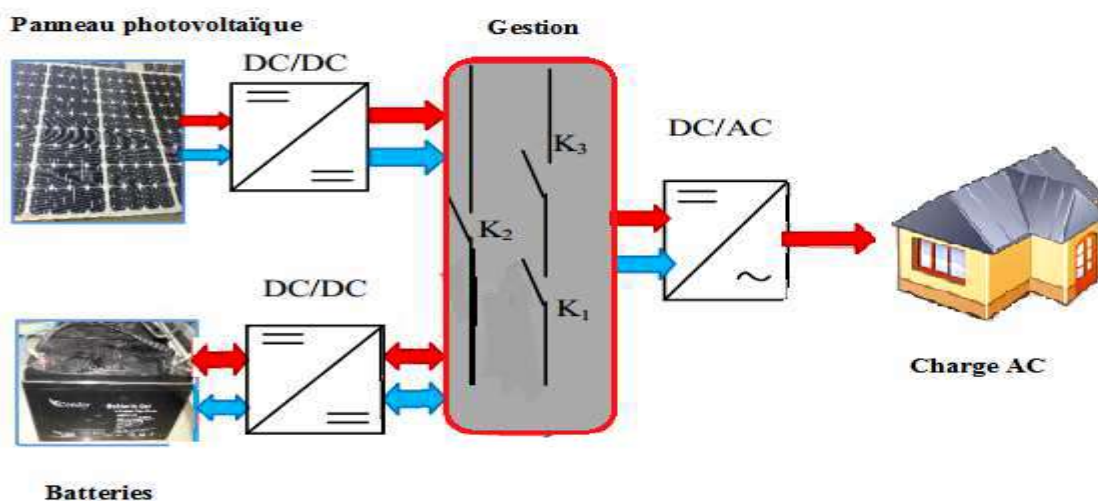
# *Gestion de puissance du système hybride*

## IV Introduction

À l'aide des modèles et des lois de commande élaborés dans le chapitre précédent pour les différents éléments, nous allons construire notre système globale composé d'un générateurs photovoltaïques, batterie et une charge variable. Nous terminons par simulation avec Matlab du système étudié et la présentation des résultats.

### IV.1 Gestion d'énergie

Nous avons choisi la gestion de l'énergie d'un système hybride constitué d'une chaîne de conversion photovoltaïque alimentent une charge variable et le surplus d'énergie produite par le GPV sert à charger la batterie qui constitue notre système de stockage. L'énergie emmagasinée dans la batterie va servir à compenser le manque au niveau de la charge dans le cas où le GPV ne satisfait pas cette dernière.



*Figure IV.1 : Architecture de système global*

*Avec :*

**K1** : interrupteur d'un panneau solaire

**K2** : interrupteur d'une batterie

**K3** : interrupteur d'un la charge.

## IV.2 Différents scénarios pour la gestion d'énergie

Mode 1 :L'énergie générée par le **GPV** est inférieure à la demande de charge ( $P_{pv} < P_{ch}$ ), avec ( $P_{pv} < 100W$ ) et la batterie est disponible donc la batterie fonctionne seule.

Mode 2 :l'énergie générée pas le **GPV** est inférieure à la demande de charge ( $P_{pv} < P_{ch}$ ) ,et la batterie est disponible pour la compensation (**GPV +batterie**)

Mode 3: L'énergie générée par le **GPV** est supérieure à la demande de Charge ( $P_{pv} > P_{ch}$ ),et la batterie n'est pas complètement chargée ( $Soc < Soc \max$ ).donc le **GPV** charge la batterie

Mode 4: L'énergie générée par le **GPV** est supérieure à la demande de Charge ( $P_{pv} > P_{ch}$ ), et la batterie est complètement chargée ( $Soc > Soc \min$ ) donc le **GPV** fonctionne seul.

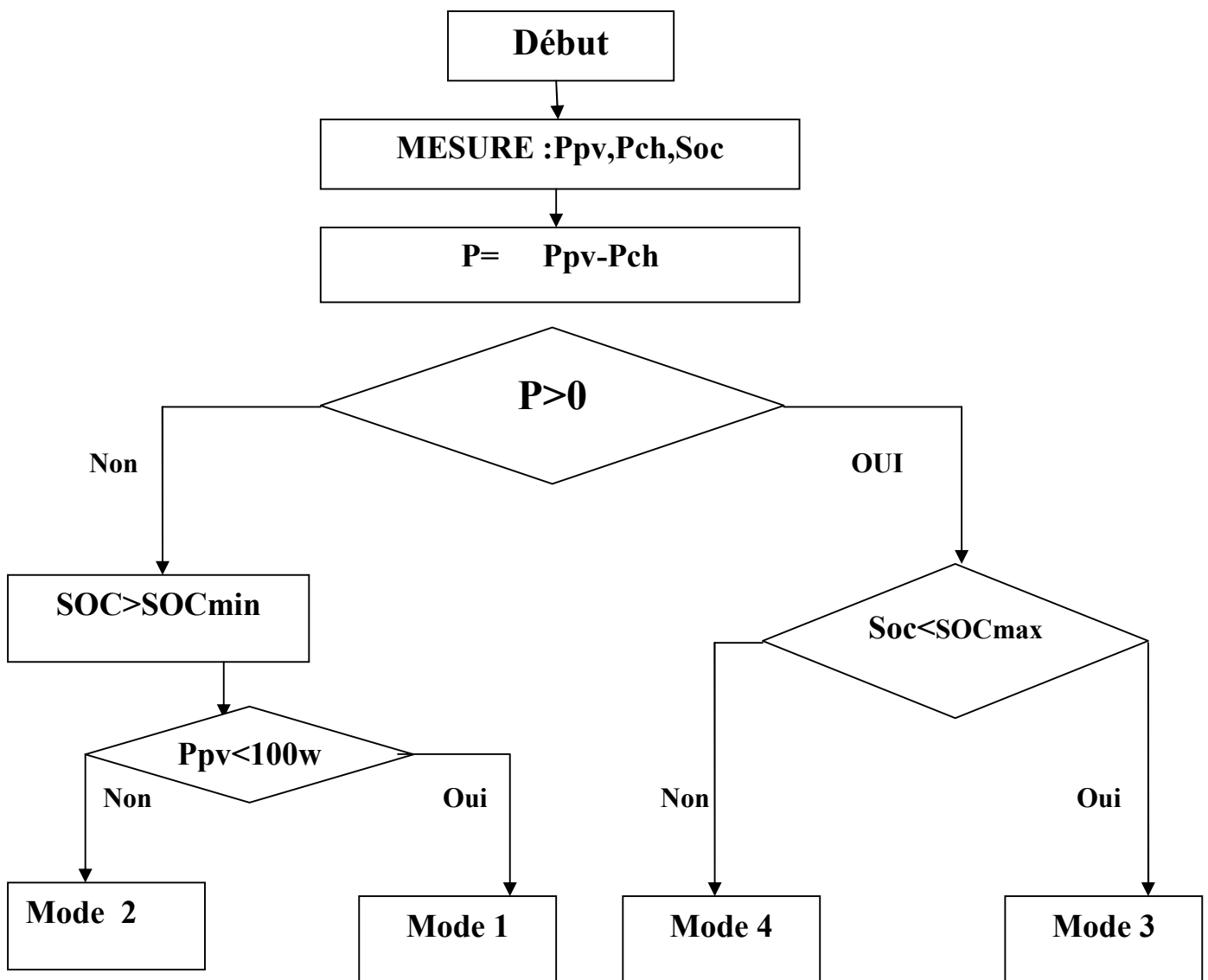


Figure IV.2 :Organigramme de la stratégie de gestion de l'énergie

### IV.3 Dimensionnement de la source hybride

Nombreuses sont les configurations possibles de notre source hybride, dépendantes du nombre de convertisseur statique à utiliser, ainsi que leur disposition.

Dans notre cas : Dimensionnement d'une habitation

| Type de charge  | Puissance consommé(W) | Durée d'utilisation (H) | La consommation (Wh) |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| Réfrigérateur   | 300                   | 24                      | 7200                 |
| Climatisation   | 1200                  | 6                       | 7200                 |
| Machine à laver | 500                   | 0.5                     | 250                  |
| Télévision      | 170                   | 3                       | 510                  |
| Pc              | 70                    | 4                       | 280                  |
| Lampe           | 60                    | 3                       | 180                  |
| Mixeur          | 100                   | 1                       | 100                  |

Tableau IV.1: le besoin journalier d'une habitation

$$E_c = \sum(P \cdot T)$$

$$E_c = 7200 + 7200 + 250 + 510 + 280 + 180 + 100 = 15720 \text{ Wh}$$

L'énergie à produire : on prend en considération

$$E_p = E_c + 25\% E_c$$

$$E_p = 19650 \text{ Wh}$$

#### IV.3.1 Source photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques utilisés sont des panneaux de 80 W crêtes de type

**JIawei JW-S80W**

Pour pouvoir atteindre les **2400 w** nous procédons comme suit:

La valeur de la puissance maximale délivrée par un panneau photovoltaïque est celle obtenue en condition STC (Standard Tests Conditions).

En prenant en considération les pertes au niveau des convertisseurs DC/DC et DC/AC, ainsi que l'ensoleillement ; parfois inférieur à celui des conditions STC

$$P_{\text{charge}} = 2400 \cdot 1.2$$

$$P_{\text{charge}} = 2880 \text{ w}$$

$$\text{Coefficient des pertes} = 1.2$$

Nbre de panneau= $P_{charge} / P_{pv}$  panneaux

Nbre de panneau=  $2880/80= 36$  panneaux

Choix de tension de bus continue Vdc (5) :

| Puissance       | 500 W | $500 < P < 2000W$ | $2000 < P < 5000W$ |
|-----------------|-------|-------------------|--------------------|
| V <sub>dc</sub> | 12 v  | 24 v              | 48 v               |

Tableau IV.2: le choix de Vdc

Donc notre V<sub>dc</sub>= 48 v

Nombre de panneaux en série :

$$N_{p.serié}=V_{dc}/V_{mpp}$$

$$N_{p.serié} = 48/18.3=2.63=3 \text{ panneaux}$$

Nombre de branches :

$$N_{branches}= 36/3=12 \text{ branches}$$

Pour adapter notre architecteur on a3 panneaux en séries et 12 branches en parallèles.

### IV.3.2 Batteries :

Dans notre cas la batterie est de 12v / 200Ah



Figure IV.3 : Batterie AGM 12V 200mH

La capacité batterie :

$$C_{batt}=12*200=2400 \text{ wh}$$

$$N_{batt} = E_p / C_{batt}$$

$$N_{batt}=19650/2400=8$$

Nombre de batteries en série :

$$N_{b,serié}=V_{DC} / T_{batt}$$

$$N_{b,serié}=48/12=4$$

Nombre de branches :

$$N_{Branches}=8/4=2$$

Pour adapter notre architecteur on a 4 batteries en série et 2 branches en parallèle

#### IV.4 Simulation du système hybride étudié

Nous allons discuter les résultats de simulation de la gestion d'énergie dans tout le système obtenus au cours de cette étude.

Le but de ce chapitre est de valider la stratégie par simulation ,pour simuler le système hybride proposé, nous choisissons deux Bloc Matlab Simulink pour l'éclairément et la température du générateur solaire, ainsi qu'une batterie Chargée

##### IV.4.1 Allure de l'éclairément (G)

Nous avons supposé que la lumière solaire variés en fonction des heures du jour, elle est mesurée le jour où le ciel est dégagé de manière à atteindre un maximum de  $1000 \frac{w}{m^2}$  à midi

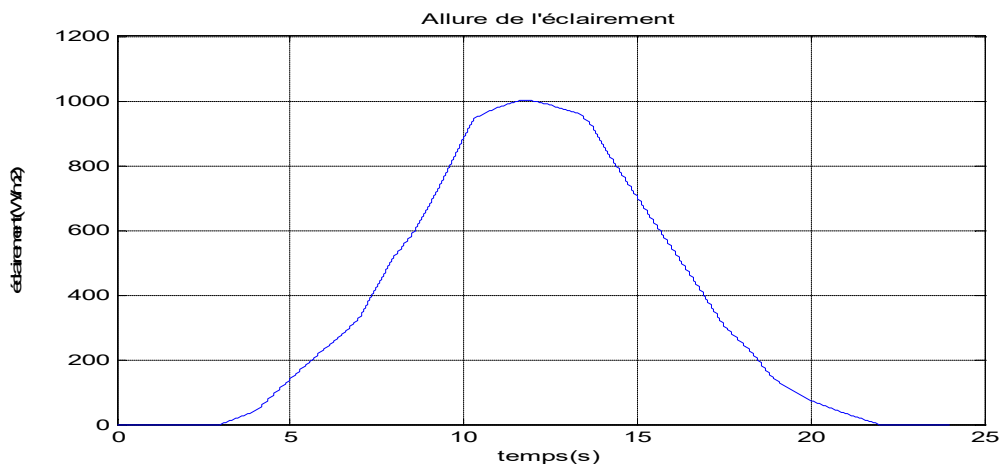


Figure IV.4: Allure de l'éclairément



### IV.4.2 Allure de la température (T)

La température varie en fonction de l'heure et elle est mesurée le jour où la température Normale 36°

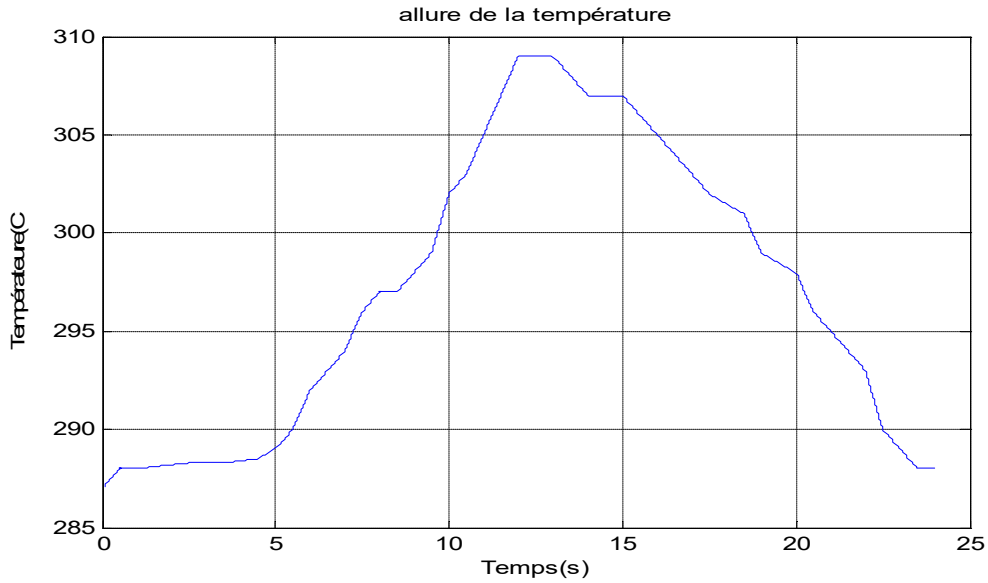


Figure IV.5 :Allure de la température

### IV.4.3 Profil de la charge

Le système étudié alimente un site isolé de charges variables.

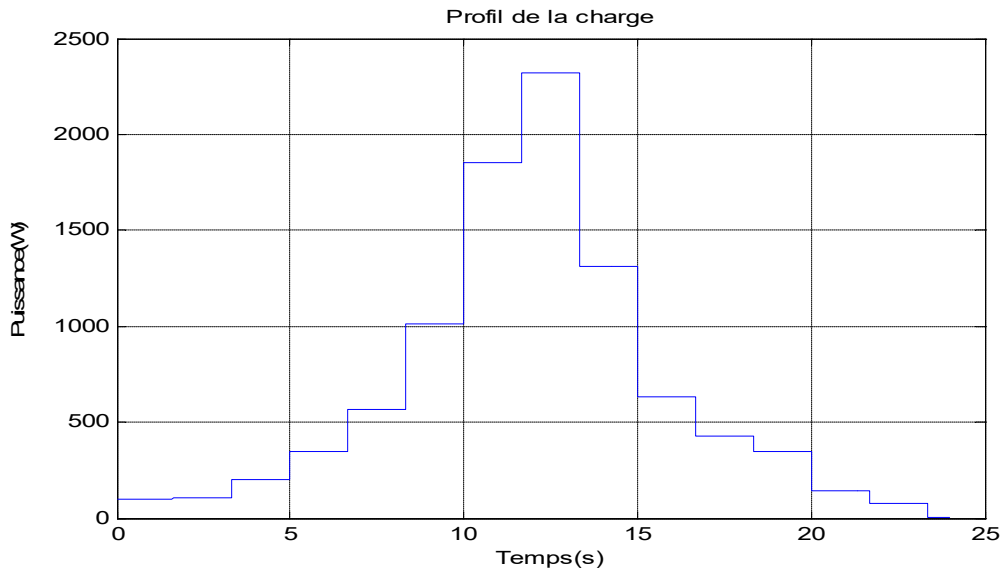


Figure IV.6 : Profil de la charge

## IV.5 Résultats de simulation

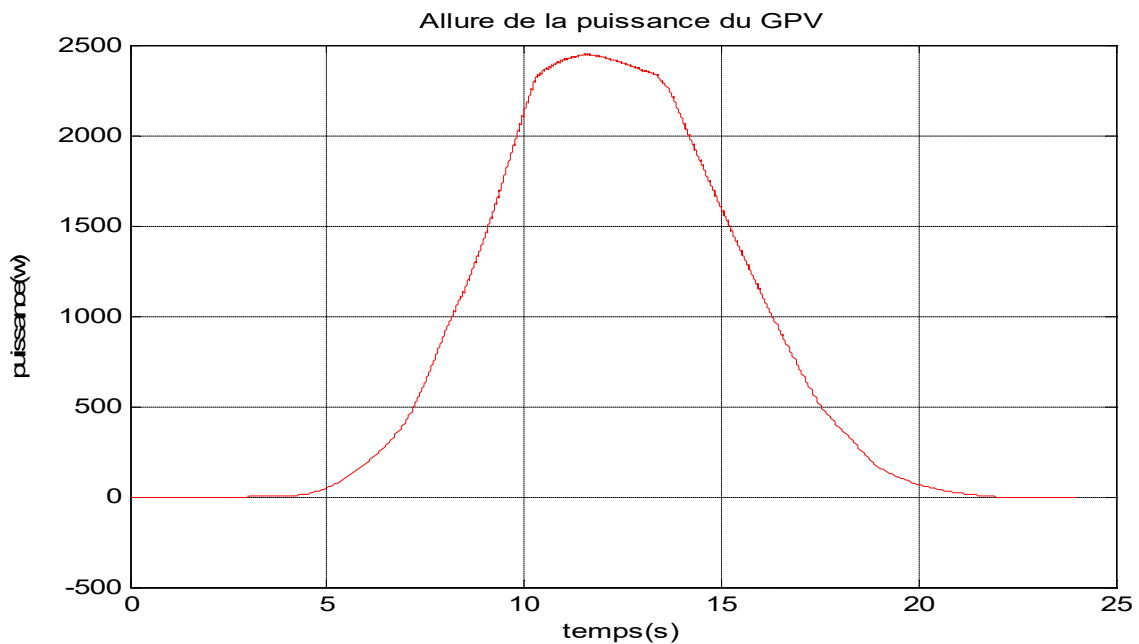
Pour déterminer rapidement les courbes et les observations, nous choisissons un certain temps. *24s* signifie *24 heures* (une journée complète). Nous avons aussi utilisé une charge variable qui représente un site isolé (Maison).

Les résultats des différents composants du système et de la charge obtenus sont présentés dans les formes suivantes :

### IV.5.1 Générateur photovoltaïque (GPV)

Avant tout il est nécessaire de préciser que notre source photovoltaïque est composée de (36) panneaux formant (3) branches montées en série où chaque branche est une association en parallèle de (12) panneau.

La figure suivante (**Figure IV.7**) montre la puissance du **GPV** pour un jour.



**Figure IV.7 :** Allure de la puissance du GPV

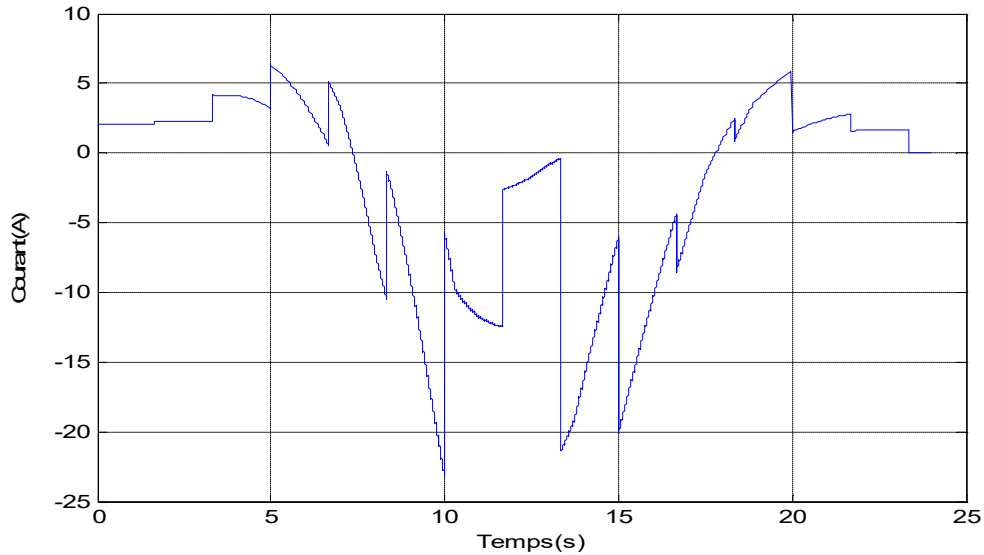
#### Commentaires :

- [0s :5s] et [20s :24s] : le **GPV** ne fonctionne pas à cause de l'absence d'éclairage.
- [5s : 20s] fonctionnement du **GPV** à cause de la présence d'éclairage et son travail est proportionnel à l'éclairage.

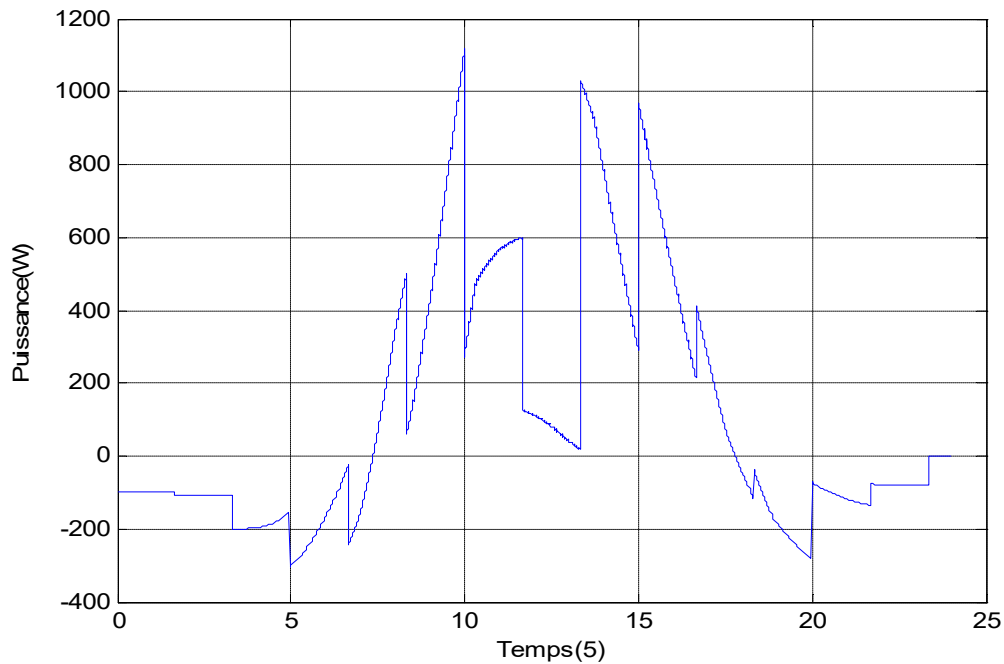
## IV.5.2 Batterie

En pratique afin de préserver les propriétés physico-chimiques de la batterie et de prolonger sa durée de vie on limite la charge et la décharge de la batterie, c'est-à-dire dans notre cas on l'a limité entre **15%** et **90%**.

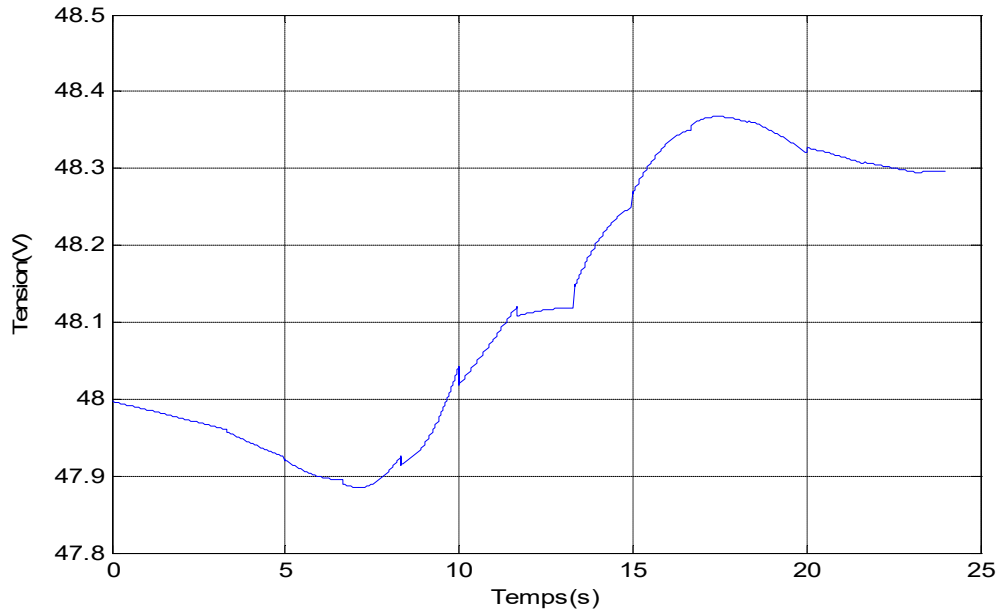
Les figures suivantes (**8,9,10**) montrent les différentes réponses (tension, courant et puissance) de la batterie pour un jour.



*Figure IV.8: Allure du courant de batterie*



*Figure IV.9: Allure de la puissance de batterie*

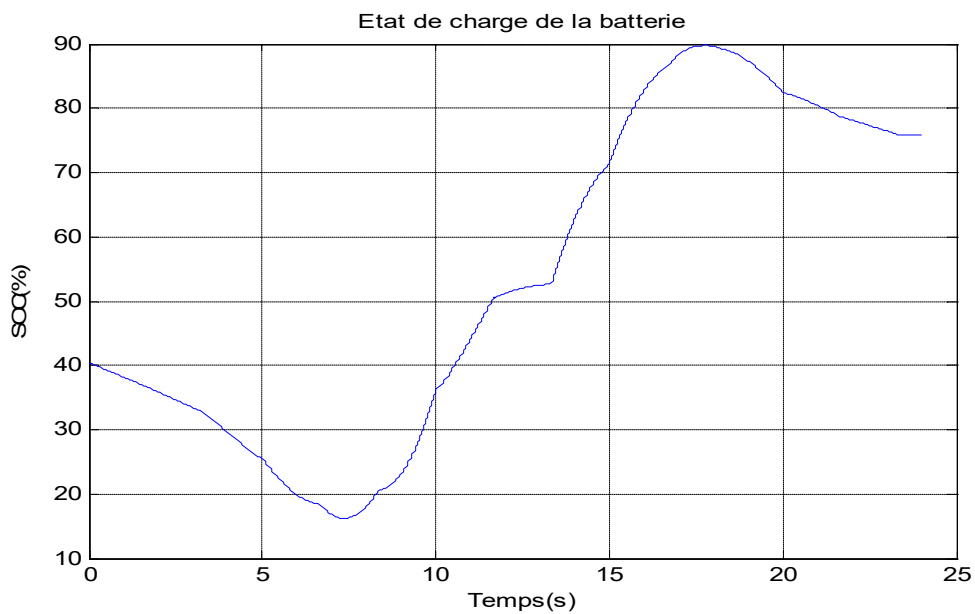


*Figure IV.10: Allure de la tension de batterie*

**Commentaires :** La batterie fonctionne dans deux cas :

- **Cas décharge :** pour couvrir le manque d'énergie (la puissance positive).
- **Cas de charge :** le **GPV** charge la batterie (la puissance négative).

La **Figure(IV.11)** représente l'état de charge de la batterie (SOC%) pour une journée d'étude



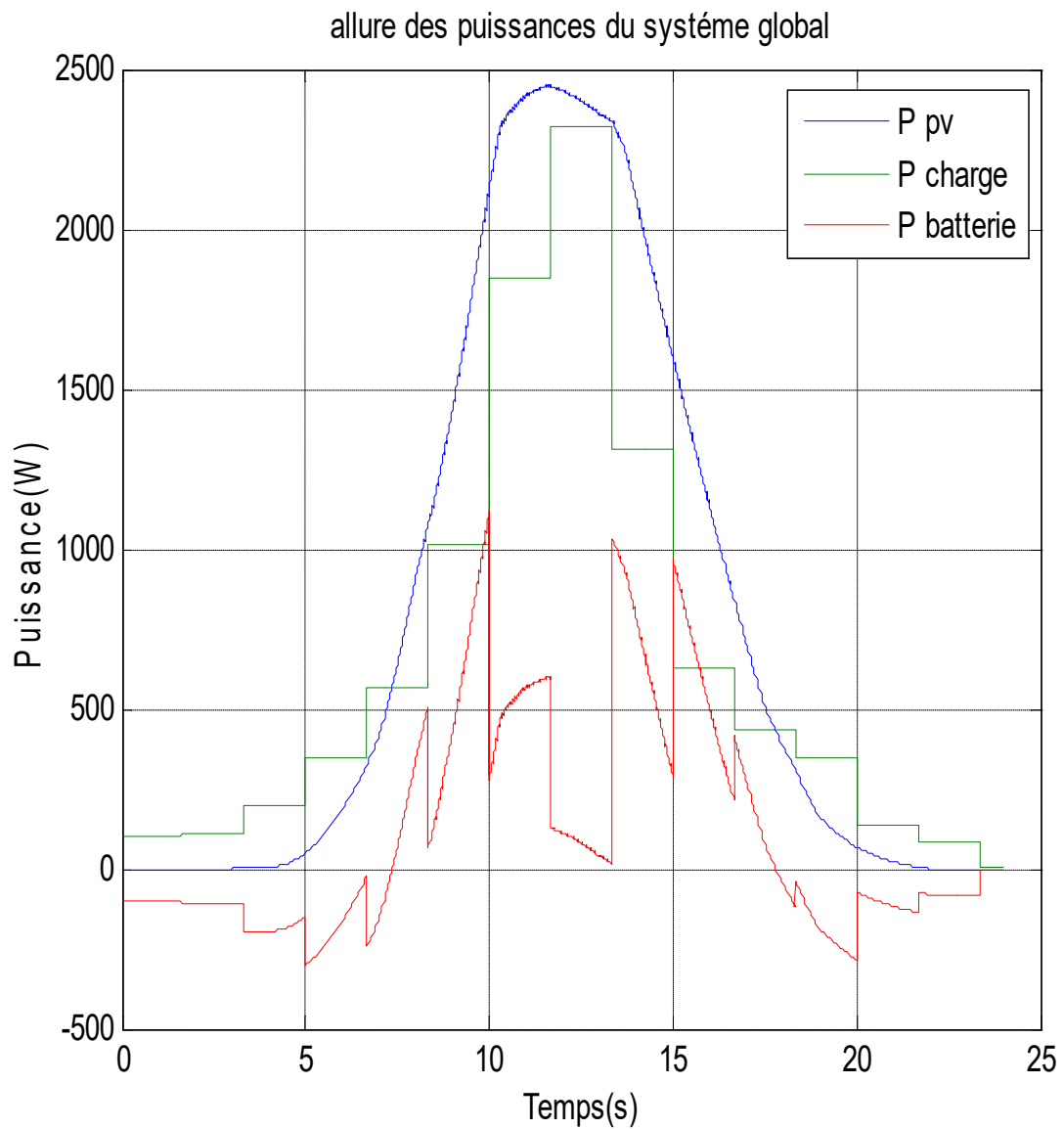
*FigureIV.11: Etat de charge de la batterie.*

**Commentaires :**

- Le niveau de stockage de la batterie(SOC) diminue lorsque l'état de la batterie se décharge.
- Le niveau de stockage de la batterie(SOC) augmente lorsque l'état de la batterie se charge.

**IV.6 Discussion des résultats de simulation du système global**

Les demandes de charge (site isolé) varient avec le temps selon le profil choisi. La **Figure(IV.12)** représente les puissances de système hybride



**FigureIV.12 :** Allure des puissances du système global (hybride + charge)

1) **MODE 1** : De  $t = 0$  s à  $t = 6$  s (00h jusqu'à 5h) et de  $t = 19$ (s) à  $t = 24$ (s) (19h jusqu'à 00)

Le **GPV** ne fonctionne pas car l'éclairage et la température n'existent pas. La batterie (décharge) pour couvrir la demande de la charge.

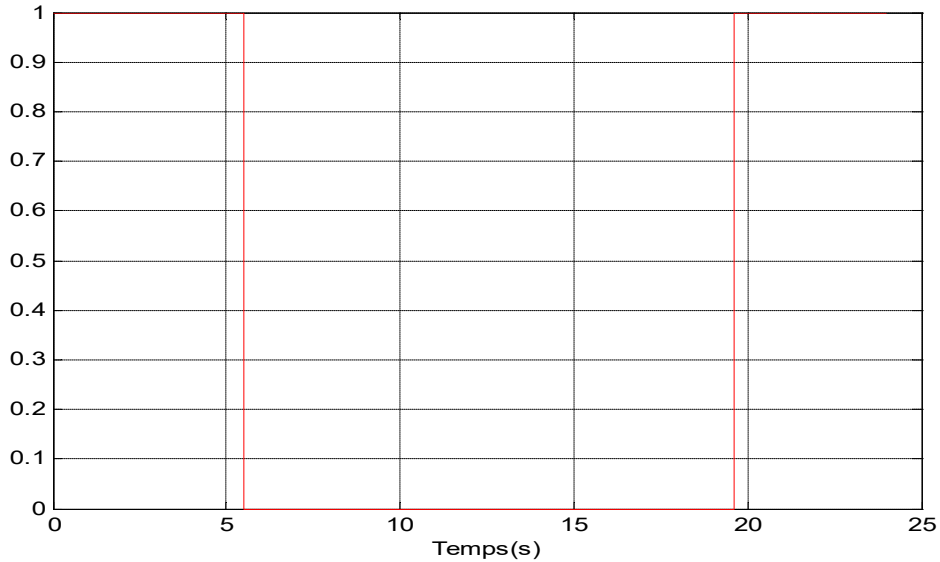


Figure IV.13: Mode 1

2) **MODE 2** : De  $t = 6$  s à  $t = 8$ s (6h jusqu'à 8) et de  $t = 18$ (s) à  $t = 19$ (s) ( 18h jusqu'à 19h)

Le fonctionnement **GPV** est faible en raison de l'affaiblissement de l'éclairage et ne suffit pas pour répondre aux demandes de la charge. La batterie (décharge) intervient pour couvrir le manque d'énergie.

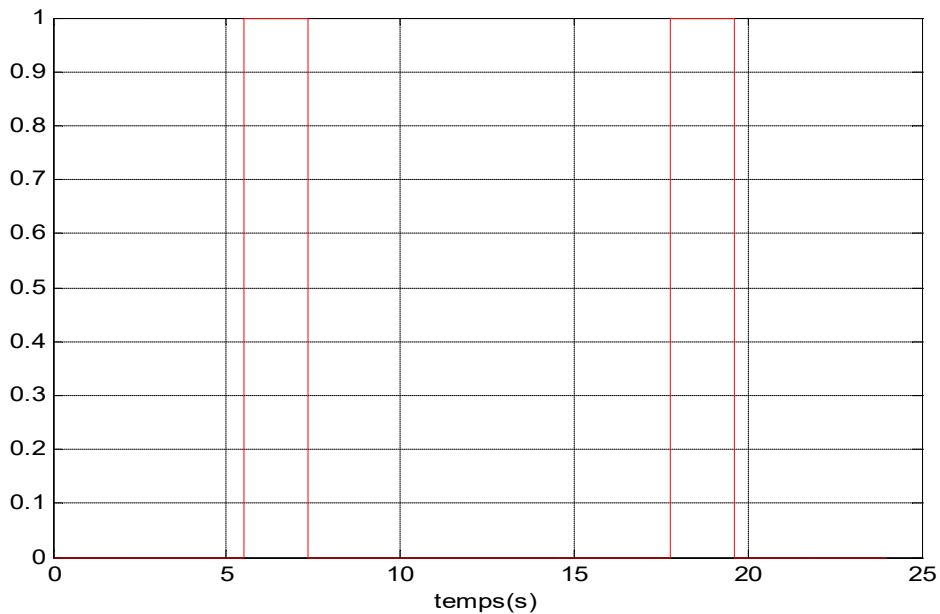
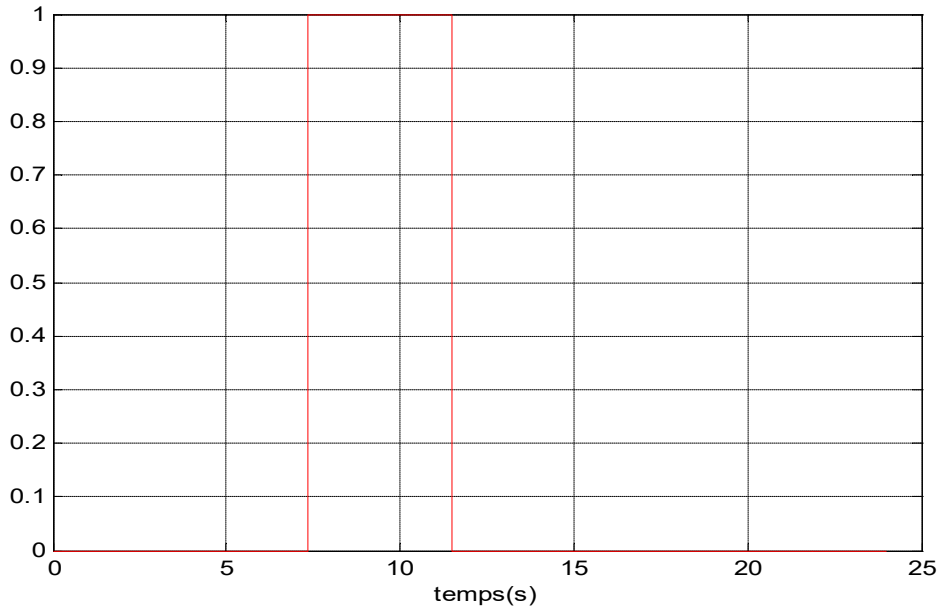


Figure IV.14 : Mode 2

3) **MODE 3** : De  $t=8(s)$  à  $t = 11(s)$ ( 8h jusqu'à 11h):

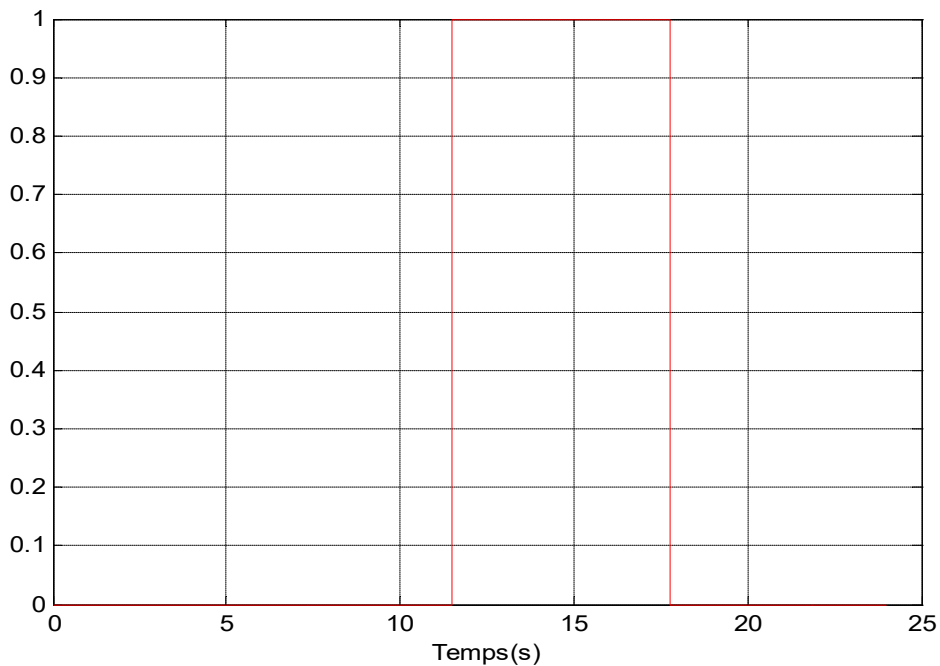
Le **GPV** fonctionne bien ce qui est suffisant pour répondre aux demandes de charge et en chargeant la batterie (charge).



*Figure IV.15* : Mode 3.

4) **MODE 4** : De  $t = 11(s)$  à  $t = 18(s)$  (11h jusqu'à 18h):

Le **GPV** fonctionne très bien parce que l'éclairage atteint le point maximum.



*Figure IV.16*: Mode 4

#### ***IV Conclusion***

Dans ce chapitre nous avons présenté la structure de la source hybride utilisée, où nous avons défini et modélisé ses différentes sources qui sont le générateur photovoltaïque et les batteries. L'utilisation minimale de la batterie lui procure une durée de vie plus longue. Après simulation du système global, les résultats obtenus sont présentés et commentés, ces derniers ont montré le bon fonctionnement du système étudié.



## *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'un générateur photovoltaïque des batteries de stockages et ce système débite sur une charge variable (site isolé).

Le premier chapitre de ce travail porte sur un état de l'art sur les énergies renouvelables.

Pour un développement écologique et économique, et pour une meilleure complémentarité la combinaison choisie porte sur un système hybride composé de panneaux photovoltaïques et des batteries de stockage.

Le deuxième chapitre, consacré sur une étude générale sur les différentes composantes du système hybride ainsi sur les différentes caractéristiques et paramètre des différentes composantes et étude le système hybride.

Nous avons présenté dans le troisième chapitre la modélisation des différents éléments du système. Un générateur photovoltaïque, les régulations de la tension, La modélisation de la batterie de stockage, l'état de charge et décharge des batteries. Pour la recherche de point de puissance maximale (MPPT) on a utilisé la méthode P et O (perturbation et observation). On a utilisé les batteries (stockage) comme dispositifs de stockage.

Dans le dernier chapitre on a procédé à la gestion et la simulation du système hybride avec une charge variable. Les résultats de simulation présentés montrent le bon fonctionnement des batteries avec des cycles de charge et de décharge et montrent l'efficacité de notre Algorithme de gestion d'énergie.

### Perspectives

En perspective de ce travail, il serait intéressant d'entrevoir :

- Améliorer le système global en utilisant un système de stockage hybride (batteries/ super-condensateur), pour faire absorber les dynamiques rapides des variations d'énergies par les super-condensateurs (l'absorption des pics de puissance) et laisser que les lentes aux batteries.

## **Conclusion générale**

---

- Tester d'autres méthodes de maximisation de puissances (MPPT). Et introduire les techniques de commande intelligentes dans la gestion de puissance (logique floue, mode glissant...).
- Réaliser un banc d'essai à partir des résultats de simulation pour valider le travail et pourquoi pas le concrétiser.
- Ajouté un autre système de production d'énergie.

*Référence bibliographique*

- [1] : L. Croci, « gestion de l'énergie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien avec stockage hybride batteries/super-condensateurs », Thèse de doctorat de l'université de poitiers, 2013.
- [2] : A. Labouret, M. Viloz, « Energie solaire photovoltaïque ». Le manuel du professionnel, édition DUNOD, août 2003, Paris (France).
- [3] : Lalouni, « Etude, commande et simulation d'une chaine hybride >> Mémoire de master option électrotechnique de l'Université de Bejaia, Algérie, 2009.
- [4] : HACINI Ismail << Etude et gestion d'un système d'énergie hybride >>Mémoire de master option électrotechnique de l'Université de Bejaia, Algérie 2015
- [5] : S. Nouali, « Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque/éolien avec stockage d'énergie pour d'vers applications » Mémoire de magister, ENP d'Alger, 2012
- [6] : A. Boufertella, « étude et réalisation d'un système de stockage inertiel. Application à l'énergie éolienne », mémoire de magister, Ecole militaire polytechnique, 2012
- [7] : H. Kernif et A. Mebarki, « Contribution à l'amélioration des performances d'un système d'énergie hybride (PV/EOL) ». Mémoire de master de l'université de Bejaia, Algérie 2017.
- [8] : O. Feddaoui, « Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération- Application aux Energies Renouvelables ». Thèse de Magister Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras, Algérie, 2014.
- [09] : S. Bensmail, « Optimisation et gestion d'énergie d'un système hybride à énergie renouvelables », Thèse de doctorat, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa Faculté de Technologie,2016/2017.
- [10] : M .Tiar «**Gestion Optimale D'énergie d'une Chaine de Production Electrique Renouvelable** » Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.
- [11] : P.Thounthong « **Conception d'une source hybride utilisant une pile à combustible et des super-condensateurs** » Thèse Doctorat, L'Institut National Polytechnique de Lorraine, 2005.
- [12] : Z. Roumila , « Etude d'un système hybride (PV-éolien-diesel) », Thèse de doctorat, université de Bejaia, 2018.
- [13] : C. Serir, « commande d'un système multi-sources photovoltaïque-éolien associée à un système de stockage ». Thèse de doctorat, université de Bejaia, Algérie 2017.
- [14] : F. Baghdadi, « Modélisation et simulation des performances d'une installation hybride deconversion d'énergies renouvelables ». Mémoire Magister Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie 2011.

- [15] : L. Zarour, « Etude technique d'un système d'énergie hybride (photovoltaïque-éolien) hors réseau ». Thèse de doctorat Université Mentouri de Constantine, Algérie 2010.
- [16] : A. Hamada, 'Simulation des Systèmes de Pompage Photovoltaïques Destinés pour L'Alimentation et Eau Potable et pour la Petite Irrigation', Thèse de Doctorat, Université AbouBakr Belkaïd, Tlemcen
- [17] : I. Vechiu, « Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », Thèse de Doctorat de l'Université du Havre, France, 2005.
- [18] : C.BERNARD, C.SEBRAO-OLIVEIRA, B.LAVAL et C.VAUDOUER « Panneau photovoltaïque et algorithme MPPT à base de logique floue », Rapport rédigé dans le cadre l'UV BA04-Energie renouvelable, Université de technologie Compiègne, 2009.
- [19] : K. Himour, « Optimisation des systèmes photovoltaïques par l'insertion des onduleurs multiniveaux » Thèse de doctorat, Université de Béjaia, 2015.
- [20] : H. Khamtache et L.MOALI, « Gestion de puissance d'un Système Hybride ». Mémoire de master l'université de Bejaia, Algérie 2017.

# *Annexes*

## Paramètres d'un panneau solaire JIAWEI JW-S80W :

|   |           |
|---|-----------|
| Puissance maximale du panneau $P_{mpp}$                       | 80 w      |
| Courant au point de puissance maximale $I_{mpp}$              | 4.38 A    |
| Tension au point de puissance maximale $V_{mpp}$              | 18.3 V    |
| Courant de court-circuit $I_{sc}$                             | 4.68A     |
| Tension en court-circuit $V_{oc}$                             | 22.5 V    |
| Coefficient d'incrémentement du courant $I_{sc}$ ( $a_{sc}$ ) | 1.4 mA/°C |
| Coefficient d'incrémentement de la tension $V_{oc}$           | -152mV/°C |

## Paramètres d'un Batterie AGM 12V 200 Ah

**Tension :** 12 voltes

**Capacité :** 200 Ah

**Plage de température idéale d'utilisation :** 20 °C à 35 °C

**Résistance interne à pleine charge (à 25°C) :** 0.0045 Ohm

**Poids :** 63.4 kg

**Dimensions :** 525 mm x 234 mm x 220 mm

**Système VRLA :** OUI ,Batterie disposant d'une valve régulée