



UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

**Filière : Electromécanique**

**Option : Automatique**

**Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:**

**MASTER**

*Thème*

**ETUDE DE LA GESTION D'ENERGIE D'UN  
SYSTEME D'ELECTRIFICATION AUTONOME**

**Présenté par : Aridj Hamza  
Abdenmour Djamel**

**Proposé et dirigé par :Layadi . TM**

**Promotion : Juin 2013**

## Thème

Etude De La Gestion D'énergie D'un  
Système D'électrification Autonome



Dédicaces

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*  
*Mon père et ma mère*  
*Mes frères et mes sœurs*  
*Ma famille de petits et grands*  
*Tous mes collègues et tous mes*  
*amis*

*Enfin, je prie dieu si j'ai*  
*oublié quelqu'un, Pour qu'il*  
*me pardonne*

*A. Hamza*



*Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes chers parents*

*Mes chers frères*

*Et toute ma famille de petits et  
grands*

*Tous mes amis sans exception et  
et mes collègues  
de l'électromécanique*

*A. Djamel*



# Remerciements

## *Remerciements*

*En premier lieu, Nous remercions Mr : Layadi T.M, notre encadreur de mémoire pour l'assistance qu'il nous a témoignée tout au long de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude pour les conseils.*

*Nous remercions tous les membres de jury pour le temps qu'ils ont accepté d'accorder à l'évaluation de ce travail de mémoire*

*Nous remercions tous les amis et toutes les personnes qui m'ont soutenu durant ces années de recherche.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*A. Hamza*

*A. Djamel*



# Liste Des Tableaux

## Liste des tableaux

---

Tableau II.1 : Comparatif des rendements des différents types de cellules	18
Tableau II-2 : caractéristique de panneau BP365U	21
Tableau III-1 : Comparatif des technologies d'accumulateur utilisé	28
Tableau IV.1 : caractéristique de panneau BP365U	45
Tableau IV.2 : Caractéristique de la batterie	46
Tableau IV.3 : Table s'inférence	51



# Liste Des Figures

**Chapitre I : Etat d'art sur les énergies renouvelables**

Figure I.1: Consommation d'énergie primaire dans le monde et prévisions	2
Figure I.2 : Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde	3
Figure I.3 : Production mondiale d'électricité basée sur les énergies renouvelable	4
Figure I.4 : Économie mondiale de l'énergie éolienne	5
Figure I.5 : Schéma explicatif de pélami	6
Figure I.6 : l'énergie solaire thermique haute température	8

**Chapitre II : Etude générale sur les différents types des panneaux photovoltaïques**

Figure II.1 : Coupe transversale d'une cellule PV	12
Figure II.2 : présentation de l'effet photovoltaïque	12
Figure II.3 : Caractéristique $I = f(V)$ d'un groupement série de cellule PV	13
Figure II.4 : Caractéristique $I = f(V)$ d'un groupement parallèle de cellule PV	13
Figure II.5 : Câblage série-parallèle de modules photovoltaïques avec leurs diodes de protection.	14
Figure II.6 : Caractéristique d'un PV à $n_s, n_p$ série/parallèle	15
Figure II.7 : Photo cellule monocristalline (a) et multi cristallin (b)	16
Figure II.8 : Deux exemples de modules utilisant le Sia (silicium amorphe)	17
Figure II.9 : Cellule solaire tout organique sur substrat souple	17
Figure II.10 : schéma de base de cellule photovoltaïque	19
Figure II.11 : caractéristique $I(V)$	21
Figure II-12 : caractéristique $P(V)$	22

**Chapitre III : Classification des systèmes de stockages (batteries)**

Figure III-1 : Modèle simplifié de l'accumulateur	26
Figure III-2 : état de charge et décharge de la batterie	30
Figure III.3 : Système photovoltaïque autonome	34
Figure III.4 : Système photovoltaïque autonome hybride	35
Figure III.5 : Système photovoltaïque raccordés au réseau électrique	35

**Chapitre IV : Application de la logique floue pour la gestion d'énergie**

Figure IV.1 : ensemble flou	38
Figure IV.2 : les types de fonction d'appartenance	39
Figure IV.3: les caractéristiques de fonction d'appartenance	39
Figure IV.4 : Structure d'un contrôleur flou	40

## Liste des figures

---

Figure IV.5 : Inférence flou	41
Figure IV.6: La défuzzification par la méthode du centre de maximum [22].	42
Figure IV.7 : La défuzzification par la méthode du centre de gravité [22].	42
Figure IV.8 : Schéma bloc de système global	43
Figure IV.9 : Evaluation annuelle des irradiations solaires aux cours de l'année	47
Figure IV.10: Evolution de la température aux cours de l'année	47
Figure IV.11 : distribution annuelle de puissance de charge	48
Figure IV.12 : Structure d'un contrôleur flou	51
Figure IV.13 : la fonction d'appartenance de dp	52
Figure IV.14 : la fonction d'appartenance de SOC	52
Figure IV.15 : la fonction d'appartenance de C1	52
Figure IV.16 : la fonction d'appartenance de C2	53
Figure IV.17: la fonction d'appartenance de C3	53
Figure IV.18 : Schéma block de système	53
Figure IV.19 : Energie produit par les panneaux	54
Figure IV.20 : la déférence entre l'énergie produit par les panneaux et l'énergie de la charge	54
Figure IV.21 : le fonctionnement des les trois contacteurs de contrôleur durant une année	55
Figure IV.22 : le fonctionnement des les trois contacteurs de contrôleur durant un mois	55
Figure IV.23 : l'énergie stocker dans les batteries	56
Figure IV.24 : la puissance des panneaux consommer par la charge	56



# Résumé

### Résumé

L'objectif de ce travail est l'utilisation des énergies renouvelables pour l'alimentation d'un site isolé, l'énergie renouvelable utilisée dans cette étude est l'énergie solaire. Le système global d'alimentation comporte des panneaux solaires, des équipements d'adaptation et des batteries de stockage. La période de simulation du système d'alimentation est une année. Les essais de simulation sont effectués après l'étape de dimensionnement des sources d'énergie.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو استخدام الطاقات المتجددة لتغذية موقع منعزل، والطاقة المتجددة المستخدمة في هذه الدراسة هي الطاقة الشمسية. ويشكل النظام الشامل للتغذية من الألواح الشمسية، ومعدات التكيف، بطاريات التخزين. فترة محاكاة نظام التغذية هي سنة واحدة. إن تجارب المحاكاة تتم بعد مرحلة تحديد حجم مصادر الطاقة.



# Sommaire

---

	Page
<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Etat d'art sur les énergies renouvelables</b>	
I.1 Introduction	2
I.2 Les différentes énergies renouvelables	4
I.2.1 Énergie éolienne	4
I.2.2 Énergie hydraulique	5
I.2.3 Énergie solaire	6
I.2.3.1 Energie solaire thermique	7
I.2.3.1.1 Energie solaire thermique basse température	7
I.2.3.1.2 Energie solaire thermique haute température	7
I.2.3.2 Énergie photovoltaïque	8
I.2.4 La biomasse	8
I.2.4.1 Le Biogaz	8
I.2.4.2 Le bois énergie ou biomasse solide	9
I.2.4.3 Les Biocarburants	9
I.2.5 Énergie géothermique	9
I.3 Conclusion	10
<b>Chapitre II :Etude générale sur les différents types des panneaux photovoltaïques</b>	
II.1 Introduction	11
II.2 Quelques définitions	11
II.2.1 Les cellules photovoltaïque	11
II.2.2 les modules photovoltaïques	11
II.2.3 les panneaux photovoltaïque	11
II.3 Historique	11
II.4 Principe de fonctionnement	12
II.5 Association de cellules	13
II.6 La protection d'un panneau photovoltaïque	14
II.7 Les différents panneaux photovoltaïques	15
II.7.1 le silicium	15
II.7.1. 1 le silicium monocristallin	15
II.7.1.2 le silicium multicristallin (polycristallin)	16
II.7.2 les couches minces	16
II.7.3 Les cellules organiques et plastiques	17

II.8 Les caractéristiques de panneau photovoltaïque	18
II.8.1 Courant de court circuit ( $I_{CC}$ )	18
II.8.2 Tension de circuit ouvert ( $V_{OC}$ )	18
II.8.3 La puissance maximale	18
II.8.4 Facteur de forme (FF)	19
II.8.5 Le rendement	19
II.9 Modèle d'un panneau photovoltaïque statique	19
II.9.1 Equations associées au modèle	19
II.9.2 Modèle photovoltaïque statique sous simulink	21
II.10 Conclusion	22
<b>Chapitre III : Classification des systèmes de stockages (batteries)</b>	
III.1 Introduction	23
III.2 Caractéristique de la batterie	23
III.2.1 La technologie	23
III.2.1.1 Un élément	23
III.2.1.2 Un accumulateur	24
III.2.2 La résistance interne de la batterie	24
III.2.3 La tension à vide	24
III.2.4 La tension nominale	24
III.2.5 La tension de fin décharge	24
III.2.6 La capacité	24
III.2.7 Le taux de décharge et recharge	24
III.2.8 Profondeur de décharge	25
III.2.9 L'autodécharge	25
III.2.10 Le volume physique de l'élément	25
III.2.11 Influence des paramètres extérieurs	25
III.2.12 Durée de vie et nombre de jour d'autonomie	25
III.2.13 Énergie	25
III.2.14 L'énergie massique	25
III.2.15 État de charge de l'accumulateur (SOC)	25
III.3 Circuit équivalent	26
III.4. Les différents accumulateurs existants	26
III.4.1 Type d'accumulateurs existants	26
III.4.1.1 Accumulateur Pb (au plomb)	27

III.4.1.2 Accumulateur Ni-Cd (au nickel cadmium)	27
III.4.1.3 Accumulateur NiMH (aux hydrures métalliques de nickel)	27
III.4.1.4 Accumulateur Li-ion et Li-Po	27
III .5 L'accumulateur au plomb-acide	29
III.6 Equation de charge/décharge de la batterie	29
29III.7 Caractéristiques électrochimiques	30
III.7.1 Réactions électrochimiques	30
III.7.2 Électrolyse de l'eau lors de la surcharge	30
III.8 Les types de batterie plomb-acide les plus courants	31
III.8.1 Plomb-antimoine et plomb-calcium	31
III.8.2 Les batteries dites 'ouvertes' et les batteries dites 'étanches'	31
III.8.3 La batterie de démarrage à plaque plane (ouverte)	32
III.8.4 La batterie semi-traction à plaque plane (ouverte)	32
III.8.5 La batterie 'traction'' (ouverte)	32
III.8.6 La batterie gélifiée (VRLA)	33
III.8.7 La batterie AGM (VRLA)	33
III.8.8 La batterie à éléments cylindriques (VRLA)	33
III.9 Les types des systèmes photovoltaïques	33
III.9.1 Les systèmes autonomes	33
III.9.1.1 Le système autonome simple	34
III.9.1.2 Le système autonome hybride	34
III.9.2 Les systèmes raccordés au réseau électrique	35
III.10 Conclusion	36
 <b>Chapitre IV :Application de la logique floue pour la gestion d'énergie</b>	
IV.1 Introduction	37
IV.2 Représentation générale de la logique floue	37
IV.2.1 Historique et définition	37
IV.2.2 définition d'un ensemble flou	37
IV.2.3 Les opérateurs flous	39
IV.2.4 Structure d'un contrôleur flou	40
IV.2.4.1 Fuzzification	40
IV.2.4.2 Inférence floue	41
IV.2.4.3Défuzzification	41
IV.2.4.3.1 La méthode du centre de maximum	41

IV.2.4.3.2 La méthode du centre de gravité (COG)	42
IV.3 Représentation de la station d'électrification étudiée	43
IV.3.1 représentation du générateur photovoltaïque	43
IV.3.1.1 Modélisation	43
IV.3.1.2 Choix du panneau	45
IV.3.2 représentation des batteries de stockage	45
IV.3.2.1 Modélisation	45
IV.3.2.2 Choix de la batterie	46
IV.4 la liaison entre la logique floue et la gestion d'énergie	46
IV.4.1 Etude globale sur le site	46
IV.4.1.1 variation de l'ensoleillement (irradiation)	46
IV.4.1.2 variation de la température	47
IV.4.1.3 caractéristique du profil de consommation	48
IV.4.2 Dimensionnement	48
IV.4.2.1 dimensionnement de panneau photovoltaïque	48
IV.4.2.2 dimensionnement de batterie	49
IV.4.3 Développement du contrôleur d'énergie	50
IV.4.3.1 Les règles de contrôleur	51
IV.4.3.2 Les entrées de contrôleur	52
IV.4.3.3 Les sorties de contrôleur	52
IV.5 Les résultats de simulation	53
IV.6 Conclusion	57
<b>Conclusion générale</b>	<b>58</b>
<b>Bibliographie</b>	



# Introduction Générale

### Introduction général

La production d'énergie reste toujours un point plus important, et sa consommation augmente jour après jour.

Actuellement, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à base des sources purement fossiles, La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution, pour cela on s'intéresse aux sources des énergies renouvelables dans les différents secteurs (industriel ou autre) pour couvrir les besoins en l'énergie. Ce type d'énergie peut minimiser les inconvénients de l'énergie fossile ou classique.

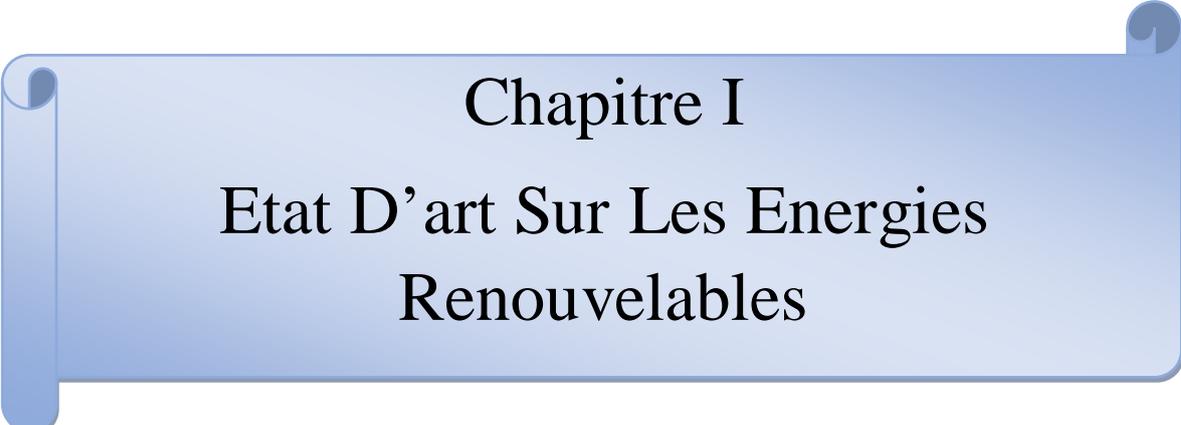
Et parmi les énergies renouvelables les plus utilisées actuellement, l'énergie éolienne et l'énergie solaire.

La production de l'énergie électrique au moyen d'un système photovoltaïque combinant plusieurs éléments est un grand intérêt pour les pays en développement. Ces pays possèdent de nombreuses régions, isolées et éloignées des réseaux classiques de distribution d'électricité. Ainsi, l'extension de ces réseaux va demander un coût plus élevé. Pour résoudre ce problème, l'exploitation du potentiel en énergies renouvelables dont ces pays disposent représente un avantage.

Le but de ce travail consiste de développer un système d'alimentation pour un site isolé. Le système développé est fondé sur l'utilisation la logique intelligente pour le contrôle et la gestion de l'énergie, entre les équipements.

Ainsi, l'organisation de ce travail est donnée comme suit :

Dans le premier chapitre nous allons présenter un état de l'art sur les énergies renouvelables en générale, dans le second chapitre nous baserons sur l'étude des différents types des panneaux solaires. Dans le chapitre trois on va représenter une étude globale sur les systèmes de stockage, et le dernier chapitre sera réservé au développement du système d'électrification autonome avec les résultats de simulation et discussions. En fin on termine ce travail par une conclusion générale.



Chapitre I  
Etat D'art Sur Les Energies  
Renouvelables

## I.1 Introduction

Dans le cadre du développement durable, face au double enjeu planétaire posé par l'épuisement prochain des ressources énergétiques fossiles et les problèmes posés vis à vis du respect de l'environnement, de fortes incitations poussent au développement des énergies renouvelables. En effet, la consommation mondiale d'énergie ne cesse de croître posant des questions cruciales sur l'effet de serre et l'amenuisement des ressources énergétiques [1]. La consommation d'énergie primaire dans le monde est illustrée par la Figure I.1.

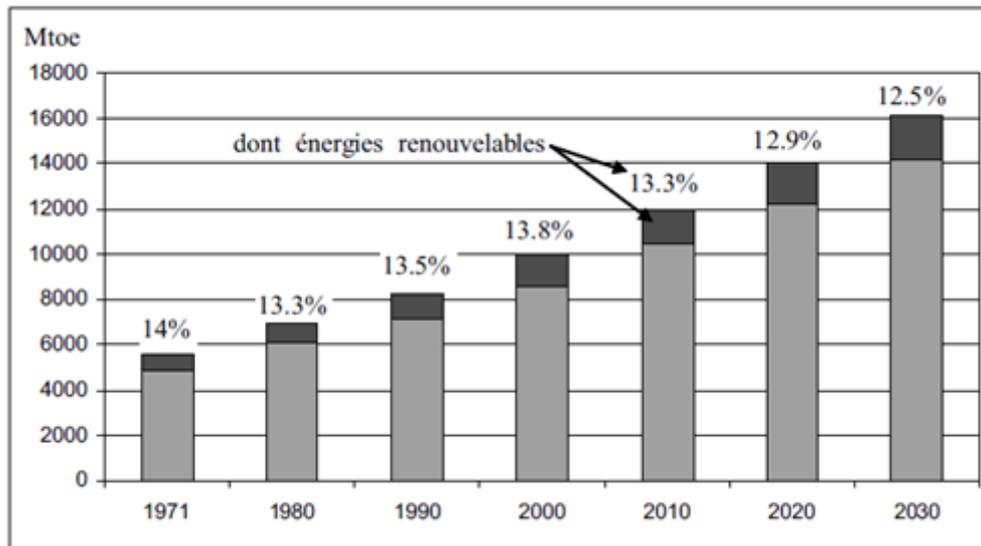


Figure I.1: Consommation d'énergie primaire dans le monde et prévisions

Aujourd'hui plus de 85% de l'énergie produite est obtenue à partir des matières fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou de l'énergie nucléaire. La Figure I.2 montre la répartition en termes d'énergie primaire dans le monde pour toutes les ressources actuelles. Il s'avère que ces ressources sont présentées en quantités limitées et non renouvelables. Les formes de production d'énergie non renouvelables engendrent une forte pollution environnementale par rejet des gaz à effet de serre, qui provoque un changement climatique irréversible ou dans le cas du nucléaire une pollution par radiations de longue durée qui pose le problème, aujourd'hui non résolu, du stockage des déchets radioactifs [2].

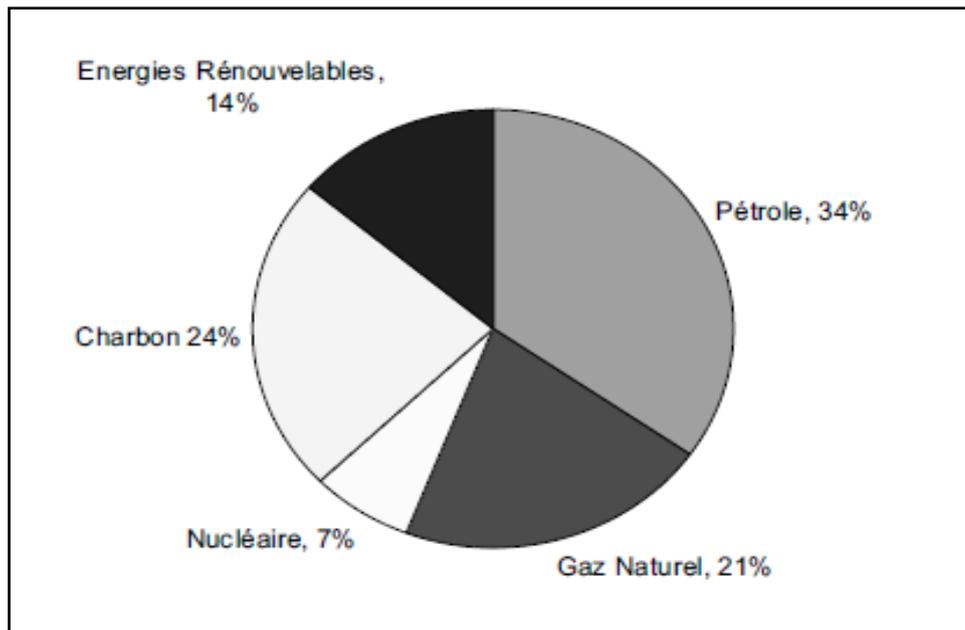


Figure I.2 : Répartition des sources primaires d'énergie dans le monde

L'autre argument qui milite à l'avantage des sources renouvelables est lié à la pérennité des ressources en énergies, le paysage énergétique va radicalement changer car plusieurs ressources fossiles risquent de disparaître [3]. De nouvelles ressources associées à des technologies performantes et fiables sont indispensables pour « tenter » de maintenir le niveau de la production énergétique mondiale.

Il existe plusieurs ressources en énergies renouvelables : l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne, l'énergie solaire thermique et photovoltaïque, l'énergie produite par les vagues et la houle ainsi que les courants marins, la géothermie et la biomasse. Ces ressources en énergie sont pratiquement inépuisables et propres. Dans le contexte économique actuel où l'on ne chiffre qu'une partie des coûts en occultant certains « coûts collatéraux » (démantèlement de centrales, pollution,...) les installations à énergie renouvelable peuvent encore aujourd'hui avoir un coût important (exemple des panneaux solaires photovoltaïques) et sont donc plutôt réservées à des pays développés où elles peuvent dans d'autres cas être assez peu onéreuses (exemple de la combustion de la biomasse) et peuvent être utilisées dans les pays en voie de développement donc les énergies renouvelables sont des formes d'énergies dont la consommation ne diminue pas la ressource à l'échelle humaine. Une énergie renouvelable est une énergie produite à l'aide de ressources renouvelable [4].

Ces ressources peuvent être "tirées" du soleil, du vent, de l'eau, de la chaleur du sous-sol dans l'absolu une énergie renouvelable est autonome puisque la source n'a pas besoin d'être rechargée.

Les sources d'énergies renouvelables présentent l'avantage d'être disponibles en quantité illimitée et d'être non émettrices de gaz à effet de serre excepté lors de la fabrication des systèmes utilisant la source énergies renouvelables. Leurs exploitations sont un moyen de répondre aux besoins en énergie tout en préservant l'environnement. Les principales sources d'énergies renouvelables sont l'hydraulique, le solaire, l'éolien, la biomasse, la géothermique, et l'énergie marine [5].

Toutes les ressources renouvelables sont en forte croissance, la Figure I.3 donne la vue sur la répartition de la production d'électricité entre les différentes sources renouvelables ainsi que leurs prévisions pour les années à venir.

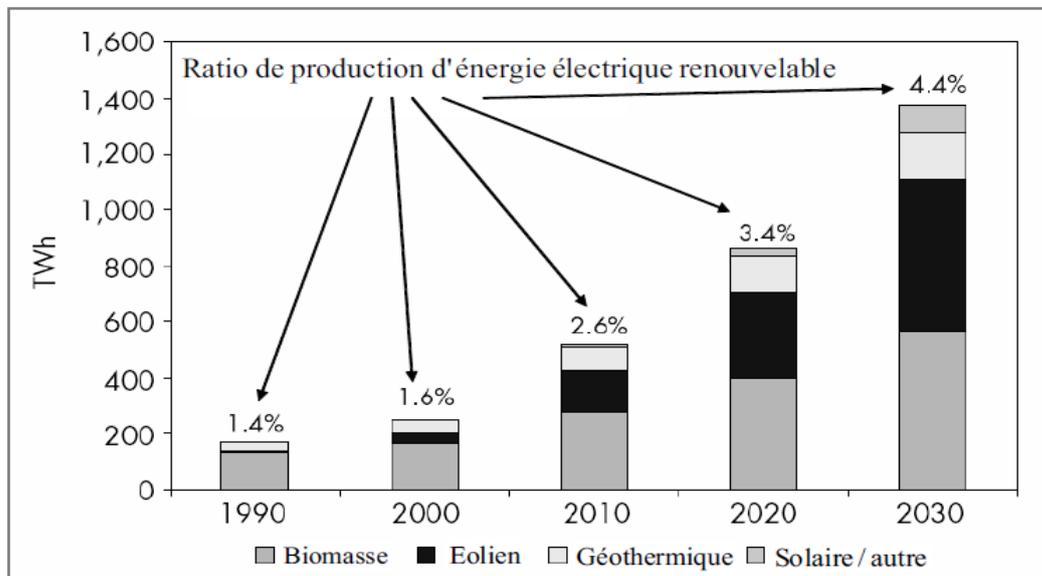


Figure I.3 : Production mondiale d'électricité basée sur les énergies renouvelable

## I.2 Les différentes énergies renouvelables

Nous présenterons dans ce chapitre les différentes sources d'énergies renouvelables, leurs avantages et leurs inconvénients.

### I.2.1 Énergie éolienne

L'activité solaire est la principale cause des phénomènes météorologiques. Ces derniers sont notamment caractérisés par des déplacements de masse d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne. L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie mécanique [4].

L'énergie éolienne est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur, qui peut être utilisée de deux manières [6]:

- Conservation de l'énergie mécanique: le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour irriguer ou abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.
- Transformation en énergie électrique: l'éolienne est couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.

Des milliers d'éoliennes fonctionnent à l'heure actuelle dans diverses régions du monde, avec une capacité totale de plus de 73 900 MW, Comme la figure I.4 illustre la puissance totale installée à les année [1997-2007] et prévision à les autre année .

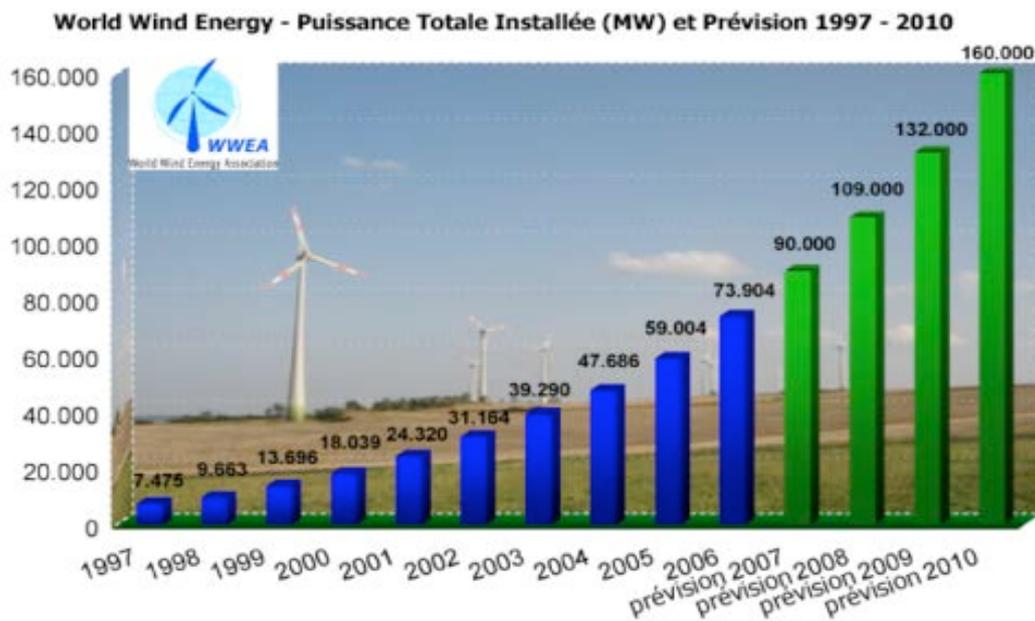


Figure I.4 : Économie mondiale de l'énergie éolienne

### I.2.2 Énergie hydraulique

À l'instar de l'énergie éolienne, les énergies hydrauliques (à l'exception de l'énergie marémotrice) ont leur origine dans les phénomènes météorologiques et donc du soleil. Ces phénomènes prélèvent de l'eau principalement dans les océans et en libèrent une partie sur les continents à des altitudes variables. On parle du cycle de l'eau pour décrire ces mouvements.

De l'eau en altitude possède une énergie potentielle de pesanteur. Cette énergie est peut être alors captée et transformée, lors des mouvements de l'eau qui retourne vers les océans. Avant l'avènement de l'électricité, les moulins à eau permettent de capter cette

énergie mécanique pour entrainer des machines-outils (machines à tisser, moulins à moudre le blé...).

Avec l'invention de l'électricité cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

D'autres énergies hydrauliques existent et proviennent généralement de sources marines :

- Énergie des vagues elle est produite par le mouvement des vagues est captée par les pélamis, sorte de vers en métal articulés. Leur puissance correspond à celle d'une éolienne.

Le pélami ressemblé à un serpent des mers, il compose de plusieurs cylindres reliés par des articulations comme on peut voir dans la figure I.5

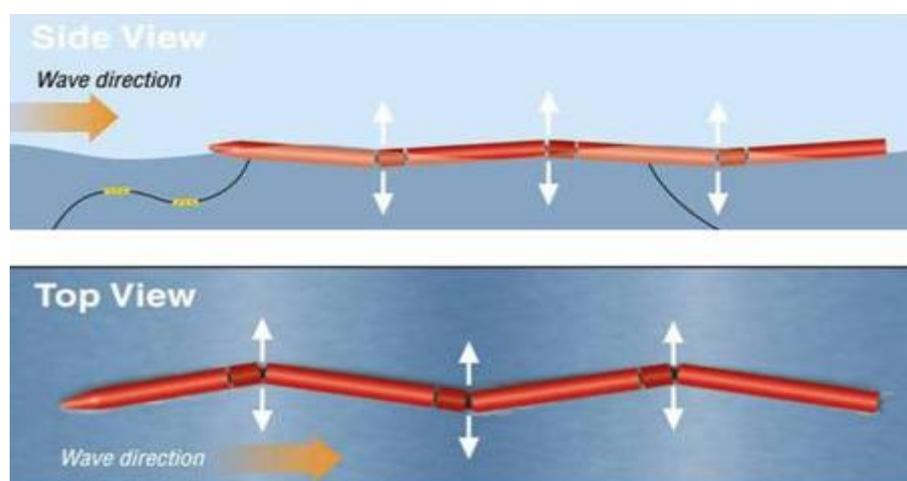


Figure I.5 : Schéma explicatif de pélami

- Énergie marémotrice elle est produite par le mouvement de l'eau créé par les marées (variations du niveau de la mer, courants de marée).
- Énergie hydrolienne elle est produite par l'utilisation des courants sous marins.
- Énergie thermique des mers elle est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans [4].

### I.2.3 Énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le soleil sous la forme de lumière et de chaleur.

Deux grandes familles d'énergie solaire se distinguent :

- L'énergie solaire thermique qui utilise la chaleur transmise par rayonnement.
- L'énergie photovoltaïque qui utilise le rayonnement lui-même.

### **I.2.3.1 Energie solaire thermique**

L'énergie solaire thermique désigne l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil il existe deux type de cette énergie [7]:

#### **I.2.3.1.1 Energie solaire thermique basse température**

Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie à des absorbeurs métalliques lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur. Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus. Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un "plancher solaire direct" [8].

Tous les dispositifs qui agissent comme capteurs solaires thermiques sont de plus en plus intégrés dans les projets d'architecture bioclimatique (maisons solaires, serres, murs capteurs, murs trombe...).

Les capteurs solaires thermiques et les chauffe-eau solaires connaissent une croissance spectaculaire en France. Crédit d'impôt et aides des collectivités locales sont particulièrement incitatives.

#### **I.2.3.1.2 Energie solaire thermique haute température**

La concentration du rayonnement solaire sur une surface de captage permet d'obtenir de très hautes températures généralement comprises entre 400°C et 1000°C [8], la figure I.6 présente un site de production d'énergie à partir de l'énergie solaire thermique haute température.

La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur qui produit de l'électricité, c'est l'héliothermodynamie.

Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration [8]:

- Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.
- Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.
- Troisième technologie : des capteurs cylindro-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.



Figure I.6 : l'énergie solaire thermique haute température

### I.2.3.2 Énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque.

L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique.

L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau [4].

### I.2.4 La biomasse

C'est tout des matériaux d'origine biologique employé comme combustibles pour la production de chaleur, d'électricité ou de carburants.

Comprend trois familles principales :

- Le biogaz.
- Les bois énergie ou biomasse solide.
- Les biocarburants.

Ce sont tous des matériaux d'origine biologique employés comme combustibles pour la production de chaleur, d'électricité ou de carburants.

#### I.2.4.1 Le Biogaz

Ce sont les matières organiques qui libèrent le biogaz lors de leur décomposition selon un processus de fermentation (méthanisation). On l'appelle aussi « gaz naturel renouvelable » ou encore « gaz de marais », par opposition au gaz d'origine fossile.

Mélange de méthane et de gaz carbonique additionné de quelques autres composants, le biogaz est un gaz combustible. Il sert à la production de chaleur, d'électricité ou de biocarburant [4].

Le biogaz peut être directement capté dans les centres d'enfouissement des déchets ou produit dans des unités de méthanisation.

Sous-produits de l'industrie agro-alimentaire, boues des stations d'épurations, lisiers, animaux ou déchets agricoles peuvent être méthanisés dans des unités industrielles.

#### **I.2.4.2 Le bois énergie ou biomasse solide**

Le bois est une énergie renouvelable. C'est la principale ressource ligneuse, mais il faut également prendre en compte d'autres matières organiques telles que la paille, les résidus solides des récoltes, les grappes de maïs, la bagasse de la canne à sucre, les grignons d'olives la plupart des pays européens, le prélèvement forestier reste inférieur à l'accroissement naturel de la forêt le bilan carbone est donc positif.

Il existe aujourd'hui des appareils à combustible bois innovants et efficaces à disposition des particuliers comme des collectivités ou des industries. Les chaudières à biomasse brûlent différents biocombustibles : granulés de bois, bûches, plaquettes forestières, sciures ou copeaux [4].

#### **I.2.4.3 Les Biocarburants**

Les biocarburants, parfois appelés agrocarburants, sont issus de la biomasse. Il existe principalement deux filières industrielles : l'éthanol et le biodiesel. Ils peuvent être utilisés purs comme au Brésil (éthanol) ou en Allemagne (biodiesel), ou comme additifs aux carburants classiques [4].

#### **I.2.5 Énergie géothermique**

L'énergie géothermique issue de l'énergie de la terre qui est l'énergie nucléaire produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium. Qui est convertie en chaleur et/ou en électricité.

On distingue trois types de géothermie :

- La géothermie à haute énergie (production d'électricité).
- La géothermie à basse énergie (production de chaleur).
- La géothermie à très basse énergie (pompe à chaleur géothermique prélevant la chaleur contenue dans le sol).

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie profonde ne dépend pas des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent).

### **I.3 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur l'état d'art des principales énergies renouvelable, des énergies fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, facilitent la gestion raisonnée des ressources locales, génèrent des emplois. Le solaire (solaire photovoltaïque, solaire thermique), l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse, la géothermie sont des énergies flux inépuisables par rapport aux « énergies stock » tirées des gisements de combustibles fossiles en voie de raréfaction : pétrole, charbon, lignite, gaz naturel.

## Chapitre II

# Etude Générale Sur Les Différents Types Des Panneaux Photovoltaïques

## II.1 Introduction

La génération photovoltaïque consiste à transformer directement la lumière en électricité grâce à des cellules dites photovoltaïques. Dans leurs variantes au silicium, ces cellules ne sont rien d'autre que des jonctions PN dissymétriques : le côté P, appelé base et le côté N, appelé émetteur [9].

## II.2 Quelques définitions

### II.2.1 Les cellules photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un composant électronique à base de semi conducteur qui permet de convertir l'énergie du soleil en une énergie électrique.

### II.2.2 Les modules photovoltaïques

Le module photovoltaïque est un générateur électrique qu'est composé par des cellules en série pour générer une puissance électrique suffisante.

### II.2.3 Les panneaux photovoltaïque

Le panneau photovoltaïque est une association des modules entre eux en série et / ou en parallèle pour obtenir une puissance souhaités.

## II.3 Historique

C'est Alexandre Edmond Becquerel qui découvrit le principe de la conversion de la lumière en électricité en 1839. Il avait observé que certains matériaux faisaient des étincelles lorsqu'ils étaient exposés à la lumière. De là il démontra qu'il s'agissait d'une conversion directe de la lumière en électricité. Cependant l'utilisation des cellules solaires ne débute que dans les années 1940, dans le domaine spatial pour électrifier les satellites. En 1954, Bell Téléphone (Etats-Unis) mit au point la première cellule photovoltaïque de rendement acceptable : environ 6%. Le choc pétrolier de 1973 a permis à l'énergie solaire de connaître un essor considérable. Dans les années 1990, la limite des réseaux câblés oblige les marchés du photovoltaïque à s'ouvrir afin d'atteindre les campagnes de façon rentable [10].

Le spatial devient le banc d'essai de la technologie photovoltaïque. Les coûts de fabrication élevés des cellules et leurs rendements médiocres ne leur permettent pas encore une exploitation à grande échelle. Il faudra attendre les années 70 pour que les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photovoltaïque [11].

## II.4 Principe de fonctionnement

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p.

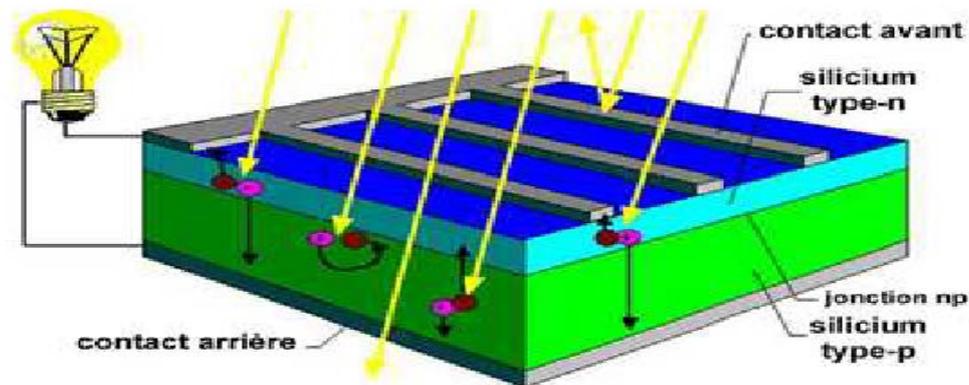


Figure II.1: Coupe transversale d'une cellule PV

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction PN a été formée.

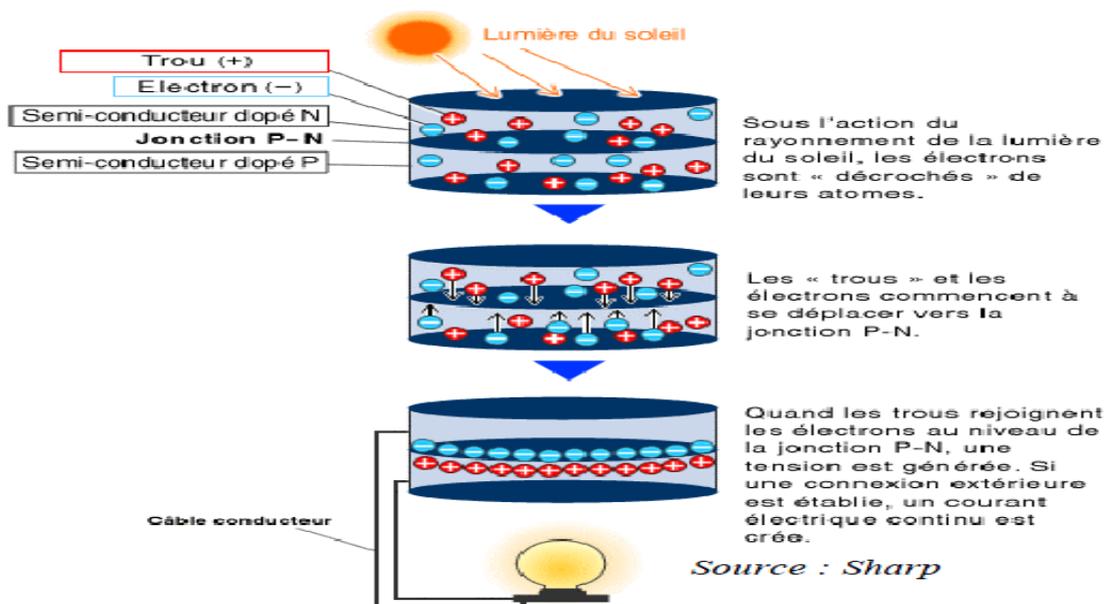


Figure II.2 présentation de l'effet photovoltaïque

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau.

L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque.

### II.5 Association de cellules

Dans un groupement de  $n_s$  cellules en série, toutes sont traversées par un même courant. La Figure montre la caractéristique résultante ( $I_{scc}, V_{sco}$ ) d'un tel groupement dans des conditions idéales, obtenue pour  $n_s$  cellules identiques ( $I_{cc}, V_{co}$ ) en sommant les caractéristiques élémentaires à courant constant :

$$V_{sco} = n_s \cdot V_{co} \tag{II.1}$$

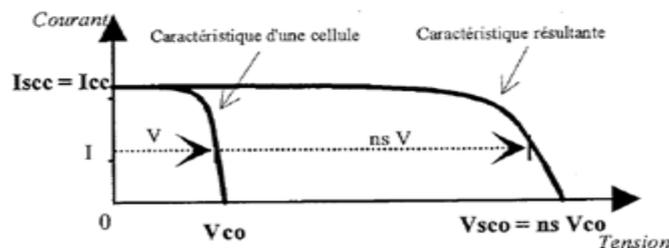


Figure II.3 : Caractéristique  $I = f(V)$  d'un groupement série de cellule PV

Pour un groupement de  $n_p$  cellules identiques en parallèle:

$$I_{pcc} = n_p \cdot I_c \tag{II.2}$$

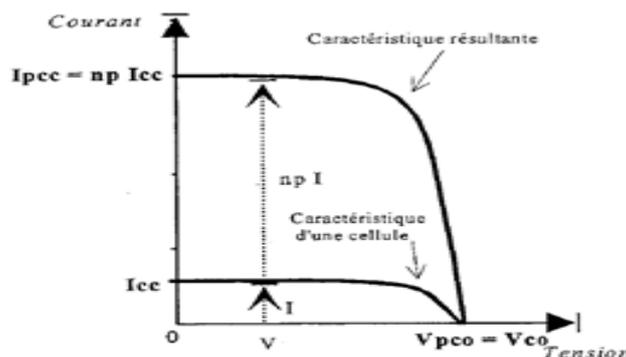


Figure II.4 : Caractéristique  $I = f(V)$  d'un groupement parallèle de cellule PV

## II.6 La protection d'un panneau photovoltaïque

Dans certaines conditions d'éclairement non uniforme et de fonctionnement proche du court-circuit, une cellule du groupement série peut même être soumise à la tension des  $(n_s - 1)$  autres cellules appliquée en inverse et ainsi fonctionner en récepteur en dissipant une puissance importante qui peut la détruire si la contrainte thermique est trop forte ou si la tension d'avalanche est dépassée. Pour éviter cela, il faut disposer une diode  $D_p$  connectée en parallèle, appelée "diode by-pass", aux bornes d'un groupement élémentaire de 30 à 40 cellules au silicium au maximum. L'amorçage spontané de cette diode parallèle, dès apparition d'une tension en inverse aux bornes du groupement limite cette dernière à la valeur  $V_d$  de la tension directe de conduction de la diode choisie et la puissance dissipée à  $V_d \cdot I_s$ .

Des modules commercialisés incluent maintenant ces diodes parallèles de protection contre les tensions inverses. De façon duale, une diode anti-retour  $D_r$  doit protéger des voies en parallèle des courants inverses.

Finalement la Figure II.5 montre le câblage typique d'un réseau de cellules ou de modules photovoltaïques munis de ces diodes protections.

La caractéristique électrique globale courant / tension d'un générateur photovoltaïque se déduit donc théoriquement de la combinaison des caractéristiques des  $n_s \cdot n_p$  cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport  $n_s$  parallèlement à l'axe des tensions et de rapport  $n_p$  parallèlement à l'axe des courants, ainsi que l'illustre la figure II.6,  $n_s$  et  $n_p$  étant respectivement les nombres totaux de cellules en série et en parallèle.

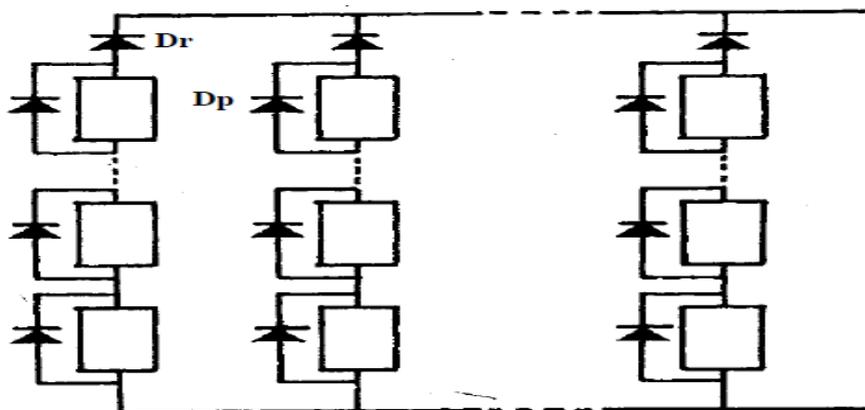


Figure II.5 : Câblage série-parallèle de modules photovoltaïques avec leurs diodes de protection.

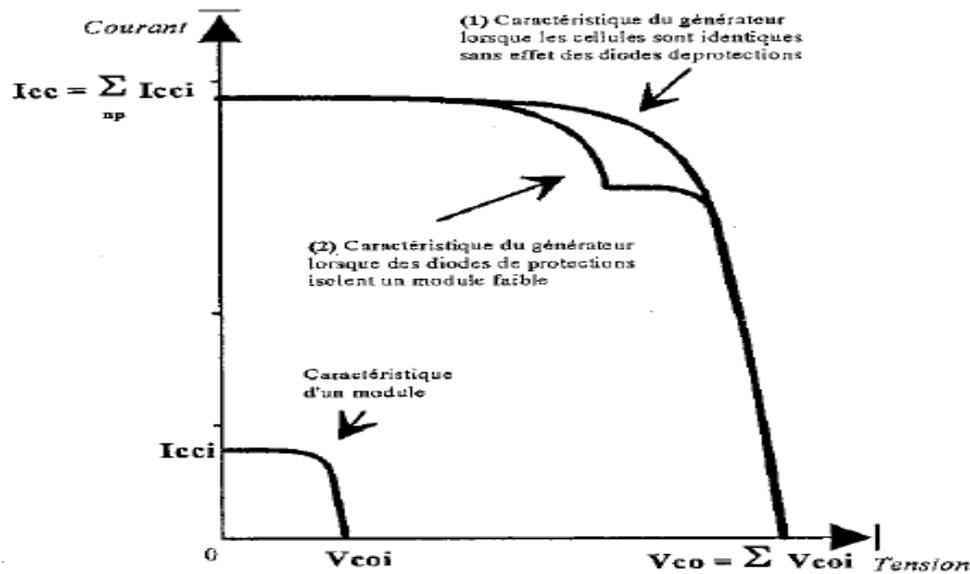


Figure II.6 : Caractéristique d'un PV à  $n_s, n_p$  série/parallèle

## II.7 Les différents panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques sont classés par rapport à la technologie de la cellule, il existe aujourd'hui trois principales technologies : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques.

### II.7.1 Le silicium

La filière silicium représente aujourd'hui l'essentiel de la production mondiale des panneaux photovoltaïques. Il s'agit d'un matériau extrêmement abondant, stable et non toxique. Cette filière est elle-même subdivisée en plusieurs technologies distinctes de par la nature du silicium employé et/ou sa méthode de fabrication. Cette filière comporte deux technologies : Le silicium monocristallin et le silicium multicristallin.

#### II.7.1.1 Le silicium monocristallin

Les panneaux PV avec des cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie; plus onéreux. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau.

Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal. Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule.

Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme.

Elles ont un rendement de 12 à 20%, mais la méthode de production est laborieuse.

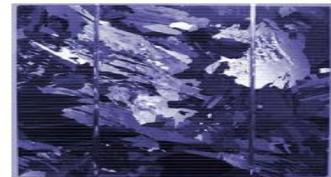
### II.7.1.2 Le silicium multicristallin (polycristallin)

Les panneaux PV avec des cellules polycristallines sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes).

Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure polycristalline. Durée de vie estimée : 30 ans.



(a)



(b)

Figure II.7 : Photo cellule monocristalline (a) et multi cristallin (b)

### II.7.2 Les couches minces

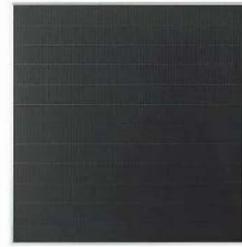
Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.

Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies polycristallines ou monocristallines.

Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grande surface à bas coût en utilisant peu de matière première.



*Module souple Unisolar (68Wc, 1,12 m<sup>2</sup>).*



*Module rigide Sharp (115Wc, 1.42 m<sup>2</sup>).*

Figure II.8 : Deux exemples de modules utilisant le Sia (silicium amorphe)

### II.7.3 Les cellules organiques et plastiques

Observé depuis 30 ans dans les matériaux semi conducteurs organiques, l'effet photovoltaïque a connu cette dernière un grand essor.

Initialement donnant des valeurs très faibles de rendement de conversion, cette application particulière des semi conducteurs organiques commence à attirer l'attention en 1986 lorsque l'équipe de Tang montre que les rendements proches du pourcent sont atteignables, conformément aux prédictions de Merritt en 1978. La cellule, composée alors d'une bicouche de molécules évaporées sous vide, atteint 0.95% de rendement de conversion. Ces cellules comprennent deux voies : la voie des cellules « humides » et la voie des cellules polymères organiques dites aussi cellules « plastique ». Les progrès de ces technologies sont très rapide, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%). Le principal frein à ces technologies est actuellement la stabilité de leurs performances ainsi que leur durée de vie (actuellement environ 1000 heures) [12].

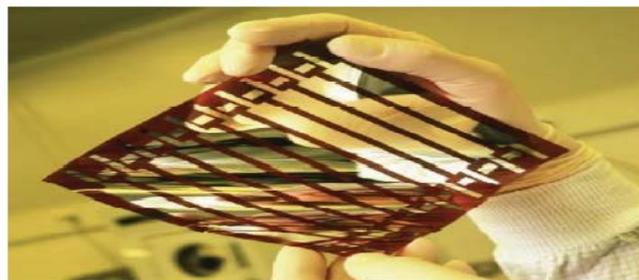


Figure II.9 : Cellule solaire tout organique sur substrat souple

Le tableau ci-dessus donne le comparatif des rendements des différents types de cellules [13].

Génération	Type	Rendement de la cellule en labo (%)	Rendement du module en labo	Rendement du module en condition réel	Niveau de développement
1ère génération	Silicium monocristallin	24.70	22.70	12-20	Production industrielle
	Silicium polycristallin	20.30	16.20	11-15	Production industrielle
2ème génération	Silicium amorphe	13.40	10.40	5-9	Production industrielle
	Silicium cristallin en couche mince		9.40	7	Production industrielle
	CIS	19.30	13.50	9-11	Production industrielle
	CdTe	16.70		6-9	Production industrielle
3ème génération	Cellule organique	5.70			Au stade de la recherche
	Cellule de Grätzel	11	8.40		Au stade de la recherche

Tableau II.1 : Comparatif des rendements des différents types de cellules

## II.8 Les caractéristiques de panneau photovoltaïque

### II.8.1 Courant de court circuit ( $I_{CC}$ )

C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir pour un potentiel nul (la tension = 0), ce courant est linéairement dépendant à l'intensité de la lumière.

### II.8.2 Tension de circuit ouvert ( $V_{OC}$ )

C'est la tension aux bornes de panneau photovoltaïque lorsqu'elle n'est pas connectée à une charge, elle dépend essentiellement du type de cellule photovoltaïque.

### II.8.3 La puissance maximale

La puissance est définie comme étant la multiplication de la tension et l'intensité, pour obtenir une puissance maximale produite associée à une tension maximale et une intensité maximale.

### II.8.4 Facteur de forme (FF)

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique  $I(V)$  pour qualifier la qualité d'un panneau photovoltaïque, ce coefficient est le rapport entre la puissance maximale de panneau ( $P_{\max}$ ) et le produit de courant de court circuit avec la tension de circuit ouvert ( $I_{cc} \cdot V_{oc}$ ).

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{co} I_{cc}} \quad (II.3)$$

### II.8.5 Le rendement

Le rendement est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale produite par le panneau photovoltaïque et la puissance du rayonnement solaire.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \quad (II.4)$$

### II.9 Modèle d'un panneau photovoltaïque statique

Le modèle utilisé est défini par une source de courant idéal associée à une diode [D] et à deux résistances [ $R_s$ ] et [ $R_{sh}$ ]. La diode [D] décrit les propriétés semi-conducteur de la cellule photovoltaïque (modélisation du comportement de la cellule dans l'obscurité). La résistance [ $R_s$ ], résistance série, modélise les pertes ohmiques du matériau. La résistance [ $R_{sh}$ ] résistance shunt.

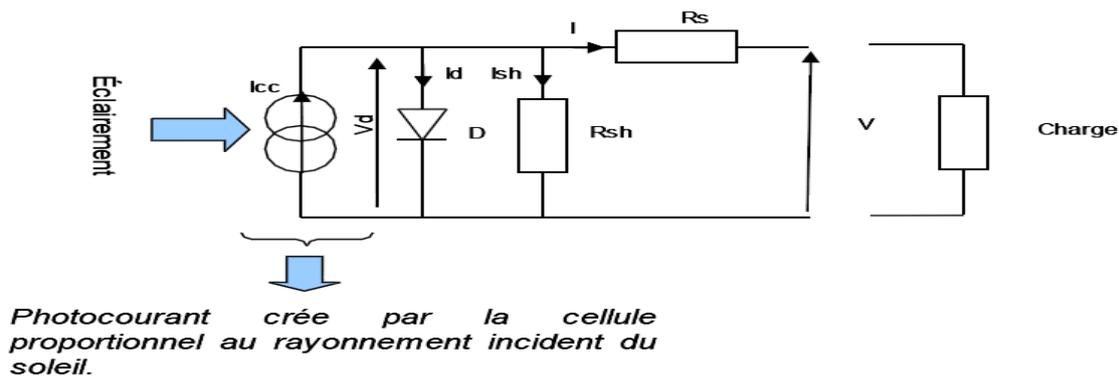


Figure II.10 : schéma de base de cellule photovoltaïque

#### II.9.1 Equations associées au modèle [14] :

On considère que  $R_{sh}$  est très grande  $\Rightarrow I_{sh} \rightarrow 0$

On a les équations suivantes:

$$I_{cc} = I_d + I \quad (II.5)$$

Avec:

$$I_d = I_s \cdot [e^{q \cdot V_d / n \cdot K \cdot T} - 1] \quad (\text{II. 6})$$

Avec :

$$V_d = V + R_s \cdot I \quad (\text{II. 7})$$

- n: facteur d'idéalité de la diode
- q: charge de l'électron  $\rightarrow 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- K: constante de Boltzmann  $\rightarrow 1,38 \cdot 10^{-23}$
- T: température de la cellule en degré Kelvin
- $I_s$ : courant de saturation

On caractérise 3 points de fonctionnement:

$$I_{cc} \rightarrow \text{court circuit} \rightarrow V = 0$$

$$V_{co} \rightarrow \text{circuit ouvert} \rightarrow I = 0$$

$V_{pm}$  et  $I_{pm}$   $\rightarrow$  Point de puissance maximale  $\rightarrow P_m$

Valeur de  $R_s$

On a

$$I_{cc} = I_s [e^{q \cdot V_d / n \cdot K \cdot T} - 1] \quad (\text{II. 8})$$

En circuit ouvert on a

$$I = 0 \rightarrow I_{cc} = I_s [e^{q \cdot V_{co} / n \cdot K \cdot T} - 1] \quad (\text{II. 9})$$

On en déduit

$$I_s = I_{cc} / [e^{q \cdot V_{co} / n \cdot K \cdot T} - 1] = I_{cc} / [e^{q \cdot V_{co} / n \cdot K \cdot T}] \quad (\text{II. 10})$$

Avec

$$e^{q \cdot V_{co} / n \cdot K \cdot T} \gg 1 \quad (\text{II. 11})$$

Le facteur d'idéalité va être utilisé pour définir le nombre de cellules du panneau photovoltaïque que l'on souhaite modéliser.

$$n = n_{\text{cell}} \quad (\text{II. 12})$$

Lorsque l'on se trouve au point de fonctionnement de la puissance maximale ( $V_{pm}, I_{pm}$ ), peut écrire l'équation

$$I_{cc} = I_d + I_{pm} \quad (\text{II. 13})$$

Sachant que ( $V_{pm}, I_{pm}$ ) est un couple de valeurs connues.

A partir de cette équation, on en déduit

$$I_{cc} = I_s \cdot e^{q(V_{pm} + R_s \cdot I_{pm}) / n \cdot K \cdot T} + I_{pm} \quad (\text{II. 14})$$

$$\text{En posant : } V_t = KT/q \quad (\text{II. 15})$$

On a

$$I_{cc} = I_s \cdot e^{V_{pm} + R_s \cdot I_{pm} / n_{cell} \cdot V_t} + I_{pm} \quad (II.16)$$

On obtient

$$(I_{cc} - I_{pm}) / I_s = e^{V_{pm} + R_s \cdot I_{pm} / n_{cell} \cdot V_t} \quad (II.17)$$

La valeur de  $R_s$  se déduit de l'équation

$$R_s = n_{cell} \cdot V_t \cdot \log \left( \frac{(I_{cc} - I_{pm}) / I_{cc}}{I_{pm} - V_{pm} / I_{pm}} \right) \quad (II.18)$$

On applique ce modèle sur le panneau photovoltaïque BP365U :

I <sub>cc</sub>	3.99
V <sub>co</sub>	22.1
V <sub>pm</sub>	17.6
I <sub>pm</sub>	3.69
n <sub>cell</sub>	36
t <sub>cell</sub>	85.75

Tableau II-2 : caractéristique de panneau BP365U

### II.9.2 Modèle photovoltaïque statique sous simulink

En exploitant le modèle statique basé sur un circuit électrique équivalent, nous obtenons les caractéristiques courant-tension  $I(V)$ , puissance-tension  $P(V)$  du panneau photovoltaïque BP365U :

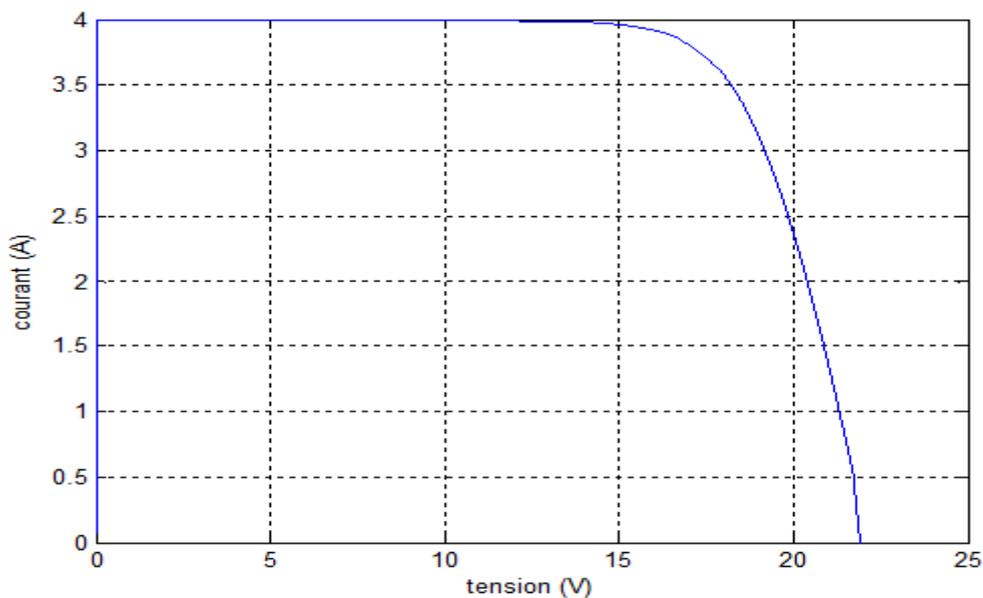
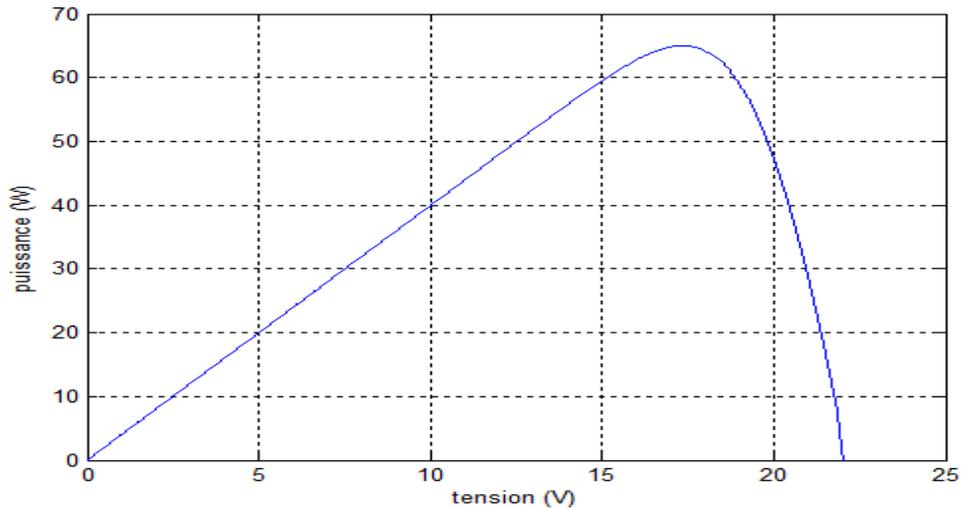


Figure II.11 : caractéristique  $I(V)$

Figure II-12 : caractéristique  $P(V)$ 

La puissance est nulle en court-circuit et en circuit-ouvert. Elle passe par un maximum quand on parcourt la caractéristique  $I(V)$  (Figure II.11).

La courbe caractéristique d'un panneau PV représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes du panneau PV depuis le court-circuit (tension nulle correspondant au courant maximum ne produit) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes du panneau PV). Cette courbe est établie dans des conditions ambiantes de fonctionnement données (température=25°C, irradiation=1000W/m<sup>2</sup>) (Figure II.12).

## II.10 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque et les technologies existantes, l'association de cellule dans un panneau photovoltaïque et l'objectif de chaque association parallèle et série.

La modélisation des panneaux photovoltaïques a été présentée. Le modèle étudié est appliqué sur le cahier des charges d'un panneau photovoltaïque de type BP365U.

## Chapitre III

# Classification Des Systèmes De Stockages(Batteries)

### III.1 Introduction

Les panneaux solaires permettent de générer de la puissance le jour et cette puissance est considérée comme intermittente, car elle ne fonctionne pas la nuit, ou lorsque les conditions climatiques sont inappropriées. Pour que le réseau reçoive de l'énergie en tout temps, notre montage nécessite d'intégrer un système de stockage qui va emmagasiner l'énergie délivrée par les panneaux, quand ces derniers génèrent plus d'énergie que le réseau ou la charge en a besoin. Cette énergie ainsi stockée pourra être envoyée au réseau au moment ou alimenter une charge à un moment adéquat [13].

Les générateurs photovoltaïques ont besoin d'un stockage électrique pour assurer une fourniture d'énergie quelles que soient les séquences d'ensoleillement. Suivant les applications cette fourniture sera assurée l'alimentation de la charge.

La batterie est un périphérique de stockage qui répond à nos attentes, elle est utilisée dans de nombreux domaines et elle est en plein essor. Grâce à cela, de nombreux efforts sont fournis pour améliorer son fonctionnement [13].

Ce chapitre porte donc sur l'étude des différents types de batteries existantes et la comparaison de leurs caractéristiques, afin de déterminer quel type est le plus approprié pour notre utilisation et détaillé ce type [13].

### III.2 Caractéristique de la batterie

Une batterie électrochimique est un système capable de convertir de l'énergie électrique en énergie chimique et réciproquement. On appelle respectivement charge et décharge ces opérations.

#### III.2.1 La technologie

C'est la nature de l'électrolyte contenu dans l'accu (élément) [17].

##### III.2.1.1 Un élément

Est un couple électrochimique (2 électrodes) plongé dans une solution. Selon les technologies, ce couple peut être le {NiOOH/Cd} pour les batteries nickel-cadmium, le {Li/oxyde métallique} pour les batteries lithium-ion, le {PbO<sub>2</sub>/Pb} pour les batteries au plomb, et présente une force électromotrice différente. Le terme demi-élément désigne une électrode.

### III.2.1.2 Un accumulateur

Un accumulateur est un générateur réversible, il peut stocker (accumuler) de l'énergie en convertissant l'énergie électrique en forme chimique, puis la restituer à tout moment sur demande.

### III.2.2 La résistance interne de la batterie

La résistance peut donc être déterminée en fonction de ses composants, à savoir la résistance de l'électrolyte, la résistance de contact entre les électrodes et les cellules et la résistance des matériaux propre à chacune des électrodes [13].

### III.2.3 La tension à vide

Lorsque la batterie est totalement chargée, la tension à vide équivaut environ à la tension idéale [13].

### III.2.4 La tension nominale

La tension nominale est un paramètre important, elle représente la tension que la batterie doit recevoir en sorte qu'elle fonctionne correctement. Cette tension diffère en fonction des différents types de batteries, puisqu'elle est déterminée par le potentiel de la réaction chimique de chaque élément du couple oxydant/réducteur utilisé. Cette tension peut avoir une valeur de 6V, 12V, 24V, 48V... [13].

### III.2.5 La tension de fin décharge

Comme son nom l'indique, cette tension correspond à la valeur de la tension une fois la batterie complètement déchargée. Elle représente donc la valeur minimum que la tension doit avoir pour ne pas endommager la batterie [13].

### III.2.6 La capacité

Ce paramètre correspond à l'énergie maximale que la batterie peut emmagasiner et donc fournir, elle est proportionnelle à la dimension de la batterie, elle se définit par l'équation:

$$Q = \int_{t_0}^t I_b(t) dt \quad (\text{III.1})$$

Son unité de mesure est l'ampère-heure (Ah) [13].

### III.2.7 Le taux de décharge et recharge

Le taux de décharge correspond au temps que la batterie met pour se décharger dans son intégralité. Par exemple, si on a un courant de décharge de 10A et une batterie de 50Ah, le taux de décharge sera égal à 5A/h. On le notera alors C/5 [13].

### III.2.8 Profondeur de décharge

Cette caractéristique est exprimée en pourcentage, elle représente l'énergie maximale qui peut être extraite de la batterie sans pour autant endommager celle-ci, ce qui permet de retarder au maximum sa durée de vie [13].

### III.2.9 L'autodécharge

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant la batterie en repos (sans charge) pendant un temps donné, cette réaction s'effectuant en régime très faible mais non nul.

### III.2.10 Le volume physique de l'élément

Le volume est proportionnel à la capacité pour une technologie donnée [17].

### III.2.11 Influence des paramètres extérieurs

La température influe sur le rendement de la batterie. Afin d'avoir un rendement optimal, la température idéal est de 25 degré [13].

### III.2.12 Durée de vie et nombre de jour d'autonomie

Le nombre de jour d'autonomie se détermine en laissant la batterie alimenter le réseau jusqu'à sa décharge, sans la recharger. La durée de vie correspond au nombre de cycle charge/décharge la batterie peut effectuer [13].

### III.2.13 Énergie

Elle s'exprime généralement en joule, mais peut aussi s'exprimer en watt/heure. Elle est régit par l'équation [13] :

$$E = \int_{t_0}^t v_1(t) \cdot i_b(t) dt \quad (\text{III. 2})$$

### III.2.14 L'énergie massique

Il est intéressant d'avoir une idée de l'ordre de grandeur de l'énergie massique. Cette énergie s'exprime traditionnellement en Joule/Kg ou Wh/Kg [17].

### III.2.15 État de charge de l'accumulateur (SOC)

L'état de charge, souvent simplifié par l'acronyme SOC (state-of-charge), est une caractéristique très importante à connaître, puisqu'elle nous donne en pourcentage le niveau de charge de la batterie. L'état de charge peut être défini par la capacité disponible exprimée en fonction de la capacité nominale, comme le montre l'équation [13] :

$$\text{SOC} = \left( \frac{\text{Capacité disponible(AHr)}}{\text{Capacité nominale(AHr)}} \right) 100 \quad (\text{III. 3})$$

### III.3 Circuit équivalent

Le modèle de circuit équivalent le plus utilisé est le suivant :

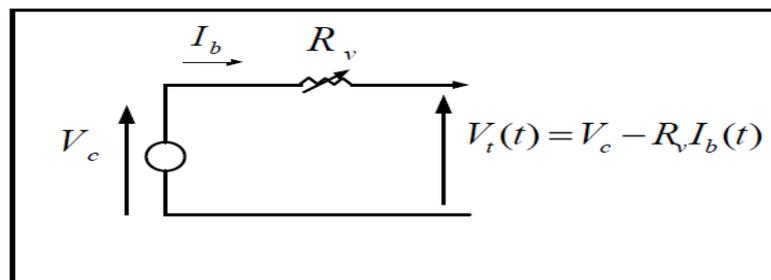


Figure III-1 : Modèle simplifié de l'accumulateur

Avec  $R_v$  la résistance variable qui s'exprime [13] :

$$R_v = R_i + K \frac{q}{q - \int_0^t I_b dt} \quad (\text{III. 4})$$

$V_c$  : Source de tension idéale, ou tension à vide. Elle est définie lorsque la source ne débite pas de courant ( $I_s = 0$ ).

$V_t$  : Tension aux bornes de la batterie,

$R_v$  : Résistance interne en série.

Une source de tension idéale présente une résistance interne nulle. Le courant de sortie n'est donc pas limité, la tension de sortie reste donc constante quelle que soit la valeur du courant de sortie [17].

$V_c / R_v$  : Est le courant maximal II est vu en court-circuitant la source

### III.4 Les différents accumulateurs existants

On répertorie 2 principales sortes d'accumulateurs : les primaires et les secondaires. Les primaires ont le désavantage d'avoir, au sein de la batterie, une réaction chimique irréversible, ils sont donc non rechargeable. Ces accumulateurs sont destinés aux appareils électronique et autres produits de consommation. À l'inverse, les accumulateurs secondaires ont une réaction chimique réversible peuvent donc être rechargés, ils sont plus voués à une utilisation industrielle. Nous allons donc comparer les différents accumulateurs secondaires afin de déterminer lequel est le mieux approprié à notre application [13].

#### III.4.1 Type d'accumulateurs existants :

La différence entre les accumulateurs réside dans la nature chimique utilisée dans leur couple oxydant-réducteur. En effet les plus utilisés sont

#### III.4.1.1 Accumulateur Pb (au plomb)

Le premier accumulateur secondaire Inventé en 1859 par Gustave Planté confère à l'homme une bonne maîtrise de cette technologie. Peu coûteuse, elle est souvent utilisée, notamment pour les systèmes automobiles fonctionnant à des températures ambiantes et elle n'est pas sensible à l'effet mémoire. Néanmoins, cette technologie est assez polluante, le nombre de cycle est assez bas (500 environ) et son énergie est limitée [13].

#### III.4.1.2 Accumulateur Ni-Cd (au nickel cadmium)

Cet accumulateur, plus récent que celui au plomb, possèdent de nombreux avantages. En effet, il a la capacité de réaliser un grand nombre de cycle de charge/décharge, sa résistance interne très faible, ce qui minimise les pertes de puissances, son stockage est simple, adapté à différents niveau de charge, et sa charge est très rapide (60% de la capacité de charge totale en 20 minutes) [13]. Ces avantages technologiques par rapport aux batteries de plomb se répercutent fatalement sur le coût du produit, qui est 3 fois supérieur à ce dernier. Aussi le caractère polluant du cadmium est un inconvénient de taille pour ce modèle. Il possède également une faible densité énergétique et se décharge assez rapidement, et est sensible à l'effet mémoire.

#### III.4.1.3 Accumulateur NiMH (aux hydrures métalliques de nickel)

Cet accumulateur, contrairement aux deux précédents, n'est pas polluant (absence de cadmium et de plomb). Il peut emmagasiner plus d'énergie que le Ni-Cd et est peu sensible à l'effet mémoire. Il a dans sa globalité de meilleures performances que le Ni-Cd, même si son autodécharge est plus handicapante et sa durée de vie plus courte en nombre de cycle. Il détecte difficilement la fin de charge et ne supporte pas le dépassement de charge [13].

#### III.4.1.4 Accumulateur Li-ion et Li-Po (aux ions de lithium et lithium polymère)

Il ne présente aucun effet mémoire et une faible autodécharge. Bien qu'il ne nécessite pas de maintenance, sa durée de vie est faible. Paradoxalement, il possède un nombre correct de cycle de vie. Cela veut dire que ce modèle s'use même si il n'est pas utilisé (vieillessement, usure, corrosion...). Des efforts pour pallier ce manque de durée de vie sont en train d'être réalisés, notamment en changeant la structure de l'électrode. L'amélioration des performances de ce modèle est en plein essor.

Son avantage primordial est sa haute densité d'énergie (grand potentiel électrochimique). Le lithium étant un métal très léger, son poids est également un avantage.

La principale faiblesse de ce modèle réside dans son aspect sécuritaire: la surchauffe peut entraîner l'explosion. Pour assurer la sécurité, la batterie doit être munie d'un système de protection. L'autre moyen développé est de modifier le couple, en utilisant un accumulateur

Li-Polymère, mais malgré son avantage sécuritaire cet accumulateur n'est pas suffisamment compétitif (puissance massique et nombre de cycle charge/décharge trop faible [13].

Nous avons choisi de comparer les batteries Pb, Ni-Cd, NiMH et Li-ion car ce sont celles qui sont les plus utilisées. Voici un tableau comparatif de ces 4 technologies: [13]

	Plomb	Ni – Cd	NiMH	Li – ion
Durée de vie (année)	4-5	2-3	2-4	7
Nombre de cycle de vie	800	1200	1000	1000
Rendement charge/décharge (%)	50	70-90	66	90
Autodécharge (% par mois)	5	15	20	2
Tension nominale par élément (V)	2,1	1,2	1,2	3,6
Résistance interne (Ohm)	Très faible	Environ 0.06 par cellule de 1Ah	Environ 0.06 par cellule de 1Ah	Très faible
Température en fonctionnement (°C)	Ambiante	-40 à +80	Ambiante	Ambiante
Énergie massique (Wh/kg)	30-50	45-80	60-110	90-180
Énergie volumique (Wh/l)	75-120	80-150	220-330	220-400
Temps de charge (h)	8	1	1	2-3

Tableau III-1 : Comparatif des technologies d'accumulateur utilisées [13]

On constate que la batterie plomb possède une énergie massique et volumique très faible que les autres. Aussi, elle possède un très bon Durée de vie, qui est très important pour notre application. Sa résistance interne et son pourcentage d'autodécharge par mois est très faible, cela constitue deux autres avantages de poids. Encore la meilleure réponse en termes de prix C'est pour toutes ces raisons que nous avons choisi d'utiliser la batterie plomb pour notre application, même si son que les autres [16].

### III.5 L'accumulateur au plomb-acide

Une batterie (l'accumulateur) plomb-acide est constituée d'une série de cellules, branchées en série afin d'obtenir le voltage désiré en sortie.

La sortie pour une cellule acide plomb est environ de 2V donc pour une batterie de 12 V, il y a 6 cellules branchées en série.

Pour chaque cellule, deux électrodes en plomb sont plongées dans un bac d'acide sulfurique dilué. L'électrode positive est recouverte de peroxyde de plomb. Si un consommateur est branché, une décharge de courant se produit entraînant une réaction entre le peroxyde de plomb et l'acide sulfurique.

Les plaques se recouvrent alors de sulfate de plomb ce qui provoque une formation d'eau et une diminution de la densité de l'acide. S'il n'y avait pas formation d'eau. La batterie se déchargerait.

### III.6 Equation de charge/décharge de la batterie

La charge est l'opération qui consiste à entrer de l'énergie dans la batterie et la décharge est l'opération qui consiste à sortir de l'énergie de la batterie sous l'équation charge/décharge suivant [19]:

$$SOC(t) = SOC(t - 1) + (P_G(t) - P_{ch}(t))(N_{bat} / V_{bat}) dt \quad (III.5)$$

Avec :

SOC : L'état de la charge

$P_G$  : La puissance de générateur

$P_{ch}$  : La puissance absorbée par la charge

$N_{bat}$  : Le rendement de la batterie

$V_{bat}$  : La tension de la batterie

dt : Le temps

Nous obtenons la caractéristique de charge/ décharge de la batterie (figure III.2) par l'utilisation de l'équation (III.5)

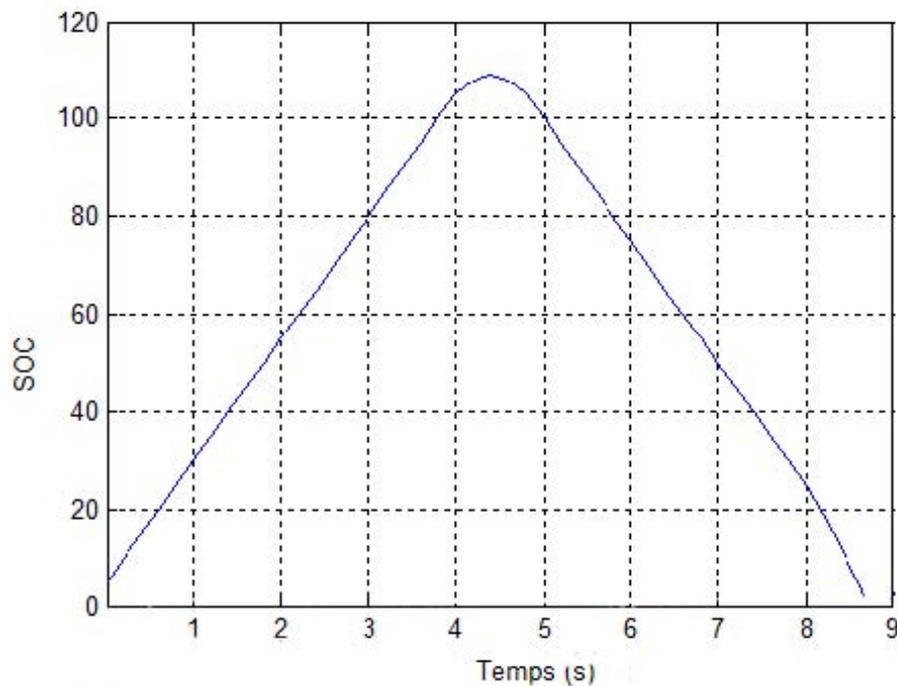


Figure III-2 : état de charge et décharge de la batterie

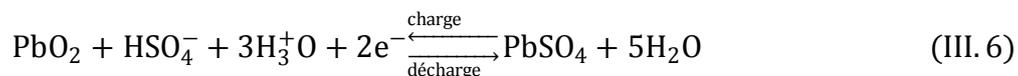
### III.7 Caractéristiques électrochimiques [18]

Le fonctionnement de l'accumulateur au plomb réside dans le couplage de deux électrodes : une positive (PbO<sub>2</sub>/PbSO<sub>4</sub>) et une négative (Pb/PbSO<sub>4</sub>) qui sont immergées dans une solution d'acide sulfurique.

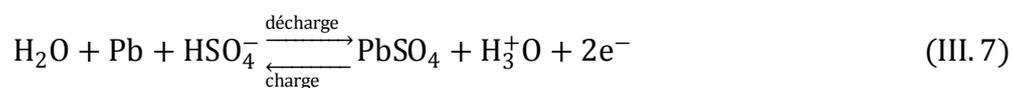
#### III.7.1 Réactions électrochimiques

Les réactions de charge/décharge aux électrodes sont les suivantes :

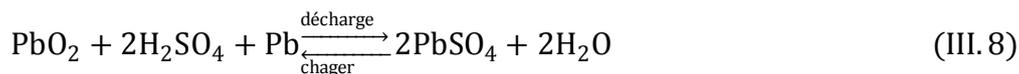
À l'électrode positive :



À l'électrode négative :



Soit pour la réaction globale appelée « double sulfatation »



#### III.7.2 Électrolyse de l'eau lors de la surcharge

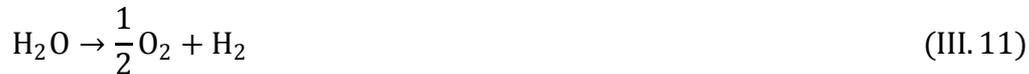
En fin de charge d'un accumulateur au plomb, on observe à l'électrode positive une électrolyse de l'eau avec dégagement d'oxygène.



À l'électrode négative, on observe un dégagement de dihydrogène :



D'où la réaction globale :



### III.8 Les types de batterie plomb-acide les plus courants [15]:

#### III.8.1 Plomb-antimoine et plomb-calcium

Le plomb est allié à l'antimoine (avec une faible addition de quelques autres éléments tels que le sélénium ou l'étain) ou au calcium, pour que la matière devienne plus durable et plus facile à traiter. Pour l'utilisateur, il est important de savoir que, par rapport aux batteries plomb-calcium, les batteries alliées à l'antimoine présentent une autodécharge plus élevée et nécessitent une tension de charge plus élevée. Par contre elles peuvent aussi supporter un plus grand nombre de cycles de charge/décharge.

#### III.8.2 Les batteries dites 'ouvertes' et les batteries dites 'étanches'

Les batteries 'ouvertes' contiennent de l'électrolyte liquide. Dans la batterie étanche, l'électrolyte est généralement gélifié (la batterie gel) ou absorbé en matière microporeuse (la batterie AGM, Absorbent Glass Mat). Dans le cas d'une batterie ouverte il est normal qu'un bouillonnement apparaisse en fin de charge. Il s'agit de gaz hydrogène et oxygène qui se dégagent.

Dans le cas des batteries étanches, l'oxygène gazeux qui se forme sur les plaques positives, se déplace vers les plaques négatives, où, après une réaction chimique compliquée, il se combine à nouveau à l'hydrogène pour redevenir de l'eau (donc strictement : il faudrait parler de batteries à recombinaison de gaz). Il n'y a pratiquement pas de gaz qui s'échappe de la batterie sauf lorsque la tension et le courant de charge sont trop élevés ! Le gaz s'échappe alors par une soupape de sécurité. C'est pourquoi les batteries étanches sont aussi appelées VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Les batteries dites étanches ne sont donc pas vraiment étanches ! Si, suite à une surcharge, il y a régulièrement du gaz qui s'échappe de la batterie étanche, l'électrolyte se dessèchera et la batterie deviendra inutilisable.

On peut distinguer les différentes batteries en se basant sur leur construction et leur utilisation, comme décrit dans les paragraphes suivants.

### III.8.3 La batterie de démarrage à plaque plane (ouverte)

C'est la batterie utilisée dans les voitures. Cette batterie a été développée pour un courant de décharge élevé de très courte durée (le démarrage d'un moteur) et c'est la raison pour laquelle elle a des plaques fines avec une grande surface. En cas de décharge profonde répétitive, les plaques peuvent se déformer et une perte de masse se produira rapidement. Tout de même, les batteries de démarrage à plaque plane "heavy duty" (batteries camion) sont souvent utilisées comme batterie de servitude sur des bateaux de plaisance de petite taille [15].

### III.8.4 La batterie semi-traction à plaque plane (ouverte)

Cette batterie possède des plaques plus épaisses ainsi que de meilleurs séparateurs entre les plaques pour prévenir la déformation et la perte de masse en cas d'utilisation cyclique.

### III.8.5 La batterie 'traction' (ouverte)

Ces batteries aux plaques tubulaires sont extrêmement robustes et adaptées au « cyclage » journalier. Les batteries de traction sont utilisées par exemple dans les chariots élévateurs, où la batterie est déchargée tous les jours de 60 à 80% de sa capacité et rechargée chaque nuit. En cas de « cyclage » intensif, la batterie de traction doit subir périodiquement une charge d'égalisation. La charge d'égalisation consiste à poursuivre la recharge de la batterie quelques heures de plus avec relativement peu de courant, après avoir terminé le cycle de charge normal. La tension de charge alors monte.

La hauteur que la tension peut atteindre dépend de la composition chimique et de l'âge de la batterie.

Une tension de charge élevée est nécessaire, entre autres, pour transformer en matière active le sulfate éventuellement restant et pour prévenir la **stratification** de la solution électrolytique. L'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) qui se forme pendant la charge de la batterie, possède une densité plus élevée que celle de l'eau et descend donc au fond du bac ; la concentration d'acide au fond de la batterie devenant alors plus importante que celle du niveau supérieur de la batterie. Le bouillonnement pendant la charge d'égalisation permet à l'électrolyte d'être à nouveau bien mélangé.

Les éléments des batteries à plaques tubulaires sont étroits et hauts. Dans les batteries à plaque plane, les éléments sont justement plats et bas. C'est pourquoi il faut beaucoup plus de bouillonnement dans une batterie à plaques tubulaires que dans une batterie à plaque plane pour bien mélanger l'électrolyte.

### III.8.6 La batterie gélifiée (VRLA)

Ici, l'électrolyte est immobilisé en tant que gel. Cette batterie est très connue sous le nom Sonnenschein Dryfit A200, Sportline ou Exide Prevailer [14].

### III.8.7 La batterie AGM (VRLA)

AGM signifie Absorbent Glass Mat. Dans cette batterie, l'électrolyte est absorbé par une natte en fibre de verre, serrée entre les plaques. Dans une batterie AGM, les porteurs de charge, les ions hydrogènes (H<sub>2</sub>) et les ions sulfate (SO<sub>4</sub>), se déplacent plus facilement entre les plaques que dans une batterie gel. C'est pourquoi une batterie AGM est plus adaptée pour fournir un courant très élevé de courte durée, qu'une batterie gel.

### III.8.8 La batterie à éléments cylindriques (VRLA)

Cette batterie, connue sous le nom Optima (Exide possède un produit similaire), est une variante de la batterie AGM.

Chaque élément est un assemblage enroulé d'une plaque positive et d'une plaque négative avec une natte entre les deux, dans laquelle l'électrolyte est absorbé. Le résultat est une grande solidité mécanique et une très faible résistance électrique. La batterie à éléments cylindriques peut fournir à courte durée un courant très élevé ; elle supporte des courants de charge élevés sans échauffement et, en tant que batterie VRLA, résiste à une tension de charge très élevée (jusqu'à 15 Volt pour une batterie de 12 Volt) sans qu'il y ait du gaz qui s'échappe.

## III.9 Les types des systèmes photovoltaïques

Les types des systèmes photovoltaïques que l'on rencontre généralement dans les sites de production d'énergie électrique sont :

- Les systèmes autonomes
- Les systèmes raccordés au réseau électrique

### III.9.1 Les systèmes autonomes

Un système photovoltaïque autonome est un système qui produit de l'électricité grâce au soleil, mais qui fonctionne indépendamment du réseau électrique. Dans la majorité des cas, ce système est utilisé dans les sites isolés où il serait beaucoup trop coûteux de raccorder l'habitation ou le local que l'on souhaite alimenter en électricité. On trouve deux types de système autonome ; un système autonome simple et un système autonome hybride.

### III.9.1.1 Le système autonome simple

Le système autonome simple dépend uniquement de l'énergie solaire photovoltaïque pour alimenter la charge, pour assurer l'alimentation de la charge à l'absence de soleil on ajoute des batteries et un contrôleur, qui présente dans la figure (III.3).

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques.

Le contrôleur est utilisé pour contrôler la période où le panneau alimente la charge, charge la batterie et pour la période où la charge est alimenté par la batterie.

La charge soit un équipement électrique fonctionne en tension continue ou un équipement fonctionne en tension alternative ou les deux en même temps, c'est pour cela qu'on utilise un convertisseur DC/DC pour la charge en tension continue et un convertisseur DC/AC pour la charge en tension alternative,

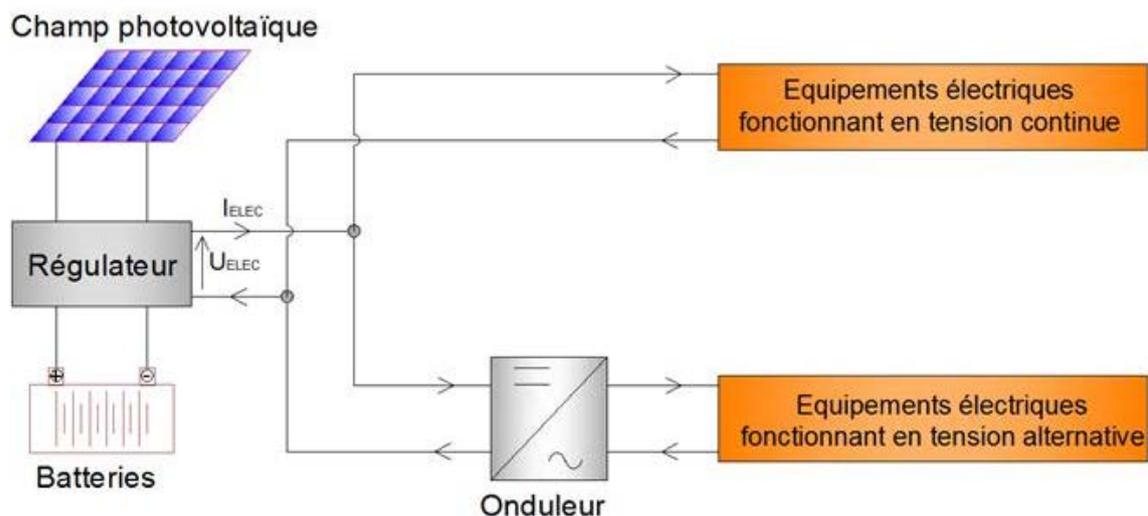


Figure III.3 : Système photovoltaïque autonome

### III.9.1.2 Le système autonome hybride

Un système autonome dépend de l'énergie photovoltaïque et d'une autre source d'énergie (énergie éolienne, générateur diesel), des batteries, comme montre la figure (III.4)

Son contrôleur est compliqué par rapport au contrôleur de système simple parce qu'il fait le contrôle de la période où la charge alimentée par le panneau et la période d'alimentation par les autres sources d'énergie.

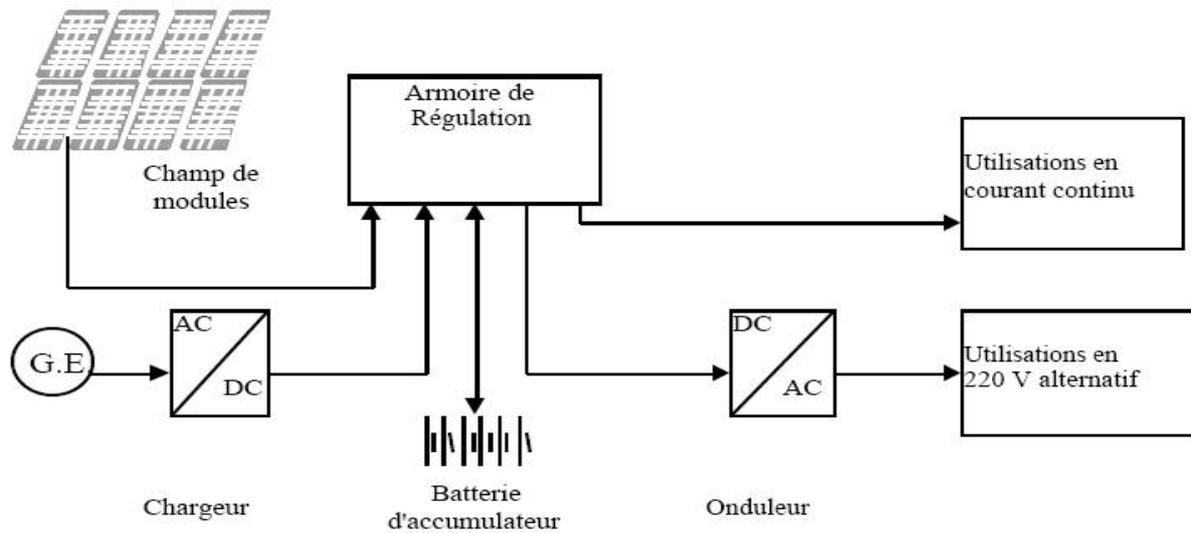


Figure III.4 : Système photovoltaïque autonome hybride

### III.9.2 Les systèmes raccordés au réseau électrique

Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau sont des systèmes comportant les mêmes éléments que les systèmes autonome, la seule différence est que le système raccordé au réseau ne comporte pas des batteries de stockage et comporte un compteur pour compter l'énergie de réseau consommé, celui-ci de la figure (III.5).

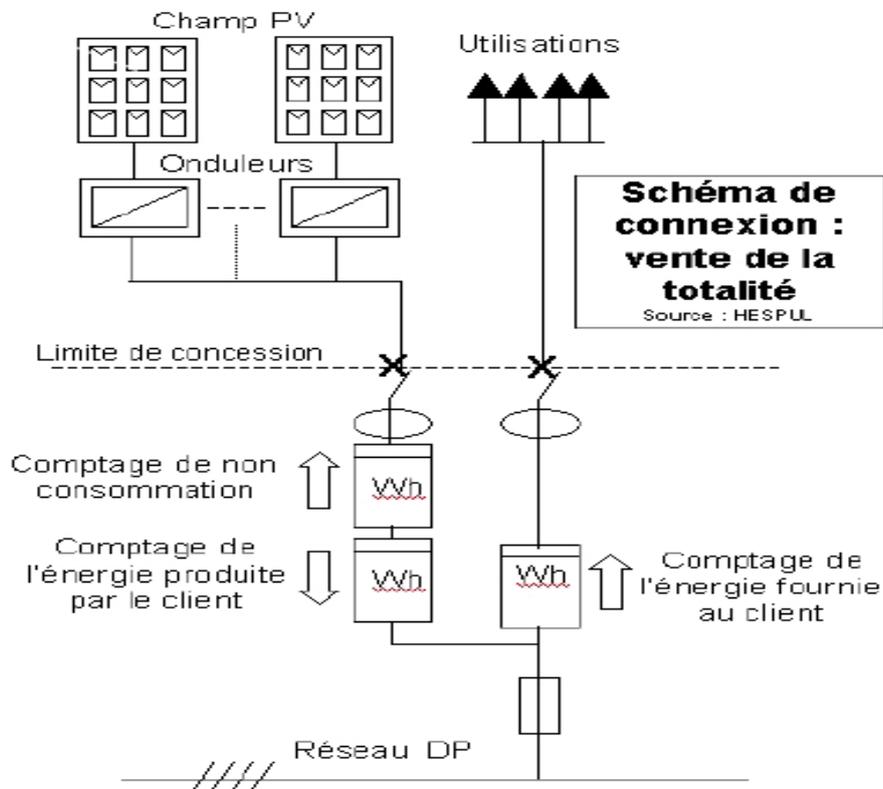


Figure III.5 : Système photovoltaïque raccordés au réseau électrique

**III.10 CONCLUSION**

Les différentes applications font appel à des batteries des technologies différentes afin de garantir le service rendu. Parmi ces technologies, la batterie au plomb, est la technologie la plus utilisée. C'est pour cette raison notre choix est le type plomb-acide.

## Chapitre IV

# Application De La Logique Flou Pour La Gestion D'énergie

## IV.1 Introduction

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude d'une station d'électrification pour l'alimentation d'un site isolé. Notre objectif ici est l'utilisation de l'énergie renouvelable pour satisfaire les besoins en énergie.

Les éléments nécessaires de la station renouvelable sont : des panneaux photovoltaïques, des batteries de stockage et des modules d'adaptation. Ainsi, la construction d'une source renouvelable nécessite une étude générale sur le site à alimenter.

L'alimentation permanente de la charge est assurée par les panneaux photovoltaïques d'une part et les batteries de stockage d'autre part à l'aide d'un contrôleur intelligent intégré dans le système total. Le rôle de ce contrôleur est la gestion de l'énergie entre les sources qui produisent l'énergie et le profile de consommation.

Et pour cela l'organisation de ce chapitre est donnée par les points suivants :

- Représentation générale de la logique floue.
- Représentation de la station d'électrification étudiée.
- Etablir la liaison entre la logique floue et la gestion d'énergie (organigramme de développement de contrôleur d'énergie).

## IV.2 Représentation générale de la logique floue

### IV.2.1 Historique et définition

La logique floue est une extension de la logique booléenne créée par Lot\_ Zadeh en 1965 en se basant sur sa théorie mathématique des ensembles flous, qui est une généralisation de la théorie des ensembles classiques. En introduisant la notion de degré dans la vérification d'une condition, permettant ainsi a une condition d'être dans un autre état que vrai ou faux, la logique floue confère une flexibilité très appréciable aux raisonnements qui l'utilisent, ce qui rend possible la prise en compte des imprécisions et des incertitudes [23].

### IV.2.2 définition d'un ensemble flou

Le concept de sous-ensemble flou permet des graduations dans l'appartenance d'un élément à une classe.

- Dans l'approche classique [20]:

Si  $\mu_A$  est la fonction d'appartenance de l'ensemble  $A$

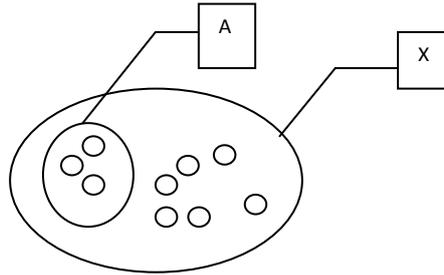


Figure IV.1 : Ensemble flou

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_x(x), \mu_B(x)) \tag{IV.1}$$

$$\forall x \in X \begin{cases} \mu_A = 0 \text{ si } x \notin X \\ \mu_A = 1 \text{ si } x \in X \end{cases} \tag{IV.2}$$

L'ensemble  $A$  est défini par :

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\} \tag{IV.3}$$

- Dans l'approche floue [20]:
  - Un élément peut appartenir plus ou moins fortement à cette classe.
  - Un sous-ensemble flou  $A$  d'un référentiel  $X$  est caractérisé par une fonction d'appartenance  $\mu_A$  :

Si  $\mu_A$  est la fonction d'appartenance de l'ensemble flou  $A$

$$\forall x \in X \quad \mu_A \in [0,1] \text{ si } \mu_A(x) = 0.10 \tag{IV.4}$$

$x$  appartient à l'ensemble flou  $A$  avec un degré d'appartenance de 10% Faible appartenance, Traduction de la valeur linguistique « Faible »

$$\mu_A(x) = 0.90 \tag{IV.5}$$

$x$  appartient à l'ensemble flou  $A$  avec un degré d'appartenance de 90%

Forte appartenance, Traduction de la valeur linguistique « Fort »

- degré d'appartenance = valeur de vérité.
- Un ensemble flou est totalement déterminé par sa fonction d'appartenance.
- La fonction d'appartenance décrivant un sous-ensemble flou est caractérisée par quatre propriétés :
  - Le type : la forme du nombre flou qui peut être triangulaire, trapézoïdale, gaussienne ou sigmoïdale.
  - La hauteur :

$$H(A) = \text{Sup}_{x \in X} (\mu_A(x)) \tag{IV.6}$$

de la fonction d'appartenance. Un sous-ensemble flou est dit normalisé s'il est de hauteur 1.

- Le noyau :

$$N(A) = \{x / \mu_A(x) = 1\} \tag{IV.7}$$

est l'ensemble des éléments qui appartiennent totalement à A. Pour les fonctions de type triangulaire, le noyau est un singleton qui est appelé aussi valeur modale.

- Le support :

$$S(A) = \{x / \mu_A(x) \neq 0\} \tag{IV.8}$$

cet ensemble décrit l'ensemble des éléments qui sont partiellement dans A.

- La fonction d'appartenance décrivant un sous-ensemble flou est caractérisée par quatre propriétés :

- Le type :

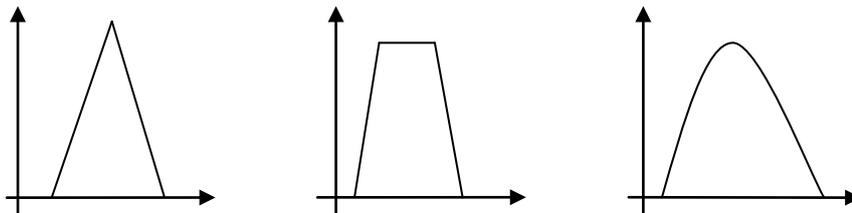


Figure IV.2 : les types de la fonction d'appartenance

- La hauteur, le noyau, le support :

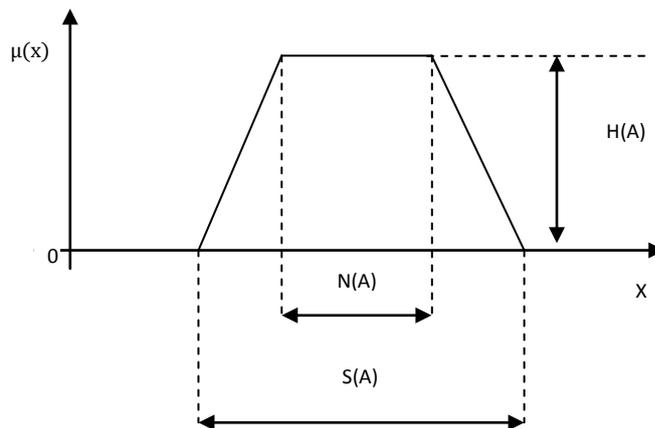


Figure IV.3: les caractéristiques de fonction d'appartenance

### IV.2.3 Les opérateurs flous

Extension des opérations de la théorie des ensembles classiques:  $=, \cup, \cap, \subset$  complément.

Soient  $A$  et  $B$  deux sous ensemble flous de  $X$ , définis par les fonctions d'apprentissage :

$\mu_A$  et  $\mu_B$

Égalité de sous ensemble flous:

$$A = B \text{ si } \forall x \in X, \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad (\text{IV.9})$$

Inclusion de sous ensemble flous:

$$A \subset B \text{ si } \forall x \in X, \mu_A(x) < \mu_B(x) \quad (\text{IV.10})$$

Intersection de sous ensemble flous:

$$A \cap B \text{ si } \forall x \in X, \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (\text{IV.11})$$

Union de sous ensembles flous:

$$A \cup B \text{ si } \forall x \in X, \mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (\text{IV.12})$$

#### IV.2.4 Structure d'un contrôleur flou

La mise en œuvre de contrôleur flou  $c$  s'effectue à travers un Système d'Inférence Flou composé généralement d'une base de connaissance avec les trois modules suivants (Figure IV.4) [21]:

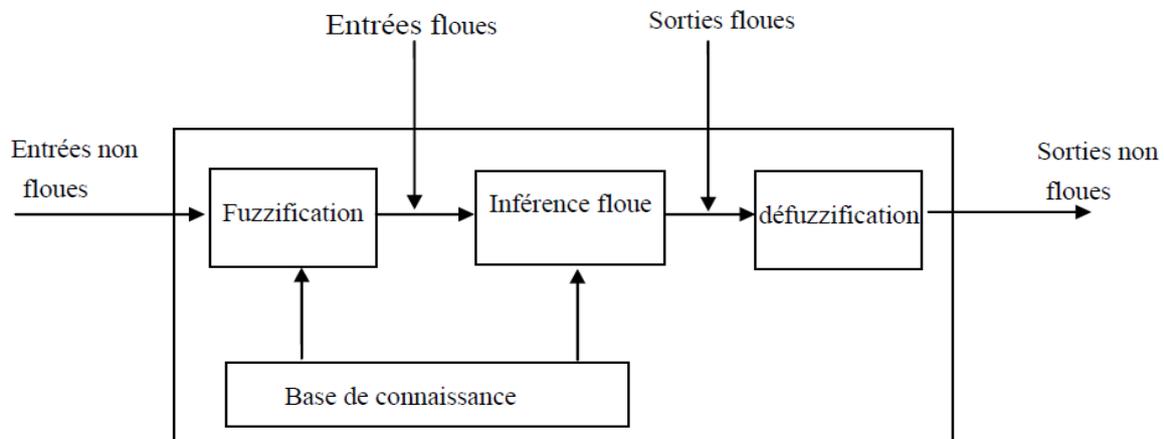


Figure IV.4 : Structure d'un contrôleur flou

##### IV.2.4.1 Fuzzification

La fuzzification est réalisée dans l'interface d'entrée du système flou. Durant cette phase, les informations issues du système sont tout d'abord normalisées. Ensuite, les données normalisées sont transformées en qualifications linguistiques, en utilisant des règles sémantiques définies par un expert. Les entrées dans un système flou sont en général mesurées à l'aide d'organes de mesure qui sont le plus souvent de type analogique. Etant donné que, l'implémentation du système flou se fait toujours en numérique, il faut d'abord

convertir les entrées analogiques en digital, puis on procède à la fuzzification. L'adaptation des entrées permet de garantir l'appartenance de celles-ci à l'univers de discours choisi U. La dernière étape de fuzzification est la génération des degrés d'appartenance à chaque valeur linguistique définie par sa fonction d'appartenance. Par ailleurs, les fonctions d'appartenance les plus utilisées sont : triangulaire, trapézoïdale, gaussienne, sigmoïde, etc. [21].

**IV.2.4.2 Inférence floue**

L'inférence floue est le processus de formulation de la relation entre les entrées et les sorties par logique floue. Cette relation offre une base avec laquelle la décision est prise par le système flou. L'inférence floue fait appel alors aux concepts de fonctions d'appartenance, d'implication floue et les règles floues. Nous avons présenté dans la section 1.4 les principes d'inférence floue [21].



Figure IV.5 : Inférence floue

**IV.2.4.3 Défuzzification**

Le résultat de l'inférence en utilisant une des méthodes d'implication floue, comme Max-min, est une valeur floue. Cette information ne peut être utilisée directement. Une transformation doit être prévue à la sortie du bloc d'inférence pour la convertir en grandeur fixe, cette transformation étant connue par le terme défuzzification (concrétisation). Plusieurs méthodes de défuzzification existent en logique floue, les plus utilisées sont les deux suivant [21].

**IV.2.4.3.1 La méthode du centre de maximum**

Dans cette méthode, la valeur de sortie est estimée par l'abscisse du point correspondant au centre de l'intervalle pour lequel la fonction d'appartenance est maximale.

$$\text{sortie} = \frac{\int y \cdot \mu(y) \, dy}{\int \mu(y) \, dy} \tag{IV.13}$$

$$S = \{y_0 \in U / \mu(y_0) = \text{SUP}_{y \in U} (\mu(y))\} \tag{IV.14}$$

U : Univers du discours [22].

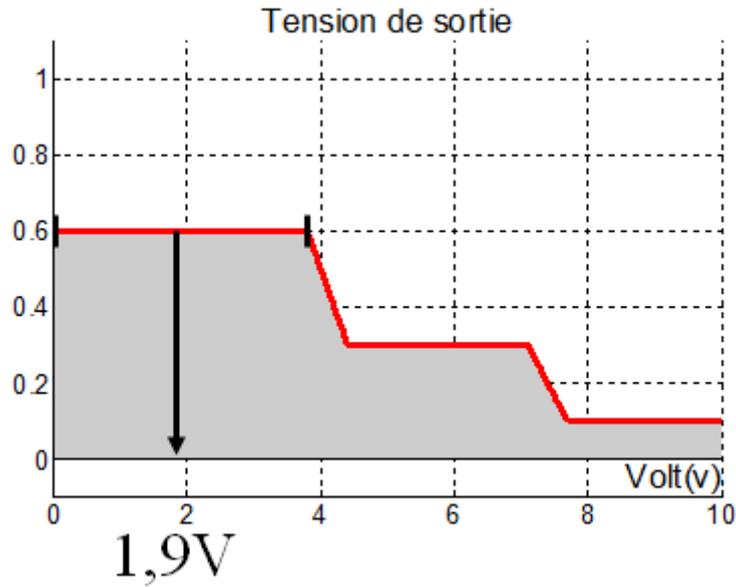


Figure IV.6: La défuzzification par la méthode du centre de maximum [22]

#### IV.2.4.3.2 La méthode du centre de gravité (COG)

La défuzzification par centre de gravité consiste à calculer l'abscisse du centre de gravité de la fonction d'appartenance.

$$\text{sortie} = \frac{\int y \cdot \mu(y) \cdot dy}{\int \mu(y) \cdot dy} \quad (\text{IV.15})$$

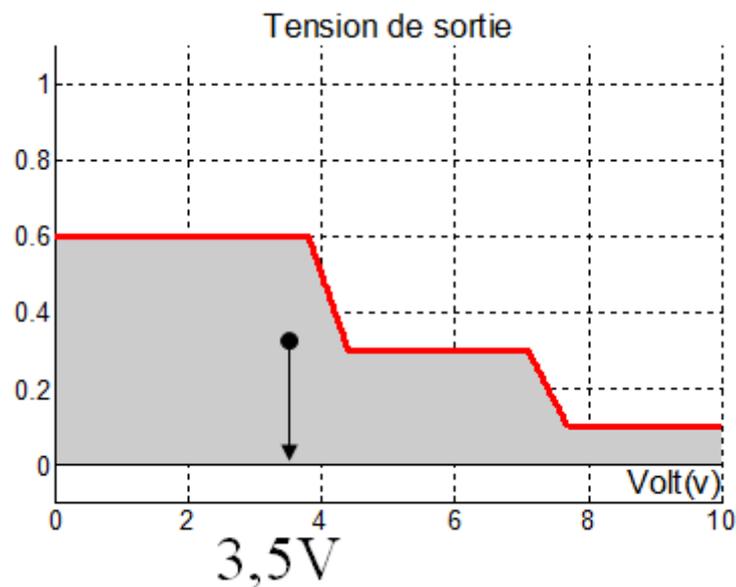


Figure IV.7 : La défuzzification par la méthode du centre de gravité [22]

### IV.3 Représentation de la station d'électrification étudiée

Les équipements constituant notre station sont les suivants :

- Des générateurs photovoltaïques.
- système de stockage (batterie).
- Des modules d'adaptation.

Le schéma bloc du système global est donné par la figure IV.8

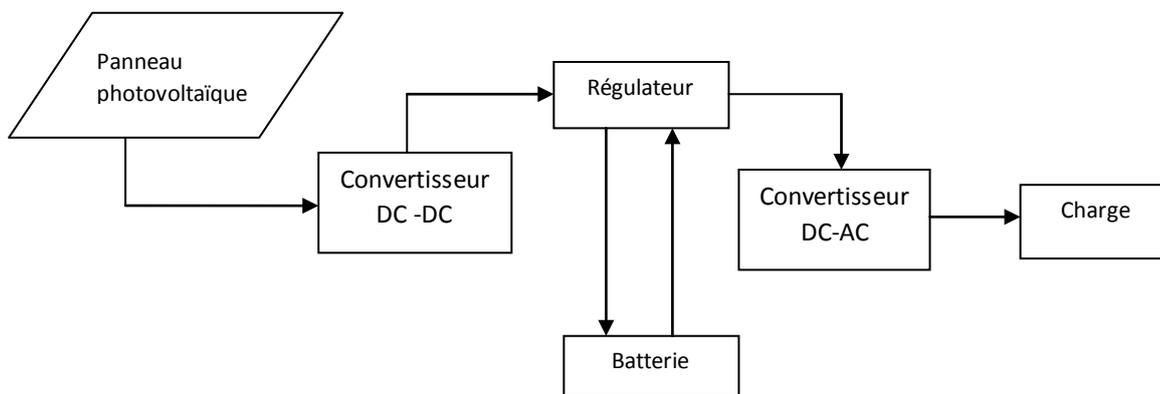


Figure IV.8 : Schéma bloc du système global

#### IV.3.1 représentation du générateur photovoltaïque

La puissance produite par un générateur photovoltaïque est variée en fonction des données du site. Ces données sont : l'irradiation et la température ambiante. En plus chaque type de panneau solaire est caractérisé par des caractéristiques propres données par le constructeur.

##### IV.3.1.1 Modélisation

Le développement d'un système d'alimentation à base des systèmes renouvelables exige la connaissance des différents modèles des équipements. Ainsi, dans notre étude plusieurs modèles sont présentés, un modèle concerne les panneaux solaires et un modèle concerne les batteries de stockage.

L'expression mathématique de la puissance générée par le panneau est donnée par la relation donnée par [19] :

$$P_{PV} [w/m^2] = \eta_G A_{pv} E \quad (IV.16)$$

Avec :

$A_{pv}$  : est la surface de panneau photovoltaïque [ $m^2$ ].

$\eta_G$  : est le rendement total du panneau, ce qui se traduit par l'équation suivante:

$$\eta_G = \eta_r \eta_{pv} [1 - \beta_t (T_C - T_{NOCT})] \quad (IV.17)$$

Où :

$\eta_r$  : est la référence du rendement du générateur solaire, qui est le rapport entre la puissance générée et la puissance de l'irradiation reçue et la température ambiante par le générateur. Ce rendement varie en fonction de la technologie utilisée, pour la poly cristallin technologie, ce rendement est égal à 13%.

$\eta_{pv}$  : représente le facteur de dégradation du générateur solaire selon pendant sa durée de vie. Ce facteur est égal à la valeur de 0,9.

$\beta_t$  : représente le coefficient d'influence de la température de les cellules photovoltaïques sur le rendement du générateur, qui varie entre 0,004 et 0,006 / ° C.

$T_C$  : est la température en (° C) de la cellule de panneau photovoltaïque. Cela dépend de l'irradiation (E) et de la température ambiante ( $T_a$ ) en tant que suite:

$$T_C = 30 + 0.075(300 - E) + 1.14(T_a - 25) \quad (IV.18)$$

$T_{NOCT}$  : est la température le fonctionnement nominale de cellules. On le calcule quand les cellules fonctionnent dans des conditions de fonctionnement standard irradiation de 800 [ $w/m^2$ ], 25 °C température ambiante, vitesse du vent moyenne de 1 m/s.

$E$  : l'irradiation solaire [ $w/m^2$ ].

### IV.3.1.2 Choix du panneau

Le panneau choisi dans notre cas est BP365U, ses caractéristiques sont illustrées dans le tableau IV.1.

$I_{cc}$	3.99
$V_{co}$	22.1
$V_{pm}$	17.6
$I_{pm}$	3.69
$n_{cell}$	36
$t_{cell}$	85.75
$\eta_r$	0.111
$\eta_{pv}$	0.9
$\beta_t$	0.0056
$A_{pv}$	0.467856 m <sup>2</sup>

Tableau IV.1: caractéristique de panneau BP365U

### IV.3.2 représentation des batteries de stockage

Parmi les batteries les plus utilisées généralement dans les stations d'électrifications sont les batteries de type plomb-acide.

#### IV.3.2.1 Modélisation

Le modèle de batterie en fonction de l'état de charge est donné par les équations suivantes [19]:

$$SOC(t) = SOC(t - 1) + \left( P_v - \frac{P_c(t)}{\eta_{dcac} \eta_{wr}} \right) \frac{\eta_{Bat}}{V_{bus}} \Delta t \quad (IV.19)$$

Avec :

$$P_v(t) = \eta_{dcdc} P_{pv}(t) \quad (IV.20)$$

Ou :

$P_{pv}(t)$ : est la puissance des générateur photovoltaïque.

$P_c(t)$ : La puissance de charge instantanée.

$\eta_{Bat}$ : Rendement de Charge-décharge de batterie, égal à 0,8- 0,85 pendant la décharge et

$\eta_{dcdc}$ ,  $\eta_{dcac}$  : sont respectivement les Rendements des convertisseurs de *DC/DC* et *DC/AC*.

$$\eta_{dcdc} = \eta_{dcac} = 0.95.$$

$\eta_{wr}$ : Pertes dans les fils est 0.98.

$V_{bus}$ : Tension de bus DC .

SOC(t): État de charge.

$\Delta t$ : Le pas d'échantillonnage de simulation.

Dans le but de prévenir les décharges profondes la charge de l'accumulateur est maintenue dans une certaine plage. Cette plage est définie par :

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (IV.21)$$

Avec :

$$SOC_{min} = (1 - DOD)SOC_{max} \quad (IV.22)$$

DOD est la profondeur de décharge de la batterie, pris égale à 0.8.

#### IV.3.2.2 Choix de la batterie

La batterie choisie pour l'installation est caractérisée par les paramètres suivants :

Capacité (AH)	200 AH
Tension (V)	12 V

Tableau IV.2 : Caractéristique de la batterie

### IV.4 Liaison entre la logique floue et la gestion d'énergie

Dans cette étape nous allons établir une liaison et le système d'électrification global et le principe de la gestion d'énergie entre la source et la consommation. Alors, l'objectif principal est comment intégrer l'équipement qui assure la gestion et la distribution de l'énergie entre les éléments sources et les éléments consommateur. Avant d'aborder cette étape nous allons étudier le site qui dans le quel on va installer notre système d'alimentation.

#### IV.4.1 Etude globale du site

Dans cette étape il est nécessaire de définir l'emplacement de l'installation c'est-à-dire la localisation du site.les paramètres qui nous intéressent dans notre étude sont :

l'ensoleillement et la température et le profile de charge [19].

##### IV.4.1.1 Variation de l'ensoleillement (irradiation)

Nous avons utilisé un profil annuel d'ensoleillement (irradiation) solaire globale (en  $W/m^2$ ) par pas de temps d'une demi-heure. La figure IV.9 présente la variation de l'irradiation solaire en fonction de temps pour une année.

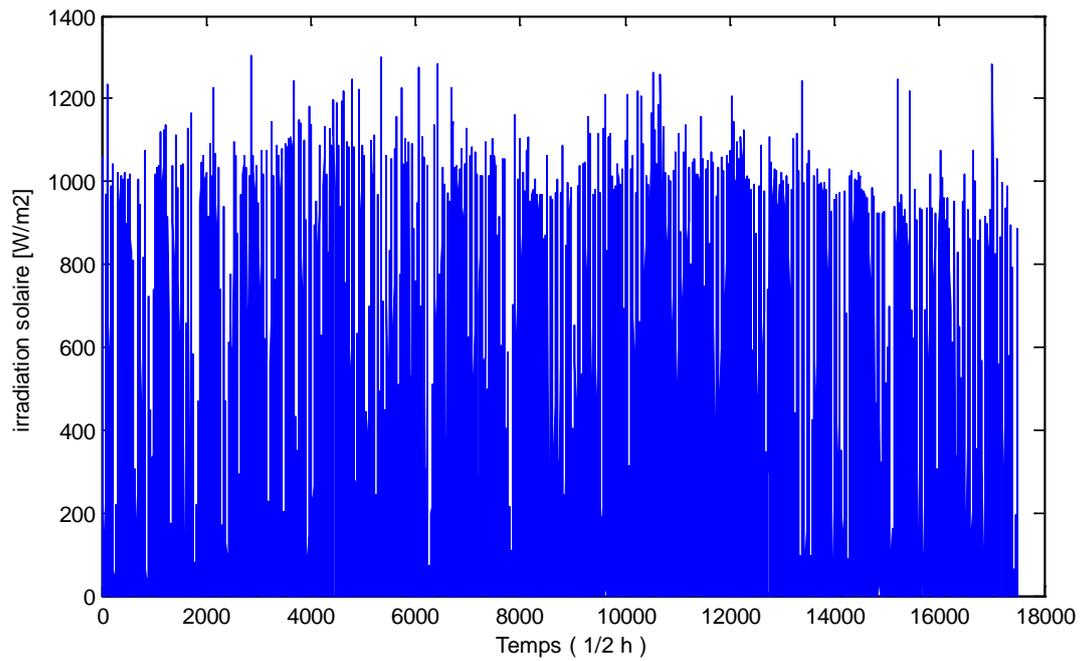


Figure IV.9 : Evaluation annuelle des irradiations solaires aux cours de l'année

Remarquons qu'au niveau de l'irradiation solaire le site présente un profil régulier sur l'année.

#### IV.4.1.2 Variation de la température ambiante

L'évolution de la température au cours de l'année est présentée dans la figure IV.10

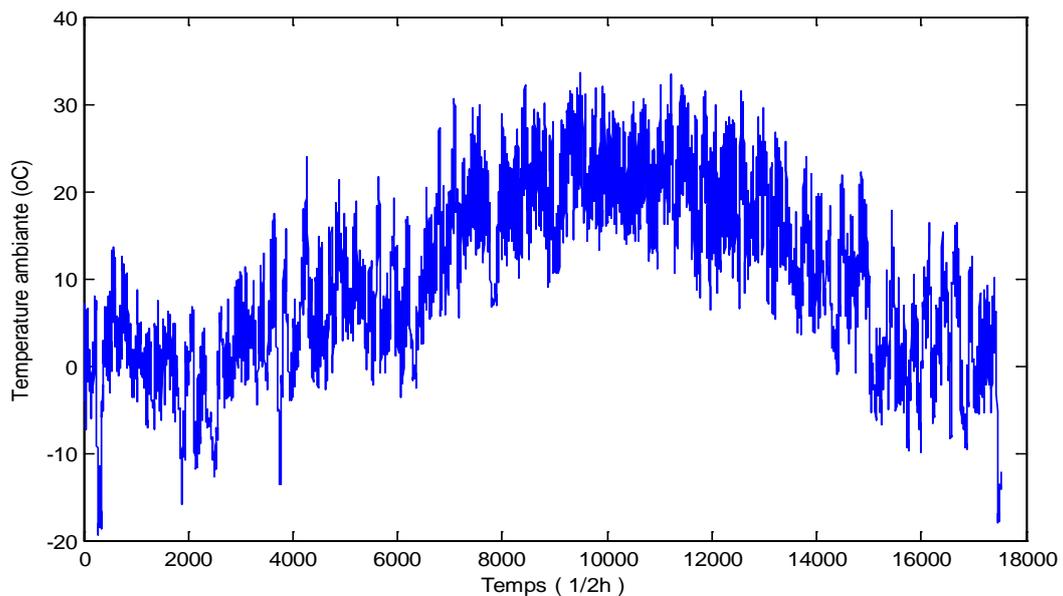


Figure IV.10: Evolution de la température aux cours de l'année

### IV.4.1.3 Caractéristiques du profil de consommation

Dans notre étude nous avons choisi une charge fonctionnant permanence durant toute l'année. Le profil sur une année donnée sur la figure IV.11

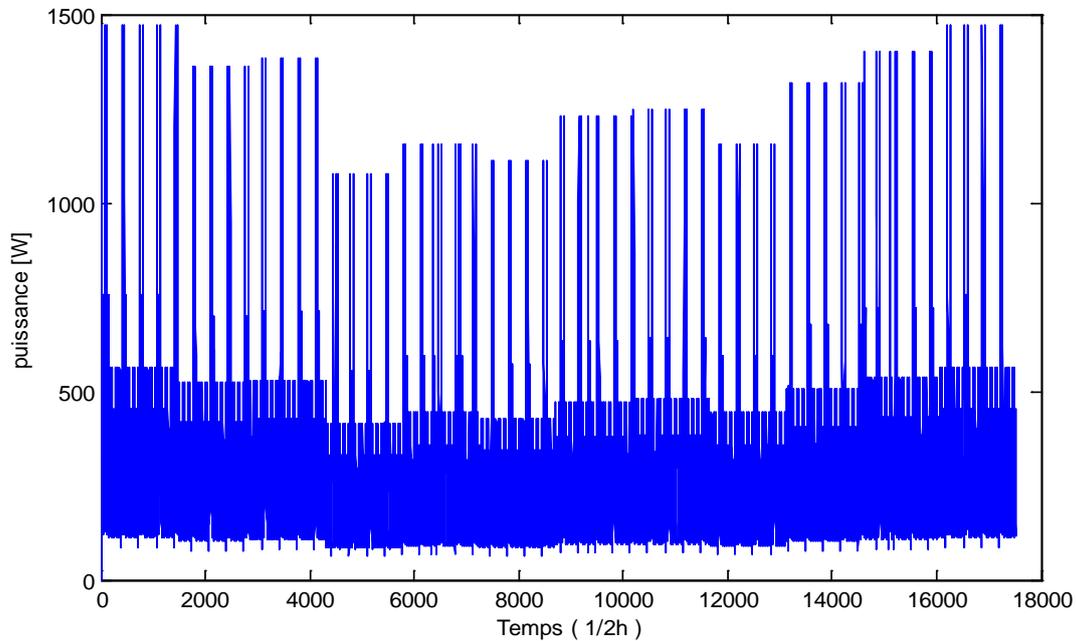


Figure IV.11 : distribution annuelle de puissance de charge

## IV.4.2 Dimensionnement

Cette étape représente le point le plus important pour obtenir une installation d'électrifications solaire, bien adaptée à la demande. Dans l'étape de dimensionnement nous allons dimensionner les panneaux solaires et les systèmes de stockage.

### IV.4.2.1 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

Nous allons déterminer le nombre des panneaux solaires par rapport à la charge consommée durant une année complète.

Les équations de dimensionnement sont les suivantes :

$$E_{Pc} = \sum_{n=1}^k P_c(n) \quad (IV. 23)$$

$$E_{Pv} = \sum_{n=1}^k P_v(n) \quad (IV. 24)$$

Avec :

$$K = 17520$$

$P_c$  : La puissance de charge instantanée.

$E_{Pc}$  : La puissance de charge d'une année.

$P_v$  : La puissance de panneau instantanée.

$E_{Pv}$  : La puissance de panneau d'une année.

$$N_{Pv} = \frac{E_{Pc}}{E_{Pv}} \quad (IV.25)$$

$N_{Pv}$ : Le nombre des panneaux série parallèle.

Le nombre total des panneaux obtenu est  $N_{Pv} = 18$ , on a la tension de panneau  $V_{pm} = 17$

Et la tension du circuit nominal égale 48 V alors on a besoin de 3 panneaux série

$$N_{pvs} = 3$$

$$N_{pvp} = \frac{N_{pv}}{N_{pvs}} \quad (IV.26)$$

$$N_{pvp} = 6$$

$N_{pvs}$  : le nombre des panneaux en série

$N_{pvp}$  : le nombre des panneaux en parallèle

#### IV.4.2.2 Dimensionnement des batteries

Nous allons déterminer le nombre des batteries utilisées par rapport à la somme de déférence la puissance des panneaux et la puissance de charge consommée durant l'année.

Les équations utilisées sont les suivantes:

$$dp(n) = P_v(n) - P_c(n) \quad (IV.27)$$

$$C = \sum_{n=1}^k dp(n) \quad (IV.28)$$

$$N_{bat} = \frac{C}{C_{bat}} \quad (IV.29)$$

C : Capacité totale.

$C_{bat}$  : Capacité de batterie.

Tension nominale de batterie = 12V.

On a besoin de 4 batteries en série pour notre système (48V).

La capacité de batterie = 200 Ah.

Le nombre de batterie en parallèle = 20 batterie.

Le nombre de batterie totale =  $20 \times 4 = 80$  batterie.

#### IV.4.3 Développement du contrôleur d'énergie

Dans cette étape on va définir les entrées/les sorties du contrôleur flou et les règles de contrôle. Les sorties du contrôleur sont trois contacteurs

Le contrôleur flou développé possède deux entrées et trois sorties. La première entrée (dP) correspond à la différence entre la puissance générée par les panneaux photovoltaïques et la puissance consommée par le profil de charge. L'expression de différence de puissance est donnée par l'équation suivante :

$$dp(n) = P_v(n) - P_c(n) \quad (IV. 30)$$

La seconde entrée représente l'état de charge des batteries (SOC), cette entrée va donner au contrôleur l'état de batterie d'une manière instantanée.

Les sorties du contrôleur flou sont des contacteurs ou les sorties de contrôle. Ces trois sorties sont définies comme suit :

C1 : pour l'alimentation directe de la charge par la puissance des panneaux.

C2 : pour charger les batteries à partir des panneaux.

C3 : pour l'alimentation de charge à partir des batteries.

Le contrôleur est représenté en figure V.12

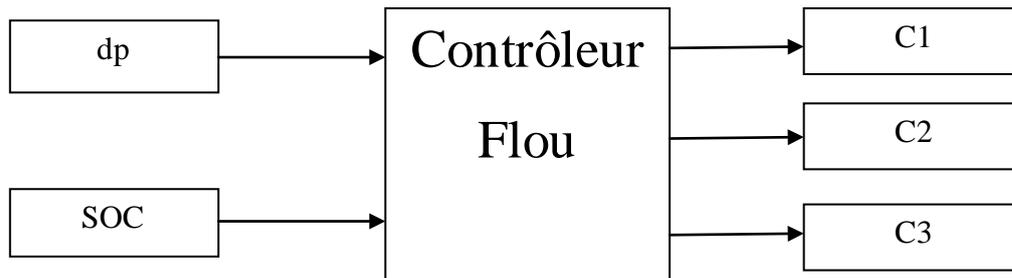


Figure IV.12 : Structure d'un contrôleur flou

#### IV.4.3.1 Les règles du contrôleur

Le contrôleur flou fonctionne selon les règles suivantes :

- Si (dP is neg) et (SOC id SOC min) alors (C1 est over)(C2 est over)(C3 est over).
- Si (dP is neg) et (SOC id SOC n) alors (C1 est over)(C2 est over) (C3 est ferm).
- Si (dP is neg) et (SOC id SOC max) alors (C1 est over)(C2 est over)(C3 est ferm).
- Si (dP is zer) et (SOC id SOC min) alors (C1 est ferm)(C2 est over)(C3 est over).
- Si (dP is zer) et (SOC id SOC n) alors (C1 est ferm)(C2 is over)(C3 est over).
- Si (dP is zer) et (SOC id SOC max) alors (C1 est ferm)(C2 est over)(C3 est over).
- Si (dP is pos) et (SOC id SOC min) alors (C1 est ferm)(C2 est ferm)(C3 est over).
- Si (dP is pos) et (SOC id SOC n) alors (C1 est ferm)(C2 est ferm)(C3 est over).
- Si (dP is pos) et (SOC id SOC max) alors (C1 est ferm)(C2 est over)(C3 est over).

La table d'inférence (table I) comporte alors 9 règles.

dP \ soc	<i>socmin</i>	<i>scon</i>	<i>socmax</i>
N	état non pris	C1=0, C2=0, C3=1	C1=0, C2=0, C3=1
Z	C1=1,C2=0,C3=0	C1=1, C2=0, C3=0	C1=1, C2=0,C3=0
P	C1=1,C2=1,C3=0	C1=1, C2=1, C3=0	C1=1, C2=0, C3=0

Tableau IV.3 : Table d'inférences

« N – Négatif », « P – positive », « Z – Zéro », « soc<sub>min</sub> – Maximum de batterie », « soc<sub>n</sub> – la charge nominal », « soc<sub>max</sub> – maximum de batterie ».

Exemple : SI dP est P ET soc est soc<sub>max</sub> ALORS E est C1=1, C2=0, C3=0.

SI la différence de puissance est positive ET les batteries sont complètement rechargées ALORS la charge sera alimentée par les panneaux directement.

**IV.4.3.2 Les entrées du contrôleur**

La figure IV.13 représente l'entrée dp du contrôleur

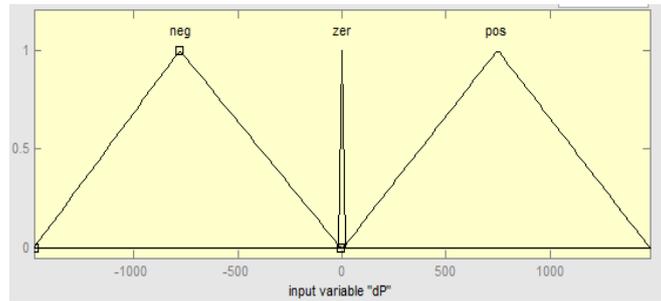


Figure IV.13 : la fonction d'appartenance de dp

La figure IV.14 représente l'entrée SOC de contrôleur

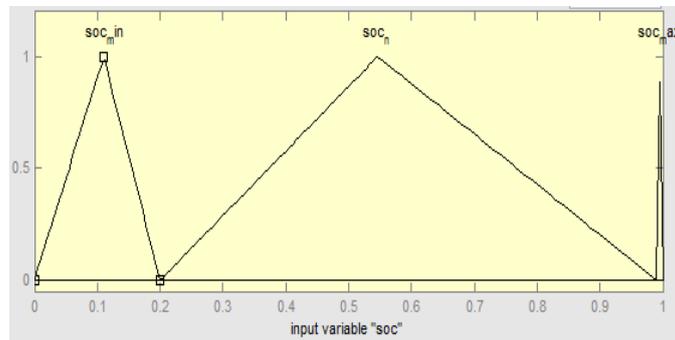


Figure IV.14 : la fonction d'appartenance de SOC

**IV.4.3.3 Les sorties du contrôleur**

Les trois figure suivantes présentent les sorties du contrôleur (C1,C2 ,C3)

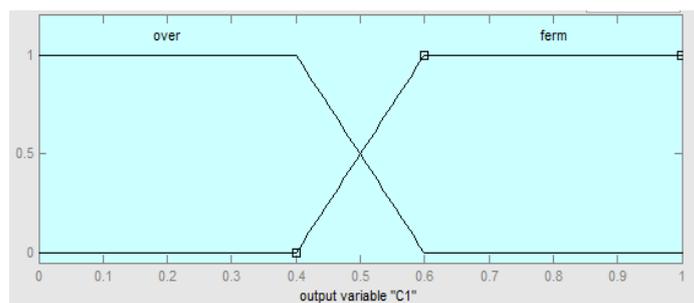


Figure IV.15 : la fonction d'appartenance de C1

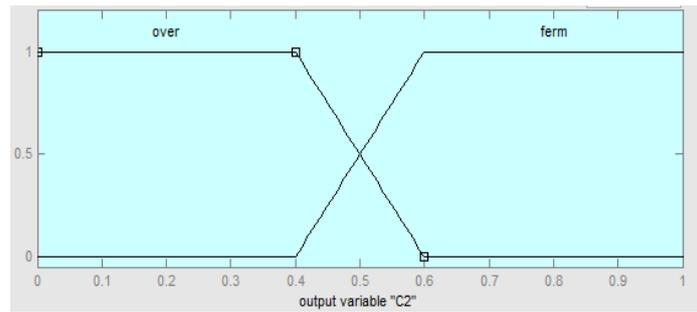


Figure IV.16 : la fonction d'appartenance de C2

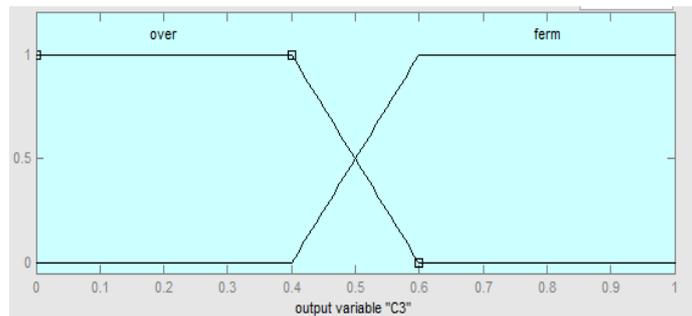


Figure IV.17: la fonction d'appartenance de C3

### IV.5 Les résultats de simulation

Les résultats de simulation obtenus pour le système étudié permettent une évaluation complète des paramètres .le fonctionnement des panneaux et les batteries, le fonctionnement de contacteur, proviennent de l'analyse de l'ensemble des simulations réalisées.

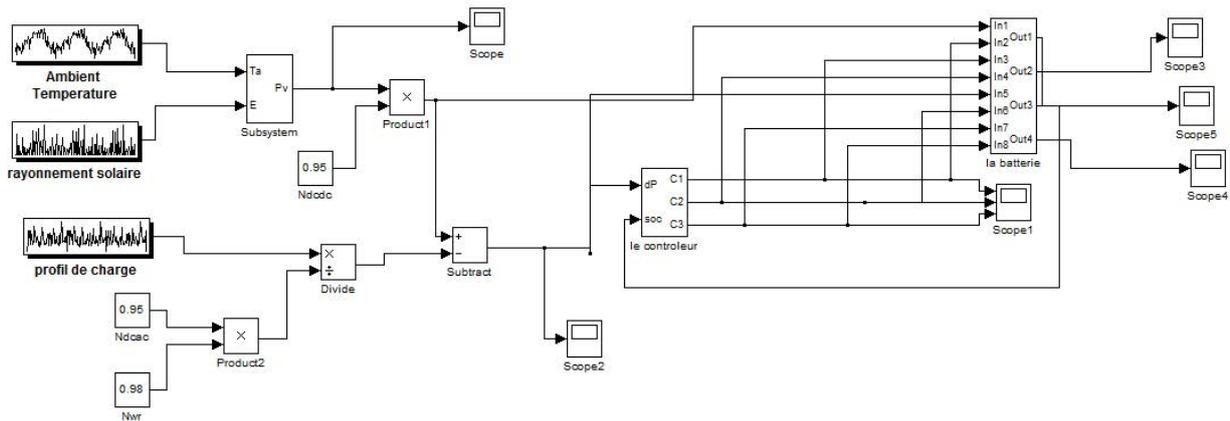


Figure IV.18 : Schéma block de système

La distribution de la puissance produite par les générateurs PV de système étudié de site est illustrée dans la figure IV.19 suivante

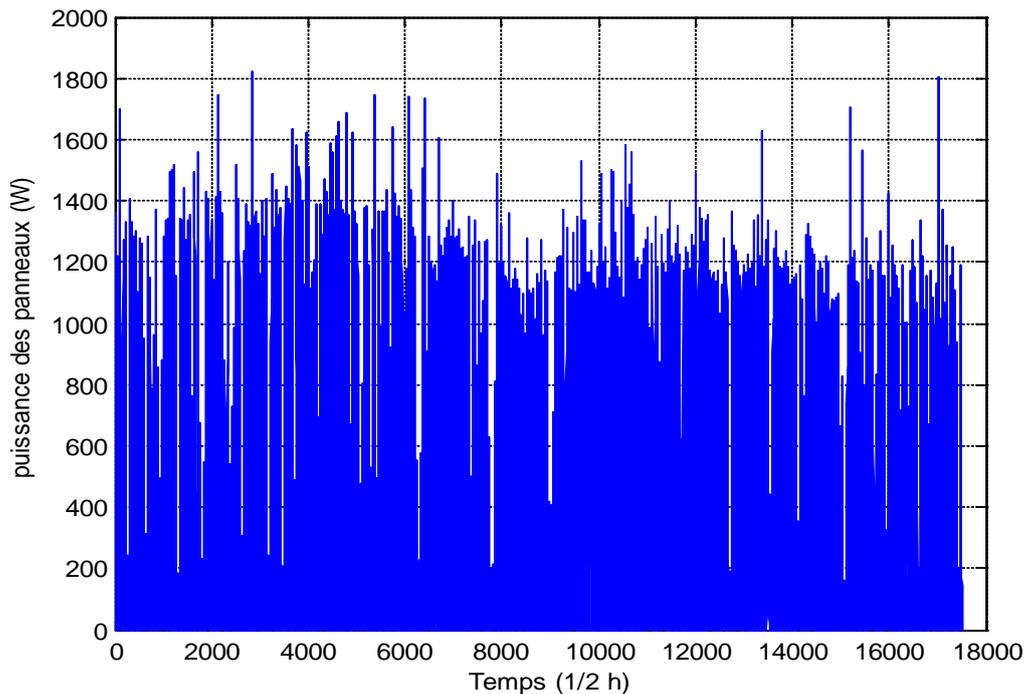


Figure IV.19 : Energie produit par les panneaux

La différence de puissance entre la puissance générée par les panneaux et la puissance consommée par la charge est donnée par la figure VI.20. Lorsque cet écart est positif les panneaux alimentent la charge et chargent les batteries simultanément, Lorsque l'écart est égale zéro les panneaux alimentent la charge et si l'écart négatif la charge sera alimentée par les batteries

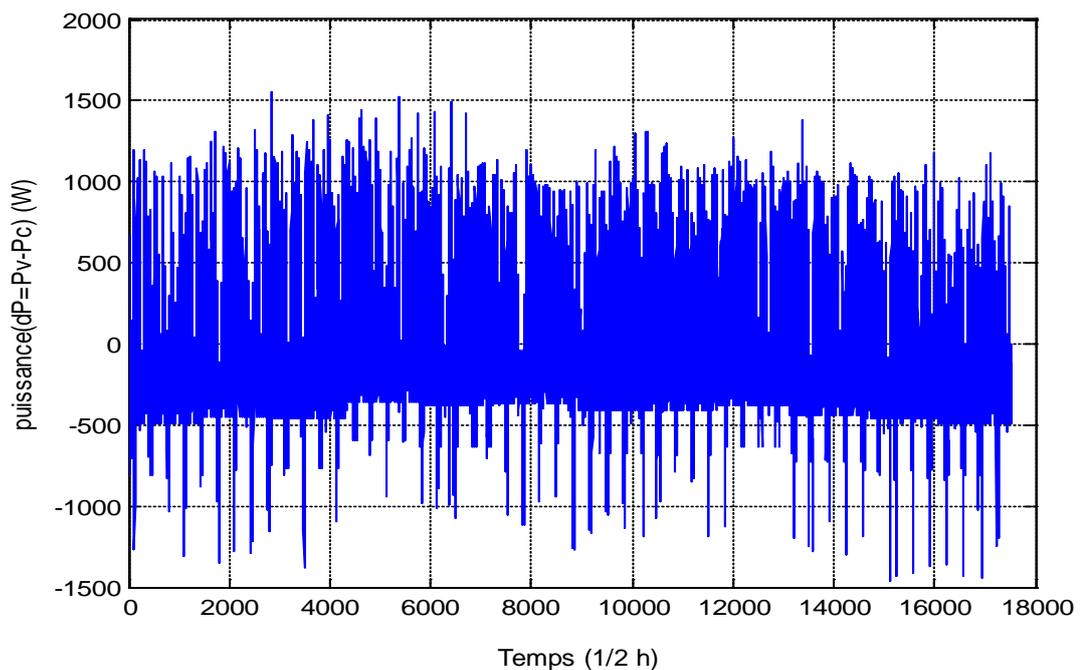


Figure IV.20 : la différence entre l'énergie produit par les panneaux et l'énergie de la charge

Les performances des systèmes évalués sont fortement dépendantes du contact de contrôleur flou le figure IV. 21 et IV. 22 représente les contacteurs C1, C2 et C3

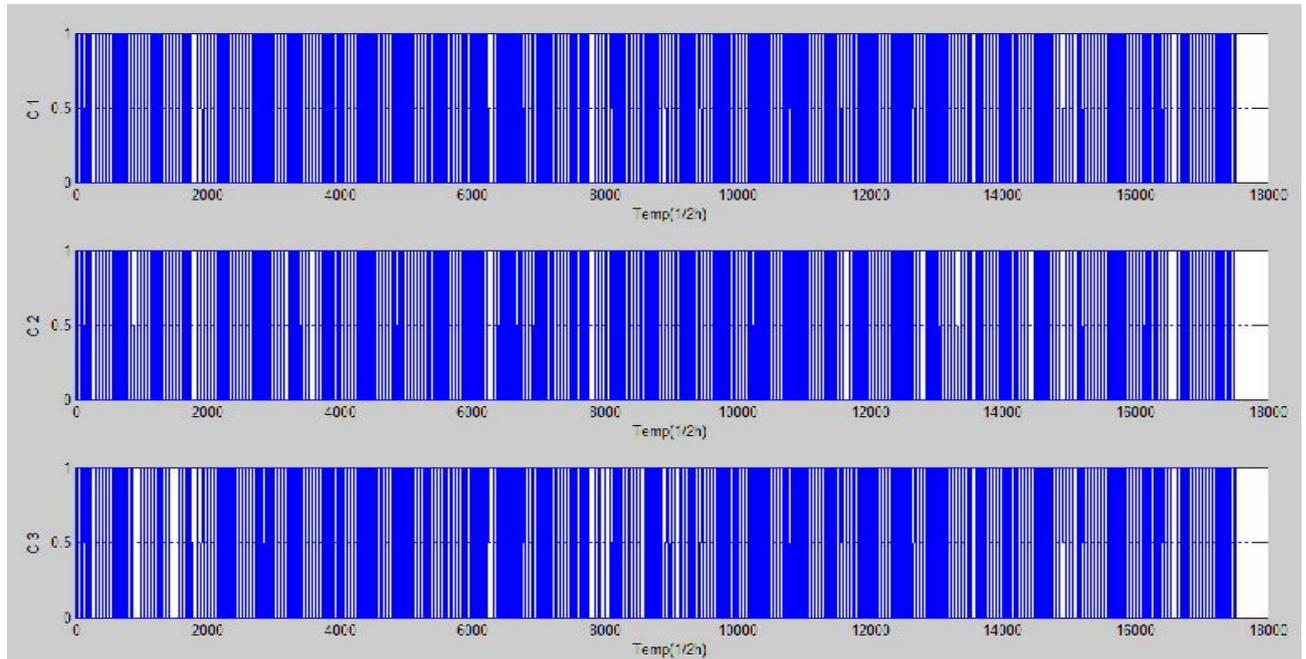


Figure IV.21 : le fonctionnement des les trois contacteurs de contrôleur durant une année

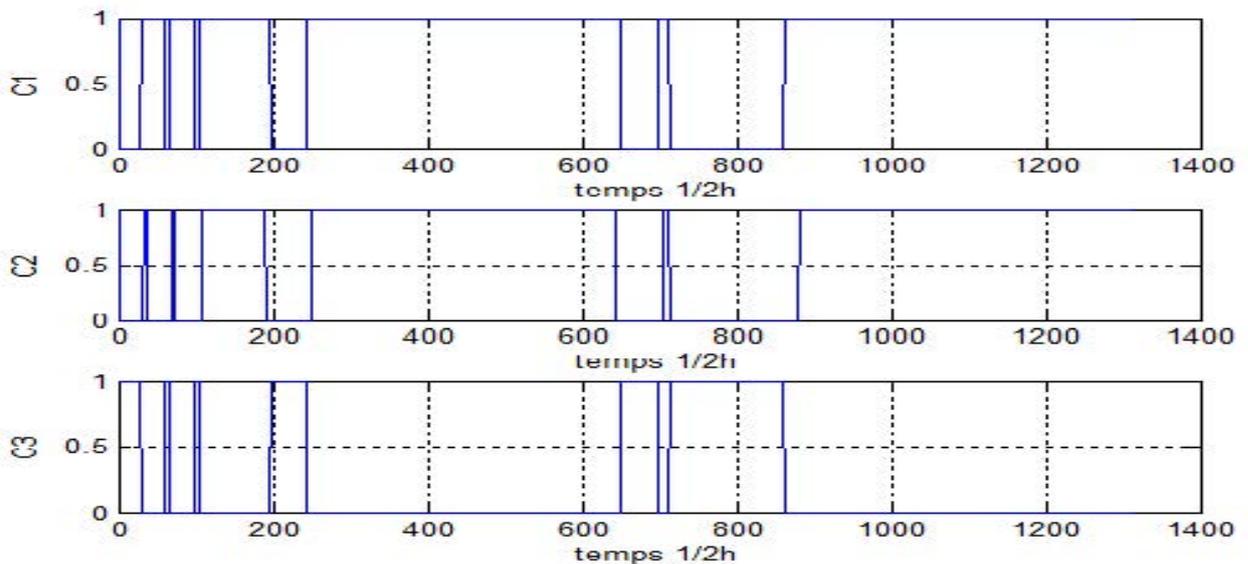


Figure IV.22 : le fonctionnement des les trois contacteurs de contrôleur durant un mois

L'évolution annuelle de batterie celle-ci au cours de toute l'année est donnée sur la figure VI.23. Cette courbe est issue de la simulation pour des cycles bien définis : départ à SOC=100%, puis décharge jusqu'à 20% puis de nouveau recharger jusqu'à a SOC=100%  
 On constate que l'état de charge de la batterie est varié dans l'intervalle limité par les seuils .max et min de la batterie

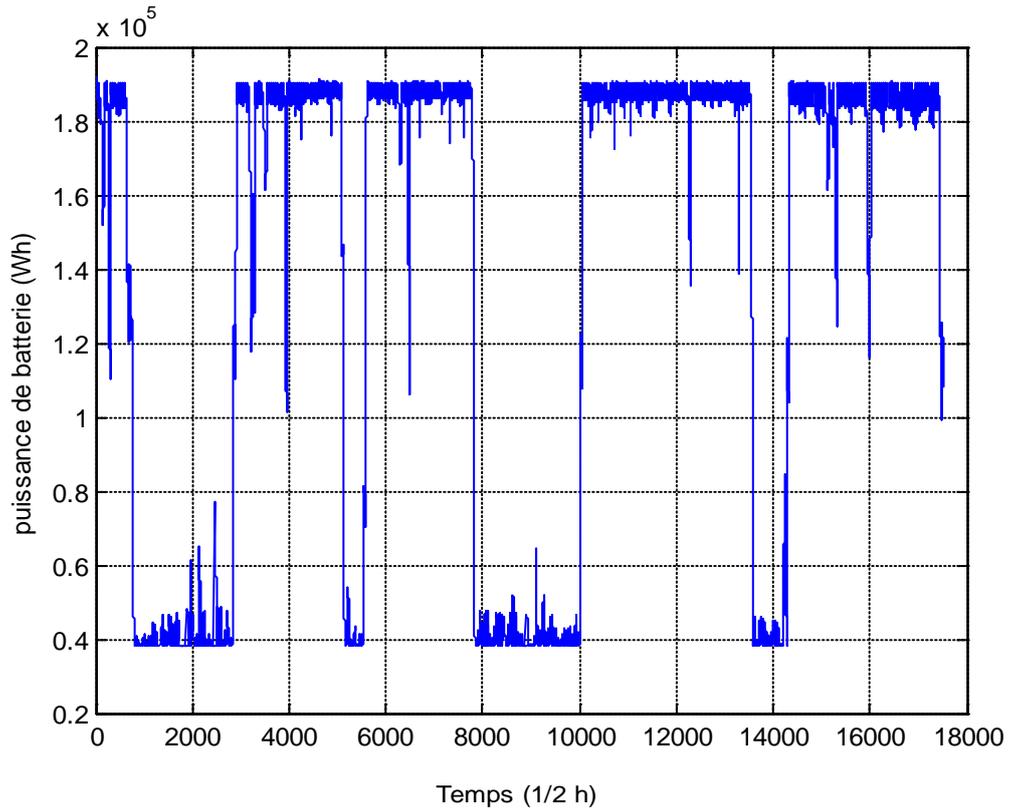


Figure IV.23 : l'énergie stocker dans les batteries

La puissance consommée par la charge présentée sur la figure VI.24

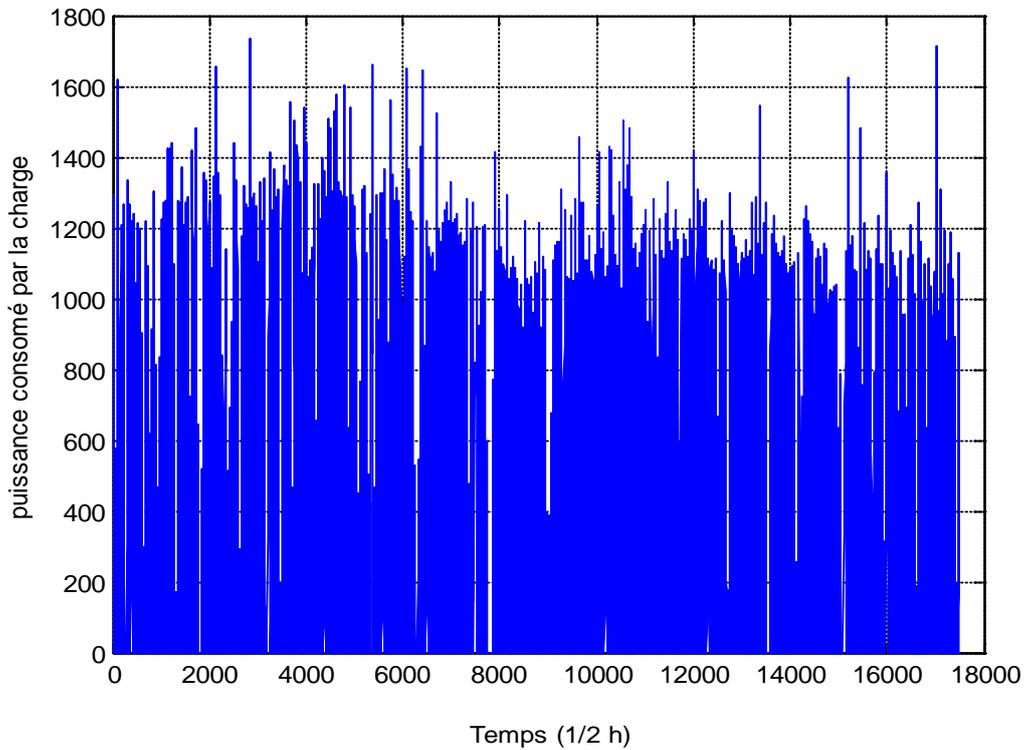
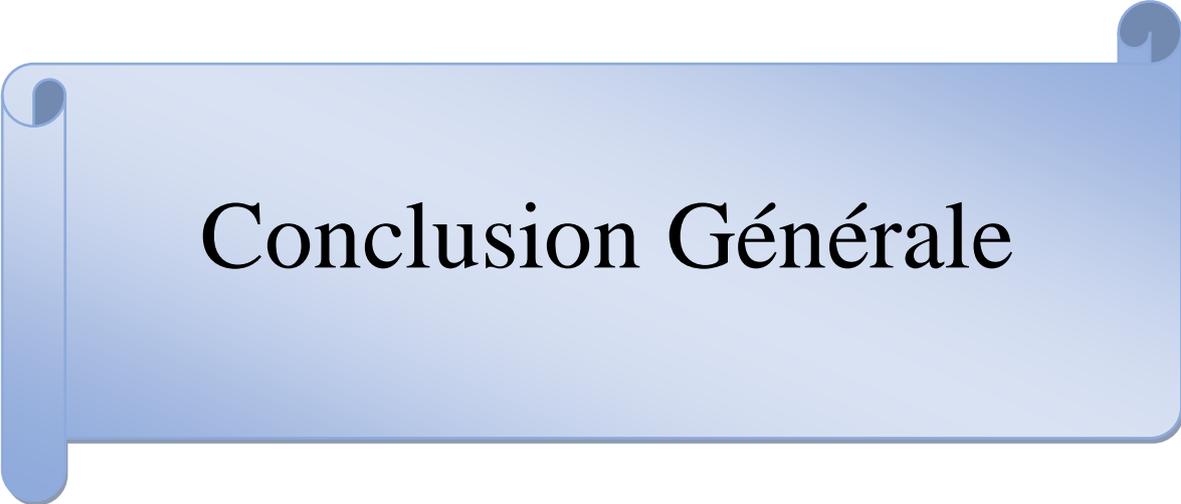


Figure IV.24 : la puissance des panneaux consommé par la charge

**IV.6 Conclusion**

Dans ce dernier chapitre nous avons présenté les essais de simulation du système d'alimentation global. Les essais de simulation sont appliqués sur le système dimensionné comportant les panneaux solaires, les batteries de stockage, les modules d'adaptation et le profil de consommation.

La gestion de la puissance partagée entre les sources d'énergie et le profil de consommation est contrôlée par un contrôleur flou.



# Conclusion Générale

### Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire, concerne les systèmes de génération d'énergie électrique pour un fonctionnement autonome.

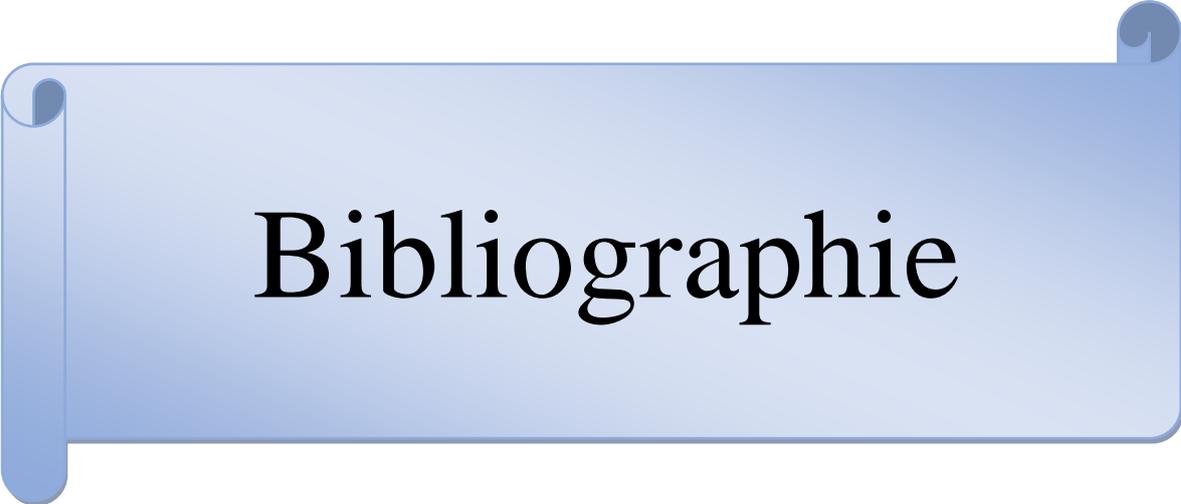
Nous sommes arrivés à comprendre l'intérêt des énergies renouvelables pour l'électrification des sites isolés, la stratégie de contrôle choisie a travers cette étude permet l'implémentation sur un plan réel.

L'utilisation des énergies renouvelables comporte des avantages sur le plan financier et environnemental.

L'utilisation de source d'énergie a une incidence profitable sur la production d'énergie, en termes de coût et de disponibilité étant étendu que le bilan <<écologique>>est supposé a priori favorable.

Le modèle de simulation développé peut être utilisé pour dimensionner le système pour l'alimentation des différentes charges pour n'importe quelle localité spécifiée,

En résumé, on peut dire qu'un avec une installation photovoltaïque nous pouvons alimenter les charges électriques sans interruption avec une bonne qualité de tension et minimiser la consommation en combustible fossile.



# Bibliographie

## Bibliographie

---

- [1] World Energy Council. <http://www.worldenergy.org>
- [2] Agence Nationale Pour la Gestion des Déchets Radioactifs. <http://www.andra.fr/>
- [3] Survey Of Energy Resources. <http://www.worldenergy.org>
- [4] Dossier thématique et bibliographie sélective réalisés par la Bibliothèque municipale de Chalon-sur-Saône ,Mars 2012 .<http://bm-chalon.fr/>
- [5] CHRISTOPHE DARRAS, « Modélisation de systèmes hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE (ANR PAN-H) », thèse de docteur DE l'université de corse.mai 2011
- [6] Techno-Science.net. <http://www.techno-science.net>
- [7] dictionnaire environnement. <http://www.dictionnaire-environnement.com>
- [8] énergies renouvelables .<http://www.energies-renouvelables.org>
- [9] Marianne Lossec « Systèmes multi sources de récupération d'énergie dans l'environnement humain: modélisation et optimisation du dimensionnement ». Thèse se docteur. L'école normale supérieure de Cachan, 2011.
- [10] TPE Panneaux solaires, <http://solar-project.pagesperso-orange.fr/historique.htm>
- [11] MORNAY Thomas Sup D, VERNAY Alexis Sup D, VOLLE Marion Sup D « Les cellules photovoltaïques ». Classes préparatoires CPE Institution des Chartreux 2004-2005.
- [12] Helali Kamelia « modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative ».Mémoire de magister université Mouloud Mammeri de Tizzi ouzou,2012.
- [13] Vincent Benamara « Étude et simulation d'un panneau solaire raccorde au réseau avec périphérique de stockage ». Mémoire présenté a l'école se technologie supérieur université de Québec, 2012
- [14] Module de formation des enseignants sur la modélisation des panneaux photovoltaïques sous MATLAB. 27 Jul 2012
- [15] Reinout Vader« Energie Sans Limites ». La Technique. De société victron energie (Blue Power), May 2007.
- [16] Pascal Boulanger et Daniel Desmettre, « L'énergie Solaire ». Genec Direction de la recherche technologique CEA/Cadarache 2000-2001.
- [17] G. Maléjacq professeur « Fiche de cours n°13 Les accumulateurs ». Sciences de l'Ingénieur.
- [18] IZZO Pascal « Notion sur les accumulateurs au plomb-acide».
- [19] LAYADI Toufik Madani1, MOSTEFAI Mohammed1, CHAMPENOIS Gérard«Sizing a Hybrid Power System Using a Dynamic Simulation». Journée des Doctorants.  
1Université FARHET ABBAS Sétif (Laboratoire d'Automatique de Sétif LAS), 2Université de Poitiers (Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes LIAS), 25 Avril 2012.
- [20] Sabeur elkosantini « Introduction à la logique floue:Les concepts fondamentaux et applications ». Sciences de l'Ingénieur. 2010-2011
- [21] Mr. DJAABOUB Salim « Logique floue et SMA : Aide à la décision floue dans les systèmes multi-agents ». Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en informatique, 2009
- [22] « Introduction à la logique floue. Application à la commande floue»  
[http://auto.polytech.univtours.fr/automatique/AUA/ressources/Introduction\\_logique\\_floue.ppt](http://auto.polytech.univtours.fr/automatique/AUA/ressources/Introduction_logique_floue.ppt) [23] Franck Dernoncourt « Introduction \_a La Logique Floue » Paris, Avril 2011