

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



Université Abderrahmane Mira. Bejaia
Faculté de la Technologie
Département de Génie Electrique



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique

Option : Energie Renouvelable

Thème

**Etude et implémentation d'une stratégie de
contrôle d'un système hybride
(Photovoltaïque Diesel)**

Présenté par :

ALLAOUA Ferhat

ALBANE Amirouche

Encadré par :

M. ADOUANE

M^{me} Dj. REKIOUA

Résumé

Cette étude présente un concept d'une stratégie de commande pour un système hybride (Photovoltaïque/Diesel). Le travail montre les avantages et les inconvénients des composants du système et un dimensionnement d'un système hybride, en proposant une solution pour le contrôle et la gestion d'énergie, vue de sécuriser la batterie d'une part et assurer une alimentation continue de l'installation d'autre part, l'intervention d'une source complémentaire d'énergie, tel qu'un groupe électrogène, s'avère nécessaire. La stratégie de contrôle sera très importante pour la conception et l'exécution du système hybride, manquer des stratégies appropriées de commande mène à la conception inexacte et donc le système hybride ne peut pas être employé pour l'unité soutenable d'énergie. L'étude donnera tous les aspects importants pour une stratégie de contrôle pour la conception du système hybride (Photovoltaïque/Diesel).

Mots clé : système hybride, système photovoltaïque, dimensionnement, microcontrôleur
Stratégie de fonctionnement.

Abstract

This study presents a concept of a strategy of order for hybrid system (photovoltaic /Diesel). This work shows the advantages and the disadvantages of the components of the system and a dimensioning of a hybrid system, by proposing a solution for the control and the management of energy, sight to make safe the battery on the one hand and to ensure a continuous food of the installation on the other hand, the intervention of a source complementary to energy, such as a power generating unit, proves to be necessary. The strategy of control will be very significant for the design and the execution of the hybrid system, to miss suitable strategies of order leads to the inaccurate design and thus the hybrid system cannot be employed for the bearable unit of energy. The study will give all the significant aspects for a strategy of control for the systems design hybrid (Photovoltaic /Diesel).

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I : Energie Photovoltaïque	
I-1-Introduction	3
I-1- Effet photovoltaïque	3
I-3-Principe de fonctionnement	4
I-4-Technologie de la cellule photovoltaïque	5
I-5-Caractéristiques de la cellule photovoltaïque	6
I-5-1-Influence de la résistance série et shunt	9
I-5-2-Influence de l'ensoleillement et de la température	10
I-6-Module photovoltaïque	12
I-7- Différents branchements des panneaux	13
I-7-1- Branchement en série	13
I-7-2- Branchement en dérivation	14
I-8-Conclusion	14
Chapitre II : Présentation d'un Système hybride	
II-1-Introduction	16
II-2-Définition du système hybride	16
II-3- Différents types des systèmes hybrides photovoltaïque	16
II-3-1-Système hybride photovoltaïque/stockage.....	16
II-3-2-Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage	16
II-3-3-Système hybride photovoltaïque/source conventionnelle (groupe électrogène)	16
II-4-Les composants du système hybride	17
II-4-1-Générateur photovoltaïque	17
II-4-1-1-Caractéristiques d'un module	18
II-4-1-2-Application	18
II-4-2- Batteries de stockage	19
II-4-2-1- Caractéristiques principales d'une batterie	19
II-4-2-2-Types d'accumulateurs	20
II-4-2-2-1- Accumulateurs au plomb acide	20
II-4-2-2-2- Accumulateurs au Nickel- cadmium	22
II-4-2-2-3-Influence de la température	23

Sommaire

II-4-3- Groupe Electrogène	23
II-4-3-1-Généralités	23
II-4 3-2- Avantages et Inconvénients du Groupe électrogène	25
a)-Avantages.....	25
b)-Inconvénients.....	25
II-5- Différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides	25
II-5-1-Système hybride PV- Diesel série (à bus à CC)	25
II-5-2-Système hybride PV - Diesel commuté	25
II-5-3-Système hybride PV - Diesel parallèle (à bus cc /ca)	27
II-6-Conclusion.....	28
Chapitre III : Stratégie de fonctionnement et le dimensionnement d'un système hybride	
III-1-Introduction	29
III-2-Dimensionnement d'un système hybride	29
III-2-1-Présentation du site	29
III-2-2-Potentiel solaire à Ghardaïa	30
III-2-3-Estimation des besoins en électricité (Wh/j)	31
III-2-3-1-Caractérisation de la charge	32
III-2-3-2-Durée de l'ensoleillement	33
III-2-3-3-Analyse du potentiel et la demande en énergie	34
III-2-4-Dimensionnement du champ photovoltaïque	34
III-2-5- Capacité du Système de Stockage	35
III-2-6-Câblage	35
III-2-7-Dimensionnement du groupe électrogène.....	36
III-2-8-Dimensionnement du régulateur	37
III-2-9-Dimensionnement de l'onduleur	37
III-2-10-Application	38
III-3-Application du logiciel HOMER pour l'optimisation d'énergie	39
III-3-1-Présentation de l'outil de simulation.....	39
III-3-2-Construction du schéma de conception du système hybride.....	40
III-3-3-Simulation.....	40
III-3-4-Résultats de simulation.....	41
III-4-Stratégie de fonctionnement	42
III-5-Conclusion	47

Sommaire

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride	
IV-1-Introduction	49
IV-2-Configuration du système hybride	49
IV-3- Stratégie de contrôle	50
IV-4-Programmation et compilation du microcontrôleur PIC 16F877A	51
IV-4-1-Structure d'un PIC	51
IV-4-2-Microcontrôleur	52
IV-4-3-Compilation dans le logiciel PIC CCS	53
IV-4-3-1-Présentation du logiciel	53
IV-4-3-2-Compilation	53
IV-5-Simulation	54
IV-6-Résultat de la simulation	55
IV-7-Implémentation du contrôleur et les composants du système	59
IV-8-Conclusion	61
Conclusion Générale	62
Bibliographie	63
Annexe	66

Sommaire

Listes des figures

Figure I-1 : Répartition spectrale du rayonnement solaire	3
Figure I-2 : Schéma synthétique de l'effet photovoltaïque	4
Figure I-3 : Effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule	4
Figure I-4 : Différentes techniques des cellules photovoltaïques	5
Figure I-5 : Cellule solaire monocristalline	5
Figure I-6 : Cellule solaire poly cristalline	5
Figure I-7 : Cellule solaire amorphe	6
Figure I-8 : Schéma de circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque idéal	7
Figure I-9 : Construction de la courbe de pile solaire et la courbe de diode	8
Figure I-10 : Caractéristique $I=f(V)$	9
Figure I-11 : Influence de la résistance série sur la caractéristique $I_{pv}-V_{pv}$	10
Figure I-12 : Influence de la résistance shunt sur la caractéristique $I_{pv}-V_{pv}$	10
Figure I-13 : Influence de l'ensoleillement sur les courbes I-V.....	11
Figure I-14 : Influence de l'ensoleillement sur les courbes P-V.....	11
Figure I-15 : Influence de la température sur la courbe I-V	12
Figure I-16 : Influence de la température sur la courbe P-V	12
Figure I-17 : Cellule photovoltaïque, le module, et les tableaux	13
Figure II-1 : Structure d'un générateur photovoltaïque.....	17
Figure II-2 : Construction d'une batterie monobloc	20
Figure II-3 : Courbes caractéristiques de décharge d'une batterie de type VARTA-OPzS.....	21
Figure II-4 : Schéma fonctionnelle d'un Groupe Electrogène	24
Figure II-5 : Système hybride PV - Diesel série	26
Figure II-6 : Système hybride PV - Diesel commuté	27
Figure II-7 : Système hybride PV - Diesel parallèle	28
Figure III-1 : Emplacement géographique du site	30
Figure III-4 : Diagramme de la variation d'irradiation annuelle a Ghardaïa	31
Figure III-2 : Profil de charge pour un foyer à Ghardaïa	33
Figure III-3 : Durée d'ensoleillement	33
Figure III-5 : Abaque de détermination des sections en courant continu	36
Figure III-6 : Groupe électrogène	37
Figure III-7 : Schéma des panneaux mis en parallèles	38
Figure III-8 : Batterie	39
Figure III-9 : Configuration relatif de système hybride	40
Figure III-10 : Variantes proposées par HOMER	41
Figure III-11 : Diagramme de la puissance moyenne mensuelle des sources du système hybride	42
Figure III-12 : Configuration du système	43
Figure III-13: Algorithme de fonctionnement	44
Figure III-14 : Configuration du système.....	45
Figure III-15 : Algorithme de fonctionnement	45
Figure III-16 : Diagramme des priorités des charges	46
Figure IV- 1 : Configuration du système	47
Figure IV-2 : Schéma synoptique globale du système hybride.....	48

Figure IV-3 : Organigramme de la stratégie de contrôle	49
Figure IV- 4 : Architecture externe du PIC16F877A	51
Figure IV- 5 : Fenêtre du logiciel de compilation logiciel PIC CCS	54
Figure IV- 6 : Fenêtre du logiciel de simulation Proteus ISIS	55
Figure IV-7 : Simulation pour le SOC<98%	56
Figure IV-8 : Simulation pour Ppv>Pch et SOC>98%	56
Figure IV-9 : Simulation pour Ppv<Pch et SOC>60%	57
Figure IV-10 : Simulation pour Ppv<Pch et SOC<60%	58
Figure IV-11 : Simulation pour Es<Esmin et SOC >40%	58
Figure IV-12 : Simulation pour Es<Esmin et SOC<40%	59
Fig IV-13 : Module électronique de gestion	59
Fig IV-14 : Armoire pour le branchement des câbles	60
Fig IV-15 : Les panneaux (panneau 130Wc et un voltage de 24V).....	60
Fig IV-16 : Le générateur diesel et l'emplacement des batteries.....	61

Liste des Tableaux

Tableau III-1: Valeurs de l'irradiation globale journalière moyenne mensuelle estimées sur un plan incliné (32°) orienté vers le sud	30
Tableau III-2 : Estimation de l'énergie journalière consommée par jour	32
Tableau III-3 : Production d'énergie sur une année	41
Tableau III-4 : Energie annuelle consommée sur une année	41

Introduction Générale

Introduction

L'énergie est au centre de l'économie pour tous les pays et à la base de toute activité humaine, ces sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire une demande toujours croissante. Les pays développés sont ainsi passés du bois au charbon, à des hydrocarbures plus avancés, à l'hydroélectricité, enfin au nucléaire. Cependant, les réserves de combustibles fossiles et nucléaires sont limitées. En plus, l'utilisation des combustibles fossiles est responsable des pluies acides et du réchauffement de la planète, et l'exploitation de l'énergie nucléaire présente des risques d'accidents graves sans parler de ceux induits par la gestion des déchets résultants dont la dangerosité radioactive peut durer plusieurs milliers d'années.[MOHA2007]

Il est évident que la dynamique énergétique du 21^{ème} siècle rassemble de nouveaux acteurs issus du secteur des énergies renouvelables, assurant ainsi un développement durable et limitant le danger des énergies fossiles sur l'environnement. L'énergie éolienne, solaire, thermique et géothermique, marémotrice, hydroélectrique de petite envergure, la biomasse et la cogénération sont autant de forme d'exploitation du potentiel des énergies renouvelables éparpillées sur différents sites.

Ces énergies sont exploitées en mono source ou en hybride et en mode autonome ou connectés au réseau. Vu la dépendance de leur production des conditions météorologiques, ces sources sont intermittentes. Ainsi, l'association de plusieurs sources (mode hybride) s'avère utile pour couvrir les saisons de l'année.

Afin d'assurer l'équilibre production-consommation, des systèmes de stockage d'énergie sont nécessaires. De plus, des sources d'énergie complémentaires telles que les groupes électrogènes sont sollicités en cas de manque d'énergies renouvelables. L'alimentation d'une installation par plusieurs sources doit respecter une architecture de connexion et une stratégie de contrôle convenable de la production des sources vis-à-vis de la consommation permet de couvrir le besoin énergétique de l'installation et garantir une exploitation optimale de l'énergie produite.

Dans ce contexte, on s'intéresse au système hybride photovoltaïque –diesel autonome c'est un système qui allie l'énergie photovoltaïque et un groupe électrogène d'un moteur Diesel car c'est un système qui peut convenir pour une installation non connectée au réseau.

Le but de notre travail est de développer une stratégie de contrôle qui doit gérer le système à fin d'optimiser l'énergie et de protéger les composants du système.

Le premier chapitre, on rappelle brièvement le principe de la conversion de l'énergie photovoltaïque ainsi les caractéristique d'un générateur photovoltaïque.

Le second chapitre porte sur une description d'un système hybride de production d'énergie électrique ainsi les avantages et inconvénients de tous les composants du système.

Le troisième chapitre nous représentons le dimensionnement d'un système hybride et les différentes stratégies de fonctionnement.

Introduction Générale

Pour le quatrième chapitre sera consacré à implémenter une stratégie de contrôle pour la gestion d'un système hybride.

Enfin, une conclusion générale résume le travail développé dans cette étude.

Chapitre I : Energie

Photovoltaïque

I-1-Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme *photovoltaïque* peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.

Dans ce chapitre on commence par rappeler brièvement le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique reposant sur l'effet photoélectrique des semi-conducteurs, ainsi les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque.

I-2- Effet photovoltaïque [MOHA 2007]

Le rayonnement solaire est constitué des photons transportant chacun une énergie E_{ph} qui répond, elle même, à la relation suivante :

$$E_{ph} = h \frac{c}{\lambda} \quad (I-1)$$

Où E_{ph} représente la quantité d'énergie, λ la longueur d'onde, h la constante de Planck et C la vitesse de la lumière.

D'après la relation, cette énergie est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Le flux d'énergie solaire est alors transmis sous forme de rayonnements électromagnétiques dont les longueurs d'ondes sont assez différentes du corps noir dans l'espace, mais encore plus sur la terre telle quelle le montre la figure (I-1).

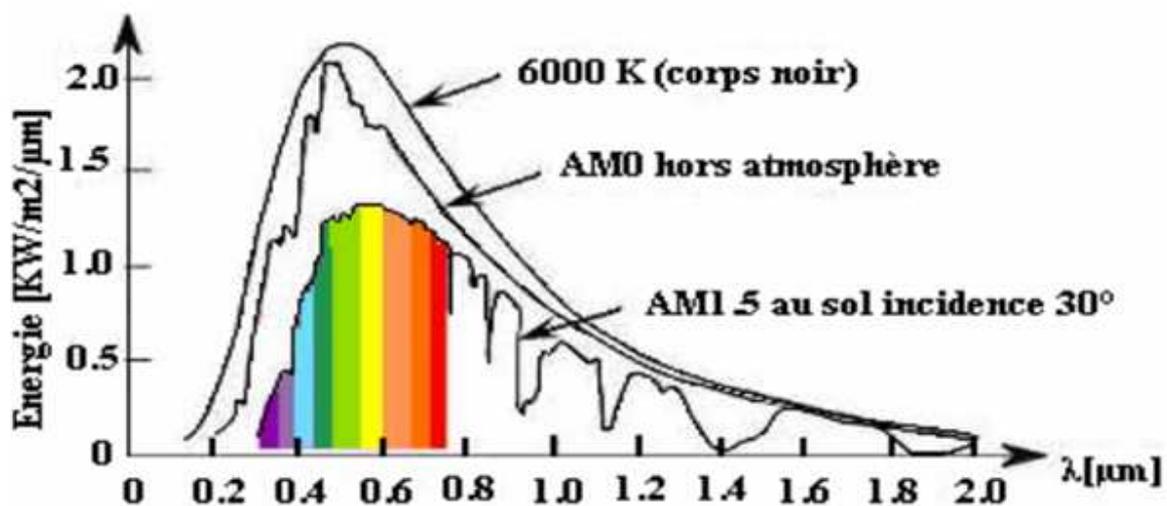


Fig I-1 : Répartition spectrale du rayonnement solaire.

Dans les conditions AM0 : hors atmosphère à haute altitude.

Dans les conditions AM2 : pour l'atmosphère terrestre, le soleil étant à 30° sur l'horizon.

Chapitre I : Energie Photovoltaïque

Il est à remarquer que le spectre de l'énergie solaire en atmosphère terrestre est décalé vers le rouge et l'infrarouge par rapport au spectre hors atmosphère.

Nous observons la figure (I-1), les longueurs d'ondes du rayonnement solaire terrestre sont comprises entre $0,2 \mu\text{m}$ (ultraviolet) et $0,4 \mu\text{m}$ (infrarouge) avec un maximum d'énergie pour $0,5 \mu\text{m}$. La figure montre aussi que 97,5% de cette énergie est comprise entre $0,2 \mu\text{m}$ et $2,5 \mu\text{m}$, et principalement, entre $0,4 \mu\text{m}$ et $0,78 \mu\text{m}$ qui correspond au visible. Les capteurs d'énergie solaire, qui correspondent aux cellules solaires devront donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photons et les restituer sous forme d'électrons.

I-3-Principe de fonctionnement

L'énergie solaire photovoltaïque est l'énergie obtenue par la conversion de la lumière en électricité. Cette énergie est obtenue grâce au phénomène physique appelé l'effet photovoltaïque. Rapporté par Edmond Becquerel en 1839, le principe est assez simple et consiste en l'émergence d'une différence de potentiel aux extrémités d'une structure de matériel semi-conducteur, produit par l'absorption de la lumière [BERN 2009].

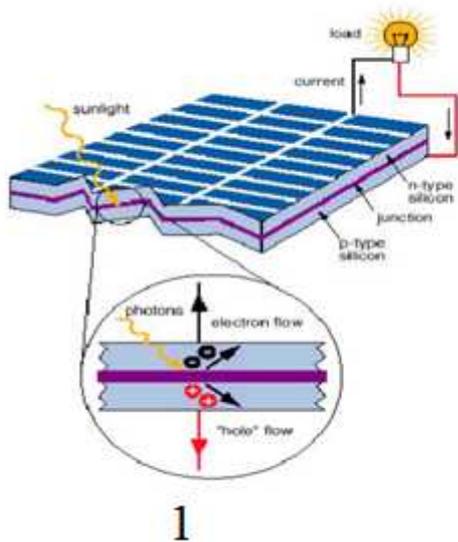


Fig I-2: Schéma synthétique de l'effet photovoltaïque

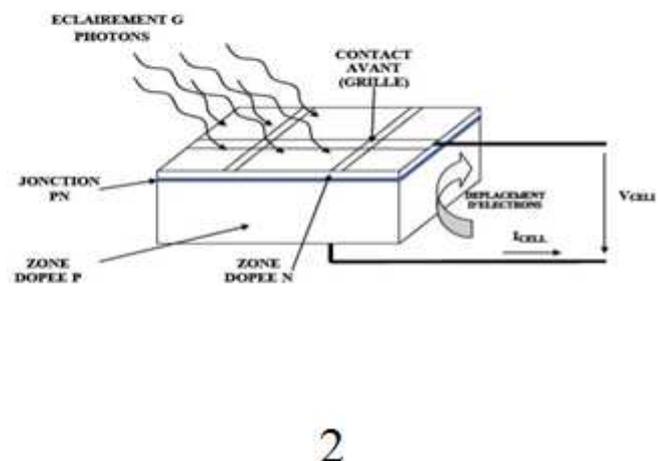


Fig I-3: Effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule

Plus précisément, comme le montre la figure (I-2), l'effet Photovoltaïque est propre à la cellule (unité fondamentale de conversion). Dans le cas des panneaux photovoltaïques, les cellules sont réalisées à partir de deux couches de silicium, une dopée P (en général dopée au bore) et l'autre dopée N (en général dopée au phosphore). Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. La tension ainsi générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule [CLEM2006].

I-4-Technologie de la cellule photovoltaïque

Il existe différentes technologies constituant les cellules photovoltaïques illustrées par la Figure (I-4) :

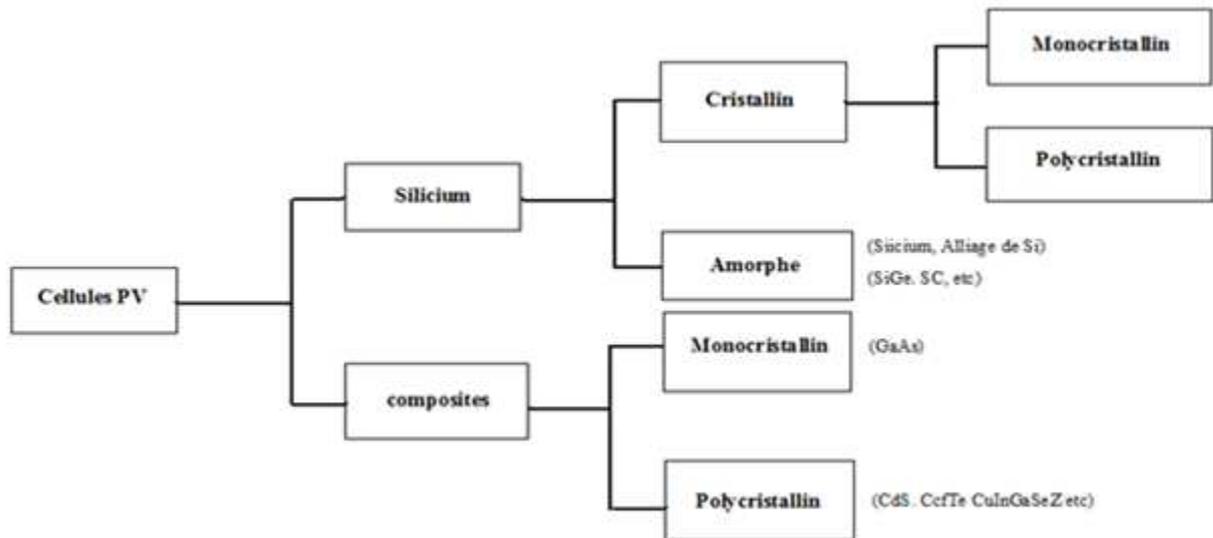


Fig I-4: Différentes techniques de cellules photovoltaïques.

Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à base de silicium à cause de sa disponibilité et son faible coût de production. Les cellules PV au silicium cristallin (mono ou multi) représentent la majorité de la production mondiale (respectivement 29 % et 51% de la production mondiale) [ABAD 2011].

On distingue les trois catégories principales qui existent sur le marché [CLEM 2006] :

➤ Silicium monocristallin

Cher à fabriquer et coûteux en énergie, il présente un bon rendement à fort et moyen éclairage (à partir de 100W/m²). Tous usages en extérieur de forte et moyenne puissance.

Rendement typique : 12 à 16%. Plus sensible dans l'infrarouge. Couleur : bleu marine uniforme. Rendement record : 32%.



Fig I-5 : Cellule solaire monocristalline.

➤ Silicium polycristallin ou multicristallin

Moins onéreux que le monocristallin et aussi un peu moins performant, il est utilisé essentiellement aux éclairages modérés (à partir de 200W/m²). Rendement typique : 11 à

Chapitre I : Energie Photovoltaïque

14%. Technologie la plus utilisée actuellement car c'est un bon compromis entre prix et performance. Rendement record : 19%.

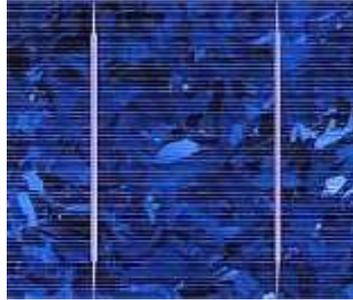


Fig I -6 : Cellule solaire polycristalline

➤ Silicium amorphe (aSi)

Dans la technologie amorphe, les atomes sont complètement désordonnés contrairement aux technologies cristallines. Il existe des « bras morts », c'est à dire que certains électrons restent seuls. On ajoute alors des atomes d'hydrogène pour créer des liaisons. Les rendements typiques (5 à 7%) sont beaucoup plus bas qu'avec du silicium cristallin.

Plus sensible dans le visible et efficace même sous faible ensoleillement (<200W/m²) ou si la cellule est partiellement ombragée.

Utilisation et applications de petites puissances et de grandes surfaces. Couleur : noir uniforme / brun foncé. Rendement record : 13%. Bon comportement en température. En début de vie, le rendement oscille et la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.

On parle aussi de silicium amorphe en couche mince, car on dépose une couche de silicium liquide d'1µm environ sur un substrat (verre). Il peut y avoir plusieurs couches pour absorber les différentes couleurs du spectre solaire : par exemple une couche pour le rouge, une pour le vert, une pour le bleu. Les rendements sont ainsi nettement améliorés.

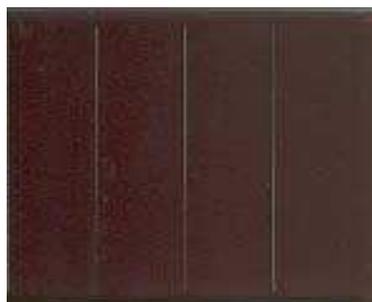


Fig I -7 : Cellule solaire amorphe

I-5- Caractéristique de la cellule photovoltaïque

La caractéristique de la diode est définie comme l'équation (I-2).

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{Kt}{qv}} - 1 \right) \quad (\text{I-2})$$

Chapitre I : Energie Photovoltaïque

Avec :

I_d : courant de diode [A]

I_0 : courant d'obscurité [A]

q : charge élémentaire [$1.6 \cdot 10^{-19}$ coul.]

V : tension [V]

k : constante de Boltzmann [$8.65 \cdot 10^{-5}$ eV / K]

T : la température de la diode [K]

Lorsque la lumière frappe une cellule solaire, des porteurs de charge libres sont créés en raison d'effet photovoltaïque, ceci permet au courant de circuler à travers une charge connectée. Le photo courant qui est généré en interne dans une cellule solaire, il est proportionnel à l'intensité du rayonnement.

Le processus mathématique d'une pile solaire idéale exposée mène à l'équation suivante :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (I-3)$$

On remplace l'équation (I-2) dans l'équation (I-3) on obtient:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{qv}{kt}} - 1 \right) \quad (I-4)$$

Avec :

I_{pv} : courant photovoltaïque [A]

I_{ph} : photo courant [A]

I_0 : courant d'obscurité [A]

q : charge élémentaire [$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$]

V : la tension [V]

k : constante de Boltzmann [$8,65 \cdot 10^{-5}$ eV / K]

T : la température de la diode [K]

Dans une expérience imaginaire, la courbe caractéristique courant-tension (I-V) pour un certains incidents de rayonnement seront construits dans les Figures (I-8) et (I-9).

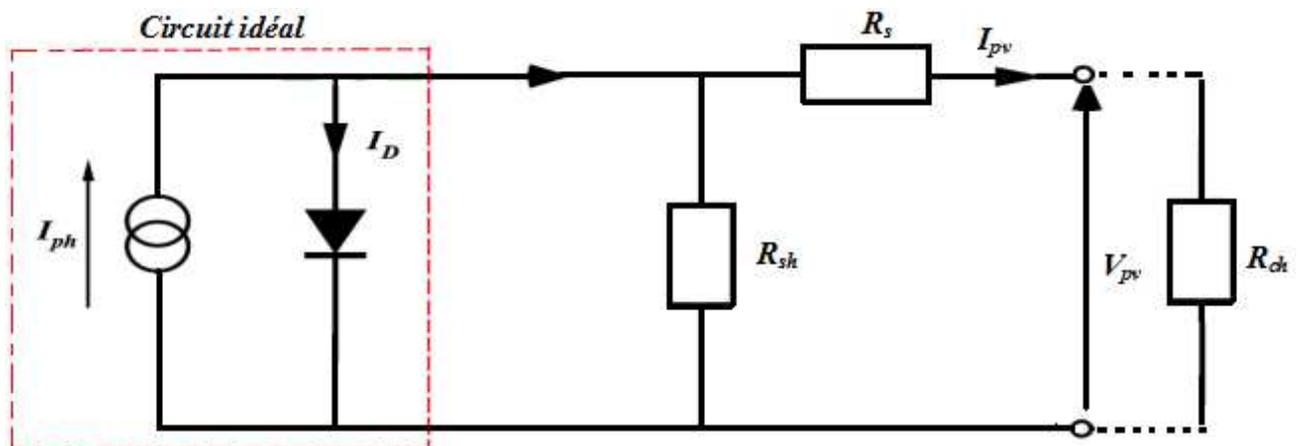


Fig I-8: Schéma de circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque idéal.

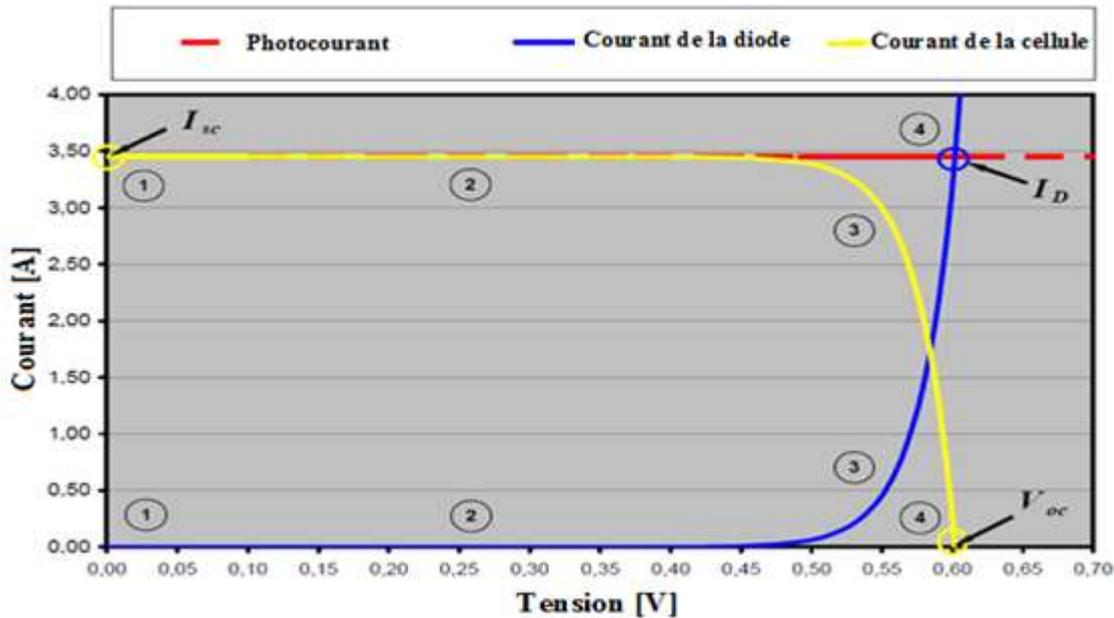


Fig I-9 : Construction de la courbe de pile solaire et la courbe de diode.

Dans le circuit idéal connecté à une charge, lorsque les bornes sont court-circuitées ($R_{charge} = 0$), la tension de sortie et la tension aux bornes de la diode sont égales à zéro. Selon l'équation (I-2). Quand $V=0$, aucune identification en cours (point 1 dans la figure (I-9)) donc l'ensemble de photos courants I_{ph} générés à partir des flux de rayonnement à la sortie.

Ainsi le courant de cellule à son point maximum se repère à la valeur de court-circuit I_{sc} .

$$I_{sc} = I_{cell} = I_{ph} \quad (I-5)$$

Si la résistance de charge augmente, la tension de la cellule solaire augmente aussi alors que le courant reste constant, jusqu'à une certaine valeur de tension, le courant circulant à travers la diode interne reste négligeable, le courant de sortie ainsi continue de correspondre au photo courant (point 2 de la figure (I-9)), jusqu'à ce que le seuil de tension de la diode est dépassé, après la résistance de charge est en outre augmentée, une proportion augmente rapidement le photo courant qui s'écoule à travers la diode. Ce courant mène à la perte de puissance dissipée dans la diode interne correspondant à une zone entre la courbe photo courant et la courbe de courant cellule. Puisque la somme de la charge et le courant de diode doivent être égales au photo courant qui est constant, le courant de sortie diminue exactement à ce moment (point 3 de la figure (I-9)).

Pour une résistance de charge infiniment grande (circuit ouvert), le courant de sortie est alors nul ($I_{cell} = 0$) et donc les flux de photo courant entiers traversent la diode interne (point de 4 dans Figure (I-9)). La tension en circuit ouvert (V_{oc}) peut donc être dérivée de nouveau à partir de l'équation (I-2).

$$V_{oc} = \left(\frac{kT}{q}\right) \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0+1}\right) \quad (I-6)$$

Où:

Chapitre I : Energie Photovoltaïque

q = valeur de la charge d'électrons [$1,6 \cdot 10^{-19}$ Coul]

k = constante de Boltzmann [$8,65 \cdot 10^{-5}$ eV / K]

T = température absolue [K]

La quantité de courant d'obscurité (I_0) définit le prétendu courant de saturation d'une diode. Il joue un très grand rôle de la performance d'une cellule solaire.

L'alimentation d'une cellule solaire est le produit du courant et de tension (I-V) peut être décrit dans une courbe comme la montre la Figure (I-10). Bien que le courant à son point maximum ou de court-circuit, la tension est nulle et donc la puissance est également nulle. La situation des courant et la tension est inversée au niveau du point de circuit ouvert, de sorte à nouveau la puissance est égale à zéro, entre les deux, il ya une combinaison particulière de courant et de tension, pour lesquels la puissance atteint un maximum. La puissance maximale représente le point de fonctionnement, qui est imposée par la résistance de charge et non par la cellule elle même [BOON 2005]. Un choix judicieux de la résistance de charge permettra donc d'obtenir la puissance maximale, comme suite [MALI 2006] :

$$P_m = I_m \cdot V_m \quad (I-7)$$

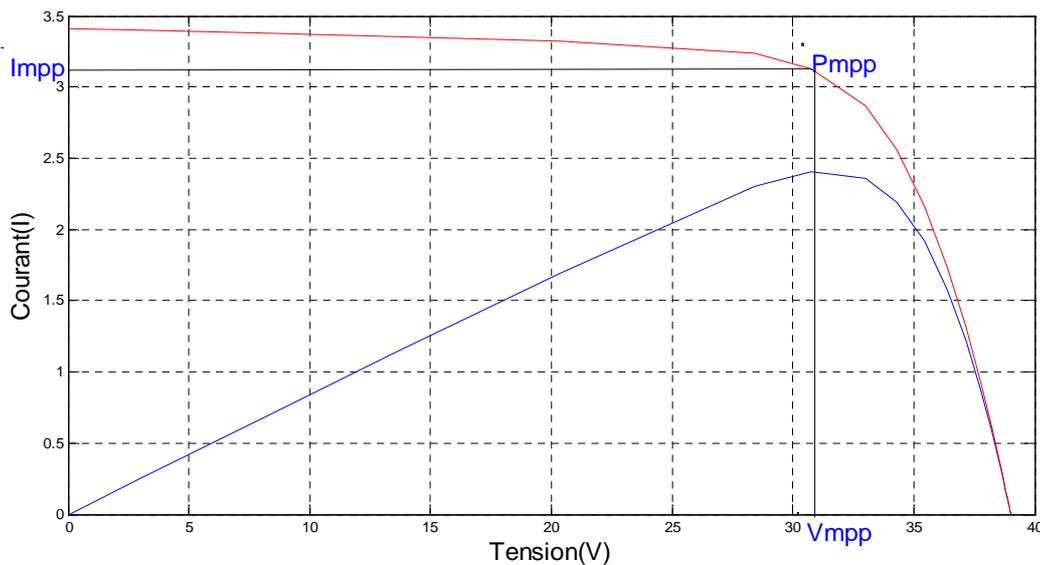


Fig I-10: Caractéristique $I=f(V)$.

I-4-1-Influence de la résistance série et shunt

➤ Influence de la résistance série [MOHA 2007]

D'une valeur généralement très petite, la résistance série agit sur la pente de la caractéristique dans la zone où la cellule se comporte comme un générateur de tension (figure (I-11)). Elle ne modifie pas la tension de circuit ouvert. Lorsqu'elle est anormalement élevée, elle peut diminuer notablement la valeur du courant de court-circuit.

La valeur de la résistance série est en fonction de la résistivité du matériau semi-conducteur, des résistances de contact des électrodes et de la résistance de la grille collectrice.

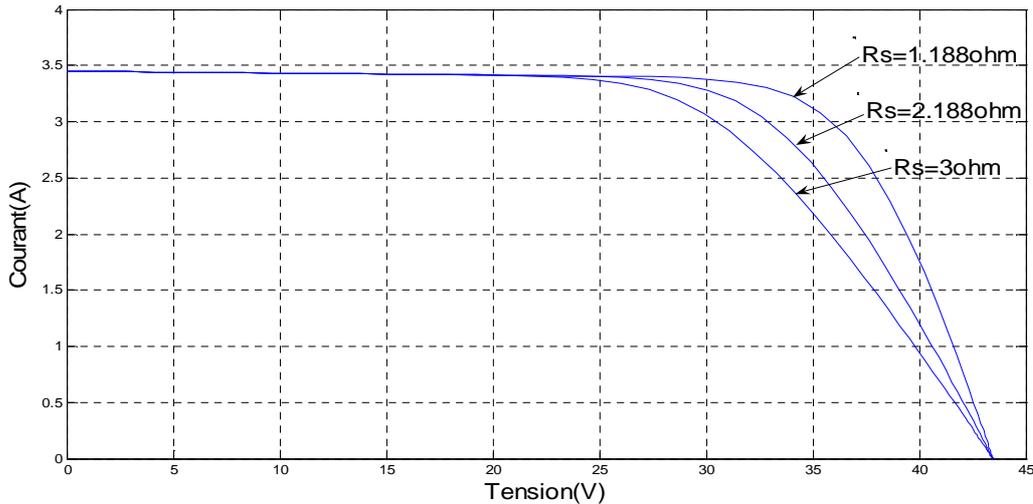


Fig I-11: Influence de la résistance série sur la caractéristique $I_{pv}-V_{pv}$.

➤ Influence de la résistance shunt [MAHM 2007]

Il s'agit le plus souvent d'une conductance de fuite. C'est comme si l'on devait soustraire au photo-courant, outre le courant de la diode, un courant supplémentaire proportionnel à la tension développée.

La résistance shunt est en général très élevée. Si elle diminue on remarque une légère pente au voisinage du point de courant de court-circuit sur la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque (figure (I-12)).

Une résistance shunt trop faible aura un impact sur la tension de circuit-ouvert de la cellule en effet, une cellule photovoltaïque dont la résistance shunt est trop faible ne donnera plus de tension sous un faible éclairage.

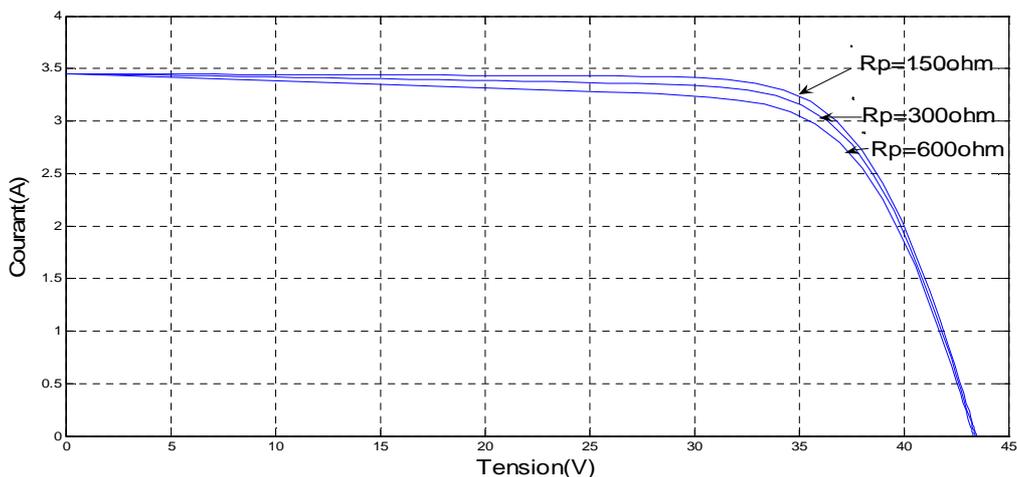


Fig I-12: Influence de la résistance shunt sur la caractéristique $I_{pv}-V_{pv}$.

I-4-2-Influence de l'ensoleillement et de la température [MOHA 2007]

➤ Influence d'ensoleillement

Le courant produit par la photopile I_{ph} est pratiquement proportionnel à l'éclairement solaire E. Par contre, la tension V aux bornes de la jonction varie peu car elle est en fonction de la

Chapitre I : Energie Photovoltaïque

différence de potentiel à la jonction N-P du matériau lui-même. La tension de circuit ouvert ne diminuera que légèrement avec l'éclairement. Ceci implique donc que:

- La puissance optimale de la cellule (P_m) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement.
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension (voir les figures (I-13) et (I-14)).

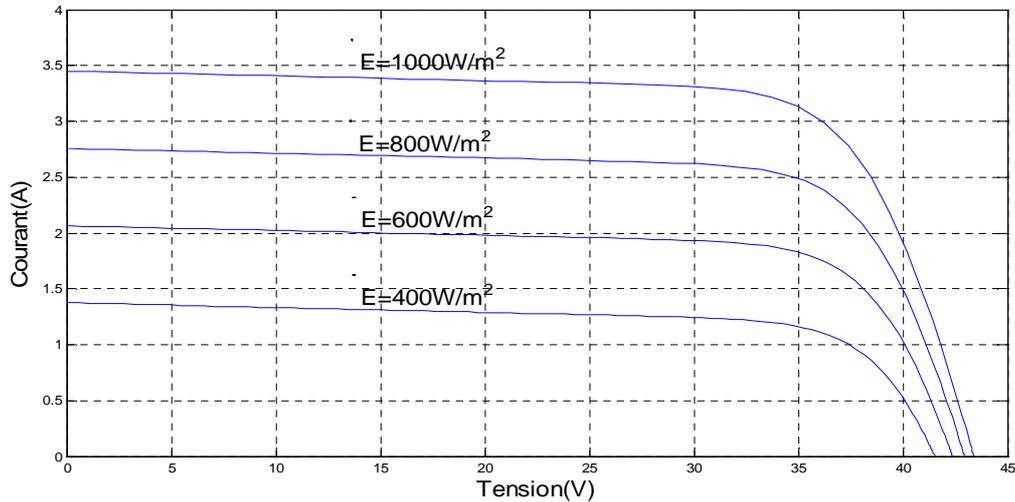


Fig I-13 : Influence de l'ensoleillement sur les courbes I-V.

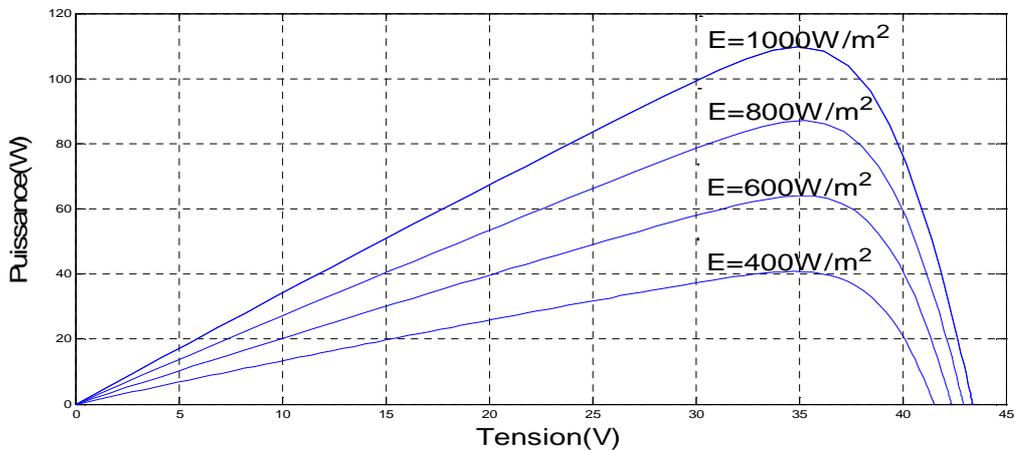


Fig I-14 : Influence de l'ensoleillement sur les courbes P-V.

➤ Influence de la température

L'influence de la température est non négligeable sur la caractéristique courant/tension d'une cellule (voir les figures (I-15) et (I-16)). Pour une température qui change, on peut voir que la variation de la tension change beaucoup plus que le courant. Ce dernier varie très légèrement.

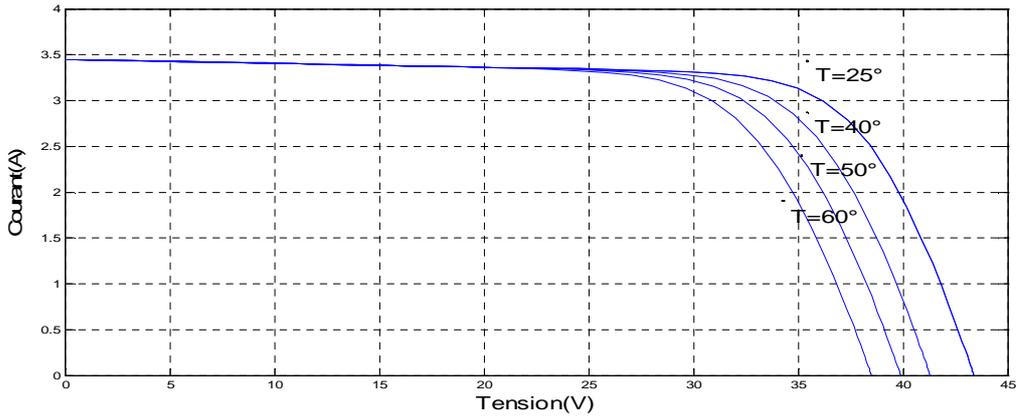


Fig I-15 : Influence de la température sur la courbe I-V.

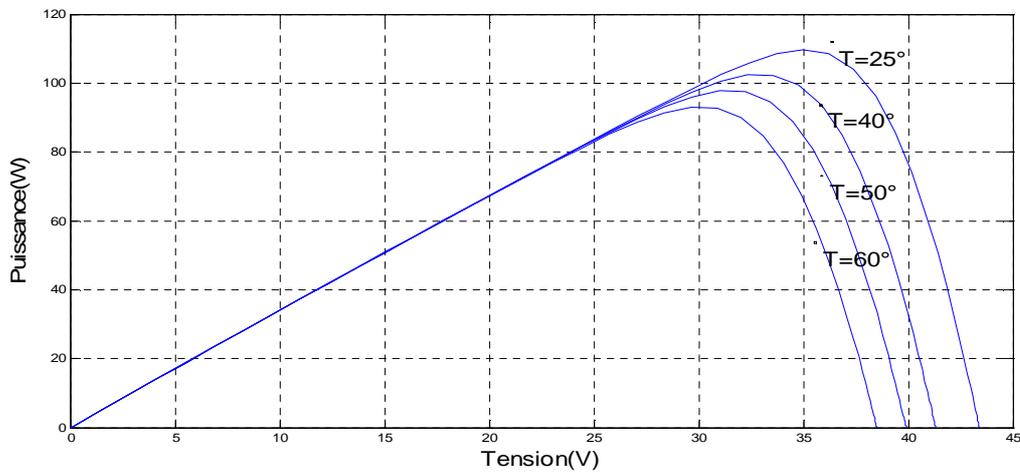


Fig I-16 : Influence de la température sur la courbe P-V.

I-5-Module photovoltaïque [HASS 2010]

Les puissances demandées par les charges couramment utilisées nécessitent conjointement des tensions supérieures à ceux que peuvent fournir les cellules élémentaires, il faut donc envisager des groupements. Pour cela les cellules sont assemblées pour former un module. Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la même tension.

Un module photovoltaïque protégé de l'humidité par un capsulage de verre et de plastique. L'ensemble est ensuite muni d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique.

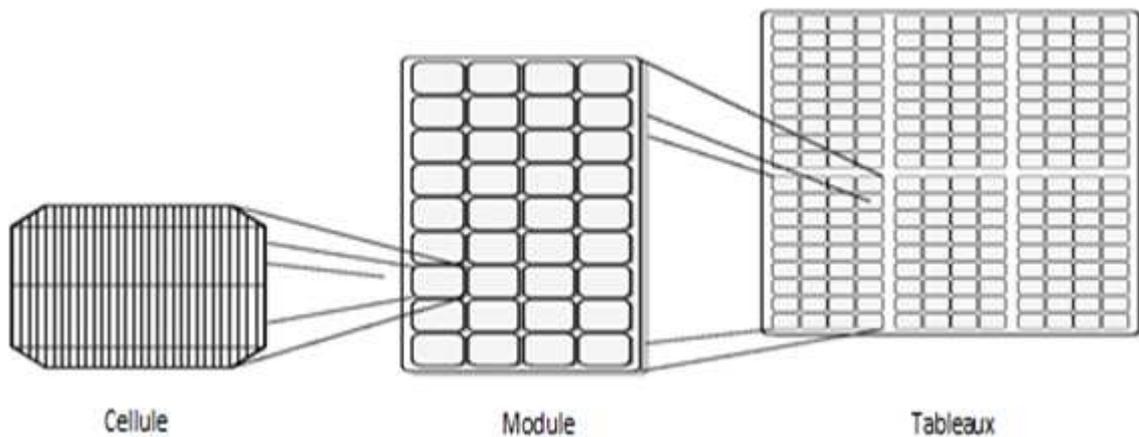


Fig I-17: Cellule photovoltaïque, le module et les tableaux.

I-6 - Différents branchements des panneaux

I-6-1- Branchement en série

Une association de n_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation (I-6) résume les caractéristiques électriques d'une association série de n_s cellules [PET 2009].

$$V_{ocns} = n_s \cdot V_{oc} \quad (I-8)$$

Avec

$$I_{sc} = I_{scn} \quad (I-9)$$

L'avantage de ce branchement en série est qu'il permet d'obtenir la tension que l'on souhaite. Par exemple, pour limiter les pertes dans les câbles lors du transport de l'électricité, il est préférable d'avoir une tension élevée et une intensité réduite. A puissance équivalente, cela permet de réduire les pertes par "effet Joule", ou de réduire la section des câbles (plus économique).

D'autre part, mêmes si les tensions des générateurs sont différentes, elles peuvent toujours s'additionner. Il y a cependant des inconvénients à mettre des générateurs en série, notamment en ce qui concerne l'intensité maximal que peut délivrer le système. En effet, c'est le générateur ayant l'intensité la plus faible qui l'imposera à tous les autres.

Si les générateurs n'ont pas tous la même intensité, il s'agit donc d'une perte de puissance importante car certains ne seront pas utilisés au maximum de leur capacité.

Un autre problème concerne la résistance interne des générateurs. Même si elles sont relativement faibles, dans une connexion en série, ces résistances s'ajoutent les unes aux autres et peuvent réduire l'intensité du courant au fur et à mesure que le nombre de générateur augmente. Contrairement dans un branchement parallèle, les résistances se divisent.

Enfin, si jamais l'un des générateurs tombe en panne, c'est tout l'ensemble qui ne fonctionnera plus étant donné que le courant est obligé de traverser chacun d'entre eux [WWEA].

I-6-2- Branchement en dérivation

Ce type de branchement est aussi appelé "montage en parallèle". Dans ce cas, une association parallèle de n_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

L'équation (I-7) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de n_p cellules [PET 2009].

$$I_{scnp} = n_p \cdot I_{sc} \quad (I-10)$$

Avec

$$V_{ocnp} = V_{oc} \quad (I-11)$$

L'avantage de ce branchement, est qu'il permet d'augmenter l'intensité du courant. On dispose donc d'une puissance plus grande pour une tension donnée.

Autre avantage du branchement en parallèle: lorsqu'un générateur est hors service, les autres peuvent tout de même fonctionner (contrairement au branchement série). La perte de puissance est donc limitée à celle du générateur défectueux [MAH 2007].

Le gros inconvénient de ce montage concerne la tension maximale qu'il peut délivrer. En effet, c'est le générateur ayant la plus faible tension qui l'imposera à tous les autres en parallèle avec lui. Dans un premier temps, il s'agit donc d'une potentielle perte de puissance. Mais, dans certains cas, cela peut même devenir dangereux. Par exemple, si on décide de brancher deux batteries ayant des tensions différentes, celle qui possède la plus forte se videra dans l'autre en créant un court circuit, une surcharge et une destruction prématurée. Il est donc très fortement déconseillé de brancher en parallèle des générateurs de tensions différentes [WWEA].

I-7-Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe de la conversion photovoltaïque ainsi que les différentes caractéristiques et les paramètres d'influence sur la cellule photovoltaïque.

Mais l'énergie photovoltaïque présente un certain nombre d'avantages et d'inconvénients parmi eux on cite :

- Avantages

- Sa source est gratuite
Le soleil est la seule ressource dont a besoin un panneau solaire et le soleil brillera jusqu'à la fin des temps. De plus, la plupart des cellules photovoltaïques sont fabriquées à base de silicium, un matériau abondant et non toxique (second matériau le plus abondant sur Terre).

Chapitre I : Energie Photovoltaïque

- L'énergie solaire photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions nocives, ni gaz polluants l'électricité solaire utilise seulement l'énergie du soleil comme source. Elle ne crée aucun coproduit nocif et contribue activement à réduire le réchauffement climatique.
- L'énergie solaire photovoltaïque exige peu de maintenance
les modules solaires ne nécessitent pratiquement aucune maintenance et faciles à installer.
- L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales les plus isolées.

- Inconvénients

- Les modules photovoltaïques ne fonctionnent pas quand l'énergie solaire n'est pas disponible.
- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%)
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulation associés soient judicieusement choisis.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs Diesel pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

Pour exploiter au mieux l'énergie photovoltaïque et faire face à tous ses inconvénients, un système hybride s'avère très utile pour pallier ce manque, chose qu'on va présenter dans le chapitre suivant.

Chapitre II :
Présentation d'un
Systeme hybride

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

Chapitre II: Présentation d'un Système hybride (Photovoltaïque/Diesel)

II-1-Introduction

La production d'énergie photovoltaïque se repose sur les conditions climatiques par conséquent elle est variable dans le temps (jour, nuit, saisons ...etc.). Pour palier à cet inconvénient majeur on associe au système photovoltaïque une autre source d'énergie soit renouvelable ou conventionnelle, on obtient alors un système d'énergie hybride. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.

II-2-Définition d'un système hybride [ROYE 1998]

Un système hybride est défini comme une installation qui utilise deux ou plus des technologies de la génération d'énergies : une ou plusieurs sources de production d'énergie classique (groupe diesel en général) et au moins une source de production d'énergies renouvelables. Le système hybride peut comprendre aussi un dispositif de stockage.

II-3- Différents types des systèmes hybrides photovoltaïques

II-3-1-Système hybride photovoltaïque/stockage [STOY 2011]

L'installation photovoltaïque doit être raccordée avec une autre source d'énergie, pour qu'il soit possible de satisfaire la charge durant la nuit ou par temps nuageux. Ces systèmes alimentent soit des maisons, soit des villages. Différent type de stockage existe comme un banc de batterie, un électrolyseur d'hydrogène et les super condensateurs.

L'utilisation de super condensateurs est une conception très récente elles sont utilisées pour un stockage très court avec une réactivité de quelques dixièmes de secondes, tandis que l'électrolyseur et le réservoir d'hydrogène permettent un stockage plus important en terme de quantité stockée mais plus lent et aussi se sont des dispositifs très chers, pour un banc de batteries est un dispositif de stockage qui est largement disponible dans le marché et elle est la plus intéressante car elle peut alimenter une charge pour une durée plus importante mais parfois elle ne peut pas satisfaire la charge en cas d'absence d'énergie photovoltaïque. Alors parfois en fait appel à d'autre source d'énergie conventionnelle.

II-3-2-Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage [STOY 2011]

Ce type de système hybride se base sur des ressources purement renouvelable et c'est le plus grand avantages, par contre l'inconvénient majeur est le manque de diversité de l'alimentation parce que les ressources primaire utilisées sont unique. Cela induit plusieurs désavantages comme par exemple le surdimensionnement des éléments dont l'objectif est d'assurer une alimentation continue, ce qui va se traduire par un investissement initial élevé (et donc limiter le développement de ces systèmes et une augmentation du prix de kilowattheure produit). Ces inconvénients peuvent être limités ou même éliminés par l'incorporation d'une seconde source d'énergie conventionnelle.

II-3-3-Système hybride photovoltaïque/source conventionnelle (groupe électrogène)

Ce type de système hybride est utilisé le plus souvent dans des sites qui se caractérisent par un climat chaud comme par exemple l'Arabie saoudite ou le potentiel solaire est important [ELHA 1999].

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

Ce système couplé à un groupe électrogène s'applique particulièrement bien à des sites éloignés[MUNO 2004],ou il est important d'avoir l'électricité à tout moment ,car en intégrant un groupe électrogène avec système photovoltaïque, il a la mesure de booster l'approvisionnement en électricité au cours de l'augmentation soudaine de la demande d'énergie ou lorsque la capacité des batteries diminue, donc il contribue à l'augmentation de la durée de vie des batteries et aucune interruption de l'alimentation des installations .

Parmi les systèmes que nous avons présentés, le système le plus approprié pour le site choisi est le système photovoltaïque/groupe électrogène avec dispositif de stockage.

II-4- Les composants du système hybride

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

II-4-1-Générateur photovoltaïque [BAYR 2006]

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



Fig II-1 : Structure d'un générateur photovoltaïque.

Il existe également des modules sous forme de membranes souples et résistantes, ainsi que des panneaux à concentration, plus complexes mais exploitant mieux l'élément le plus cher du panneau, la cellule photovoltaïque.

Leurs rendements est un peu plus faible que celui des cellules qui les constituent, du fait des pertes électriques internes et des surfaces non couvertes ; le rendement (par m²) du panneau complet est plus faible d'environ 10 à 15% que celui de chaque cellule. La puissance crête d'un panneau photovoltaïque est de l'ordre de 100 à 200 watts/m² (soit un rendement de 10 à 20%, les fabricants annonçant environ 15% pour leurs meilleurs panneaux), ce qui donne une puissance crête de 50 à 250 W par panneau, selon ses caractéristiques, notamment sa taille. Cette puissance est livrée sous forme de courant continu, ce qui est parfait pour un branchement sur une batterie et pour de nombreuses applications, mais implique une transformation en courant alternatif par un onduleur

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

s'il s'agit de l'injecter dans un réseau de distribution. La tension délivrée dépend du type des panneaux et du branchement des cellules. Elle est de l'ordre de 10 à 100 volts.

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

II-4-1-1-Caractéristiques d'un module

Voici la description des paramètres d'un module [BENY 2004] :

- **La puissance crête P_c** : la puissance maximale produite par un module photovoltaïque dans les conditions standards : ensoleillement de 1000 W/m^2 à l'horizontale, température ambiante de 25°C , masse d'air optique (AM) égale à 1,5.
- **La caractéristique $I(V)$** : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- **Tension à vide V_{co}** : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairage " plein soleil ".
- **Courant de court-circuit I_{cc}** : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairage " plein soleil ".
- **Point de fonctionnement optimum (U_m, I_m)** : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m \cdot I_m$.
- **Rendement maximal** : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- **Facteur de forme** : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{co} \cdot I_{cc}$.

II-4-1-2-Application

Les modules solaire photovoltaïques se sont d'abord développés dans des applications très variées non connectées au réseau électrique, soit parce qu'il n'y a aucun réseau disponible (satellites, mer, montagne, désert...), soit parce que le raccordement reviendrait trop cher par rapport à la puissance nécessaire (balises, horodateur, abris-bus, téléphone mobile ...), dans ce cas, on utilise des appareils électriques adaptés au courant continu livrés par les modules[WIKI].

Pour alimenter en électricité une habitation ou un réseau public de distribution, on intercale un onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif adapté aux appareils classiques.

Plusieurs modules sont intégrés dans une installation solaire associée à une habitation ou dans une centrale solaire photovoltaïque qui peuvent être soit des systèmes autonomes, soit des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau électrique. Ce type d'application n'est rendu rentable que par des subventions massives existants dans certains états, car l'énergie produite reste généralement beaucoup plus chers que l'électricité nucléaire ou celle produite à partir d'hydrocarbures fossiles : la source solaire est certes gratuite, mais l'investissement requis est très élevé. Une étude récente [ENER 2011] à toute fois montré que dans des conditions favorables, les systèmes solaires photovoltaïques peuvent en volume, produire de l'énergie pour un prix proche de celui des autres sources d'énergies traditionnelles.

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

II-4-2-Batteries de stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales [SEMA 2011] :

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

II-4-2-1-Caractéristiques principales d'une batterie [PETI 2009]

Les caractéristiques principales d'une batterie sont :

-Capacité en Ampère heure

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

-Rapports de chargement et déchargement

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

- Température

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

-La durée de vie

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

-Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle.

La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommages. Les fabricants de batteries de nickel-Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages. Cependant, elle affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

La tension d'utilisation

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

-Le rendement

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

-Le taux d'autodécharge :

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

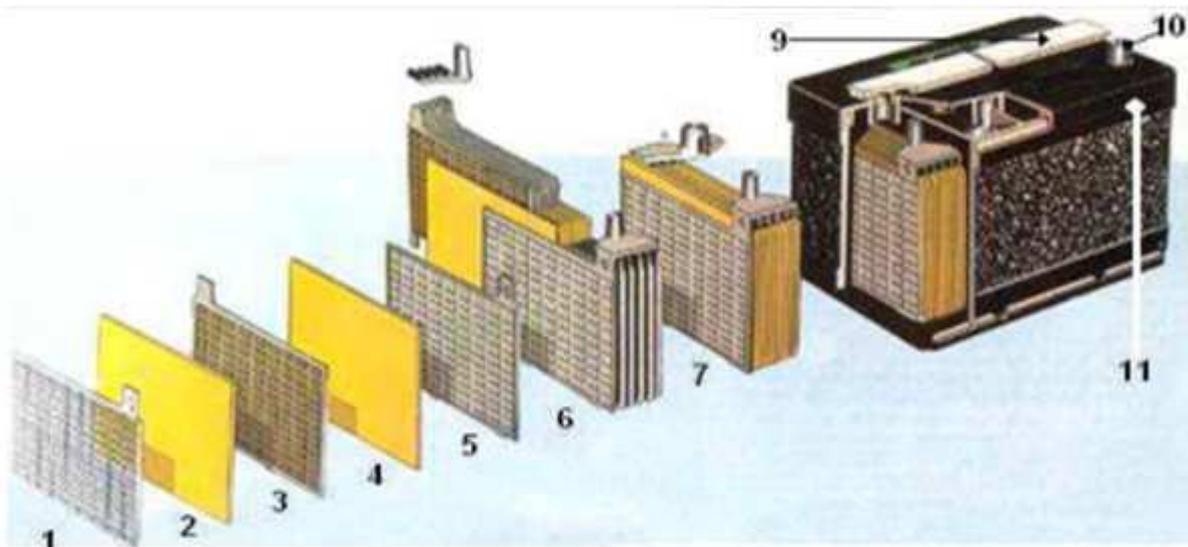
II-4-2-2-Types d'accumulateurs

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

II-4-2-2-1- Accumulateurs au plomb acide [BELH 2008]

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité.

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte.



1: Grille.

2: Séparateur.

3: Plaque positive.

4: Plaque négative.

5: Batterie.

6: Faisceau négatif.

7: Élément complet.

8: Pont.

9: Rampe de bouchons

10: Borne.

11: Bac.

Fig II-2: Construction d'une batterie monobloc.

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

Les plaques sont alternées dans la batterie, avec des séparateurs entre elles, qui sont fabriqués d'un matériel poreux qui permet le flux de l'électrolyte. Ils sont électriquement non conducteurs, ils peuvent être des mélanges de silice et de matières plastiques ou gommées. Un groupe de plaques positives et négatives, avec des séparateurs, constituent un "élément". Un élément dans un container plongé dans un électrolyte constitue une "cellule" de batterie. Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension variant entre 1,7 et 2 volts suivant l'état de charge en condition nominale de fonctionnement, et un rendement énergétique de l'ordre de 70% à 85% (pour plomb-Acide). Une batterie est constituée par plusieurs cellules ou des éléments reliés en série, interne ou externe, pour augmenter le voltage à des valeurs normales aux applications électriques.

-Etat de décharge [BOON 2005]

En cas de décharge, la tension diminue jusqu'à un niveau minimal acceptable pour une batterie plomb-acide, il est défini comme seuil de tension de décharge. Lorsque la décharge est en dessous de ce seuil, elle est appelée profondeur de décharge, avec laquelle la batterie peut subir des dommages. Au cas où la batterie est laissée plus après une décharge profonde, elle entraîne la conversion de la structure de support en sulfate de plomb en forme rugueuse-cristalline, qui pendant la charge ne peut être que mauvaise ou ne peut pas convertir plus à nouveau. En conséquence, la batterie perd une partie de sa capacité de stockage, et d'ailleurs la perte de la structure de soutien se pose ainsi. L'évaluation du courant de décharge et la tension au cours d'une décharge d'une batterie plomb-acide est présentée dans la Figure II.3.

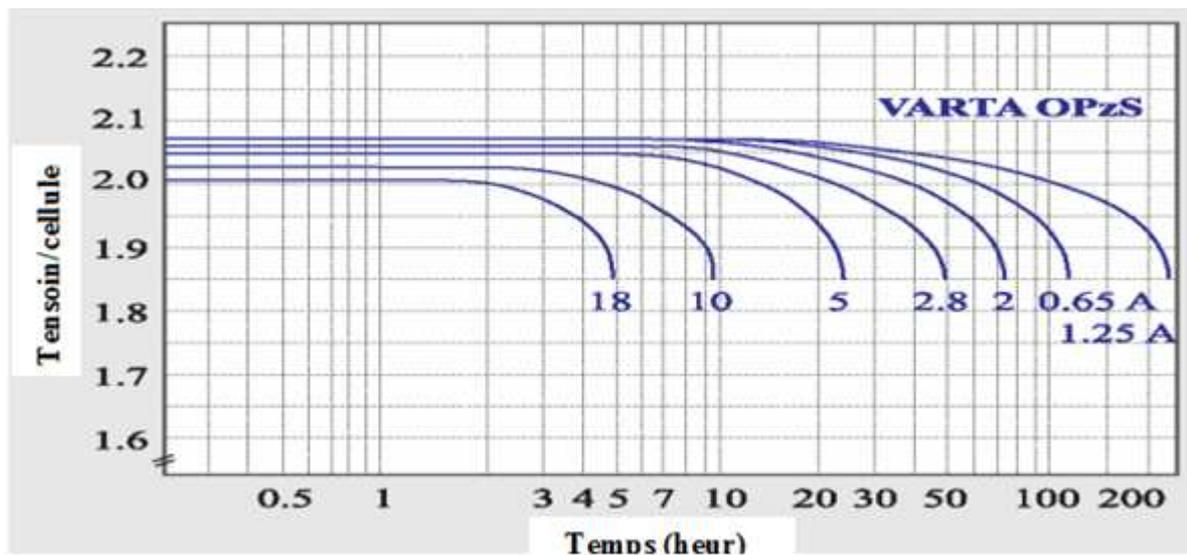


Fig II-3: Courbes caractéristiques de décharge d'une batterie de type VARTA-OPzS.

Les typiques de fin de décharge, la tension à ces taux de décharge peut également être remarqué où la tension commence à baisser fortement. Par ailleurs, la fin de décharge, la tension varie entre 1,75 à 1,9V, en fonction du type de batterie et le courant de décharge. Augmentation de la capacité du service est obtenue à des taux inférieurs de décharge.

Au taux de décharge plus élevée, l'électrolyte dans la structure des pores de la plaque devient appauvri et il ne peut pas se diffuser rapidement pour maintenir la tension de cellule. Toute fois, la décharge intermittente, laisse le temps pour la diffusion d'électrolyte qui permettra d'améliorer le rendement en vertu des taux élevés de décharge.

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

- *Etat de charge (SOC)* [KLEI 2002] : est le rapport entre la différence de la tension nominale la capacité d'une part et l'équilibre des charges d'autre part, comme on le voit dans l'équation (II-1)

$$SOC = \frac{C_{nom} - Q_{bat}}{C_{nom}} \quad (II-1)$$

Ou:

$$Q_{bat} = \int_t I dt \quad (II-2)$$

Avec:

C_{nom} : la capacité nominale de la batterie.

Q_{bat} : Ampère heure balance (Ampère heure net a déchargé ou a chargé depuis le dernier plein charge) et I est le courant principal de réaction.

-*Etat relatif de charge* : est le rapport entre la différence de la capacité réel d'une part et l'équilibre de charge d'autre part, comme dans l'équation suivante:

$$SOC = \frac{C_{act} - Q_{bat}}{C_{act}} \quad (II-3)$$

Avec :

C_{act} : est la capacité réelle de la batterie (Ah).

La capacité à déterminer l'état de charge des batteries dans un système à tout moment est très important du point de vue du fonctionnement du système. Sachant l'état de charge fait en continu la gestion de l'énergie système possible. En outre, pour un système photovoltaïque, la capacité de la batterie requis peut être plus déterminée avec précision ce qui implique une plus grande fiabilité de l'approvisionnement en énergie et moins le coût du système.

II-4-2-2-2-Accumulateurs au Nickel- cadmium [SEMA 2011]

Les batteries de nickel- Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium.

La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

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

-Caractéristique de décharge [INST 2012]

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

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

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

II-4-2-2-3-Influence de la température

La capacité de la batterie plomb est également affectée par la température: elle diminue d'environ 1% par degré au-dessous de 20°C. En outre, des températures extrêmes accélèrent le vieillissement, l'autodécharge et de l'utilisation d'électrolyte [MOHA 2007].

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

Par contre, l'utilisation dans les pays chauds, il est préférable d'utiliser le plomb car le Ni- Cd a un taux de pertes internes qui est environ 4 à 5 fois plus élevé que celui du plomb. A 40°C, les pertes internes peuvent atteindre 1.2% de la capacité nominale, ce qui pour une batterie dimensionnée avec 5 jours d'autonomie oblige à installer un générateur 6% plus puissant pour tenir compte de ces pertes [INST 2012].

II-4-3- Groupe Electrogène

II-4-3-1-Généralités

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

Le groupe électrogène comporte un moteur soit diesel ou essence, qui entraîne une machine électrique (figure (II-4)), généralement constitués d'un moteur tournant à une vitesse fixe accouplé à un alternateur synchrone ou asynchrone [BAYR 2006]. L'excitation de la génératrice synchrone se fait avec un système à redresseur tournant et pour la génératrice asynchrone elle se fait à partir des batteries de condensateurs. Le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone. La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel. Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constant [WIKI].

Le couple développé par le moteur diesel peut être modélisé d'une manière simple par une fonction de transfert de premier ordre de constante de temps (τ_c) représentant la constante de la combustion. τ_d représente le retard pur à l'allumage. On a alors [LECL 2001] :

$$C_{diesel} = \frac{F}{1+\tau_c P} + e^{-\tau_d P} \quad (II-4)$$

Ou

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

F : est un gain relatif au niveau de carburant.

C_{diesel} : couple développé par le moteur.

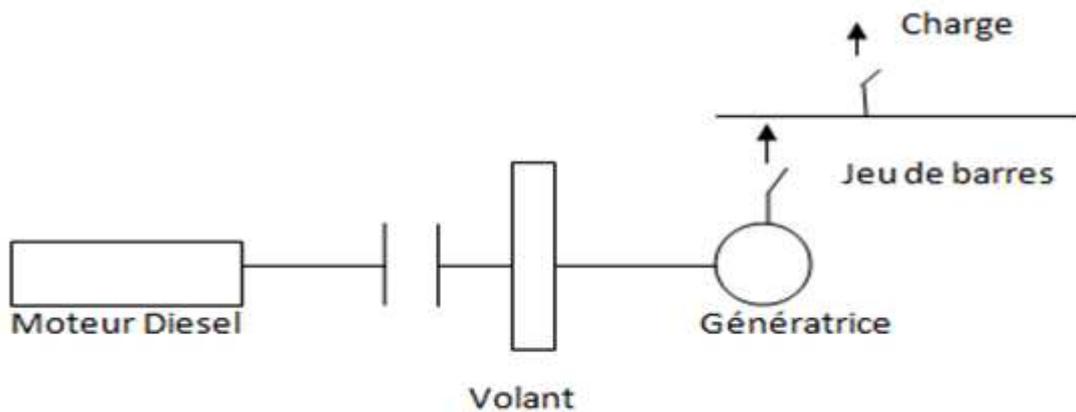


Fig II-4: Groupe Electrogène.

Le groupe électrogène est utilisé pour fournir de l'énergie dans les trois cas suivant [BOON 2005] :

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

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

- ✓ Classe 1: groupes électrogènes pour les consommateurs avec des exigences mineures pour la stabilité dans et le comportement de tension de fréquence.
- ✓ Classe 2: groupes électrogènes pour les consommateurs, qui exigent la stabilité de tension similaire à réseaux publics, bien que plus élevés écarts sont reconnus lors du chargement la variation. (Les systèmes d'éclairage, pompes électriques, des ventilateurs et des ascenseurs)
- ✓ Classe 3: groupes électrogènes pour les consommateurs avec des exigences élevées à la fréquence et stabilité de la tension. (Installations de télécommunication, dispositifs avec un circuit électronique sensible) Back-up de puissance de la pénétration renouvelables élevé (les petits systèmes hybrides <10 kW) est généralement fourni par le groupe électrogène phase combustible unique.

-Alternateur

L'alternateur est un dispositif qui transforme la puissance mécanique fournie par le moteur diesel en puissance électrique. Il est constitué d'un stator (l'induit) et d'un rotor (inducteur). Le stator est le siège des courants induit par la variation du flux du rotor, tandis que le rotor crée un champ radial tournant à la vitesse d'entraînement de l'alternateur, appelée vitesse de synchronisme.

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

II-4 3-2- Avantages et Inconvénients du Groupe électrogène

a) **Avantages** [AMRA 2006]

- Le groupe electrogene est une source fiable et indépendante des conditions exterieur.
- Simple a l'instalation et l'utilisation.

b) **Inconvénients** [AMRA 2006],[BAYR 2006]

- Un volume sonore constant quel que soit le niveau de puissance demandé au moteur diesel.
- Un niveau d'émissions polluantes élevé même lorsque la demande d'énergie est faible.
- Une mauvaise stabilité de fréquence et de tension, dans les phases transitoires, en présence d'à-coups de charge .
- La présence d'un second moteur diesel en plus du moteur principal sur les applications embarquées .
- Le surdimensionnement du groupe en cas de charge non linéaires ou non symétriques (redresseur, charges monophasée, etc.).
- Necessite un entretient permanent.

II-5-Différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides [STOY 2007]

Le champ photovoltaïque génère du courant continu, mais la consommation domestique exige le plus souvent du courant alternatif, c'est pourquoi il est souvent nécessaire d'adjoindre au système un onduleur. De cette façon, le générateur photovoltaïque travaille en parallèle ou en alternance avec le générateur diesel. On distingue les configurations suivantes:

- Système hybride PV - Diesel série
- Système hybride PV - Diesel commuté
- Système hybride PV - Diesel parallèle.

Nous présenterons chaque configuration avec leurs avantages et inconvénients.

II-5-1-Système hybride PV- Diesel serie (à bus à CC)

Dans cette configuration présentée dans la figure II-5, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi les systèmes de conversion d'énergie à CA fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. Le générateur diesel est connecté en série avec l'onduleur pour alimenter les charges à CA.

Le générateur diesel ne peut donc pas alimenter les charges à CA directement. L'onduleur doit alimenter les charges à CA à partir du bus à CC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter les pics de charge, alors que le générateur diesel est dimensionné pour alimenter les pics de charge et les batteries en même temps. La puissance délivrée peut être contrôlée par la commande du courant d'excitation de la partie électrique du générateur diesel ou en incorporant un régulateur de charge dans les sources d'énergie renouvelable. Les avantages et les désavantages d'un tel système sont présentés ci-après [MALI 2006].

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

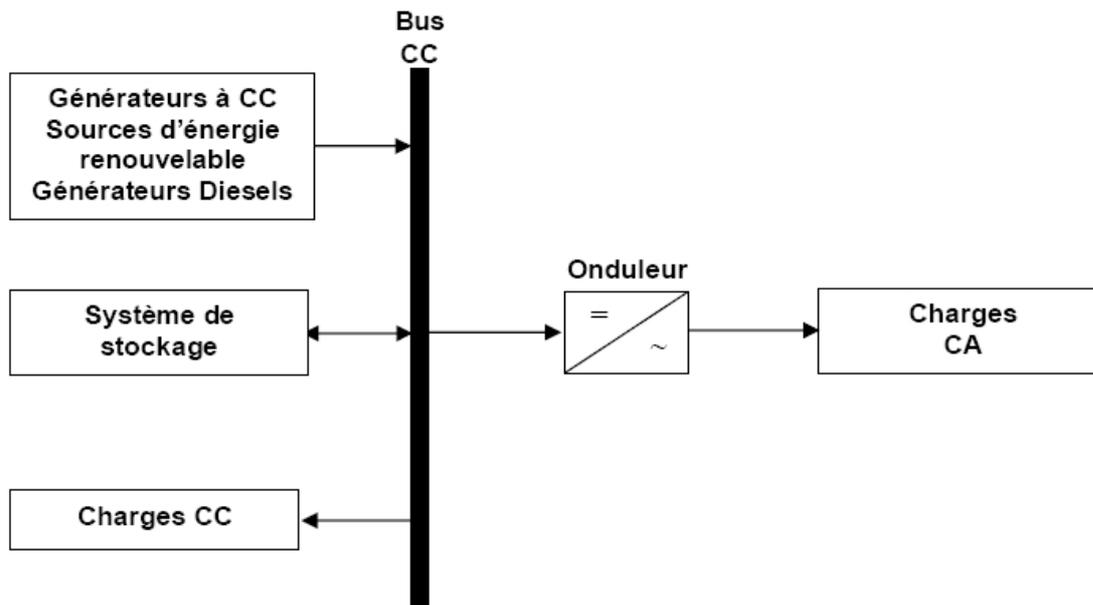


Fig II-5: Système hybride PV - Diesel série.

Les avantages sont [STOY 2007]

- La puissance du générateur électrique peut être optimale lorsqu'il approvisionne la charge et qu'en plus il charge la batterie jusqu'à un niveau de charge de la batterie de 70 - 80 %.
- Le système électrique est simplifié à cause de l'absence de changement de la source d'électricité en courant alternatif.
- La mise en marche du générateur diesel ne provoque pas d'interruption de l'alimentation de la charge.
- Grâce à l'onduleur, on peut obtenir différentes formes du courant selon les besoins (Sinusoïdal, carré,...).

Les inconvénients sont [STOY 2007]

- L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel, c'est pourquoi il doit être dimensionné pour satisfaire la puissance de pointe de la charge.
- La durée de vie de la batterie est diminuée à cause de l'augmentation du nombre des cycles charge - décharge.
- Le rendement total du système est faible à cause des pertes de conversion dues au fait que le générateur diesel ne peut pas fournir son énergie directement à la charge.
- La détérioration de l'onduleur provoque l'arrêt complet de l'alimentation.

II-5-2-Système hybride PV - Diesel commuté [STOY 2007]

Cette configuration est très fréquemment utilisée malgré ses limites opérationnelles. La charge peut être alimentée soit par le générateur diesel, soit par l'onduleur qui est alimenté par le photovoltaïque ou la batterie.

La batterie peut être chargée par le champ PV et le diesel. L'avantage principal de cette configuration par rapport à la configuration série consiste dans l'élimination de la conversion de l'énergie fournie par le générateur d'où l'élimination des pertes supplémentaires de conversion.

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

En principe, la puissance produite par le générateur est supérieure à la demande de la charge et l'excès est utilisé pour charger la batterie. Comme dans le cas précédent, le diesel est arrêté, lorsque la demande est faible et peut être satisfaite par le champ photovoltaïque et la batterie. La complexité du système implique l'utilisation d'un contrôle automatique à la place de la commande manuelle (Fig (II-6)).

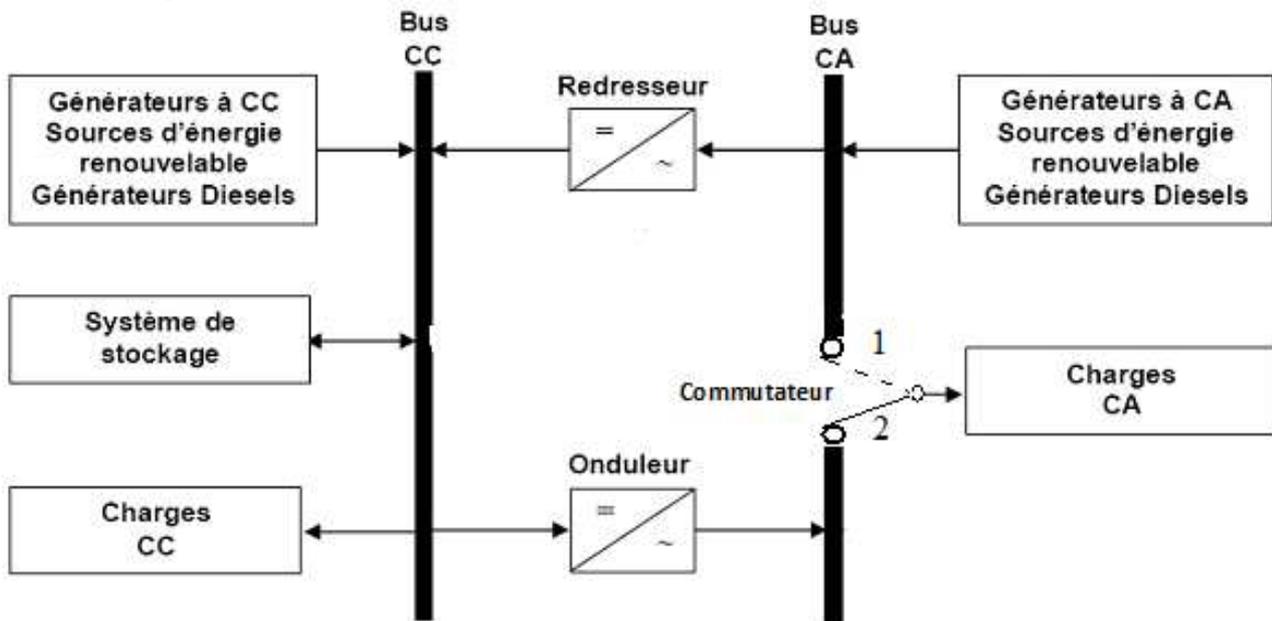


Fig II-6: Système hybride PV - Diesel commuté.

Les avantages de cette configuration sont

- Différentes formes du courant sont possibles, selon les besoins (sinusoïdal, signal carré).
- Le générateur peut fournir l'énergie produite directement à la charge, ce qui augmente le rendement du système et diminue la consommation du carburant.

Les inconvénients sont

- Il y a une coupure instantanée, lors de la commutation des sources alternatives.
- Le générateur et l'onduleur sont dimensionnés pour la puissance pointe de la charge, ce qui réduit leurs rendements en fonctionnement à faible charge.

II-5-3-Système hybride PV - Diesel parallèle (à bus cc /ca)

La configuration à deux bus, à CC et à CA, est présentée dans la Figure II-7. Celle-ci représente des performances supérieures par rapport à la configuration antérieure. Dans cette configuration, les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels peuvent alimenter une partie de la charge à CA directement, ce qui permet d'augmenter le rendement du système et de réduire la puissance nominale du générateur diesel et de l'onduleur. La ou le(s) générateur (s) diesel (s) et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle en synchronisant leurs tension en sortie. Les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui est en fonctionnement nominal, réalise la conversion CC/CA (fonctionnement onduleur). Quand il y a un surplus d'énergie de la part du générateur diesel, il peut aussi charger les batteries (fonctionnement en redresseur).l'onduleur

Chapitre II : Présentation d'un Système Hybride (Photovoltaïque/Diesel)

bidirectionnel peut alimenter les pics de charge quand le générateur diesel est surchargé [MALI 2006].

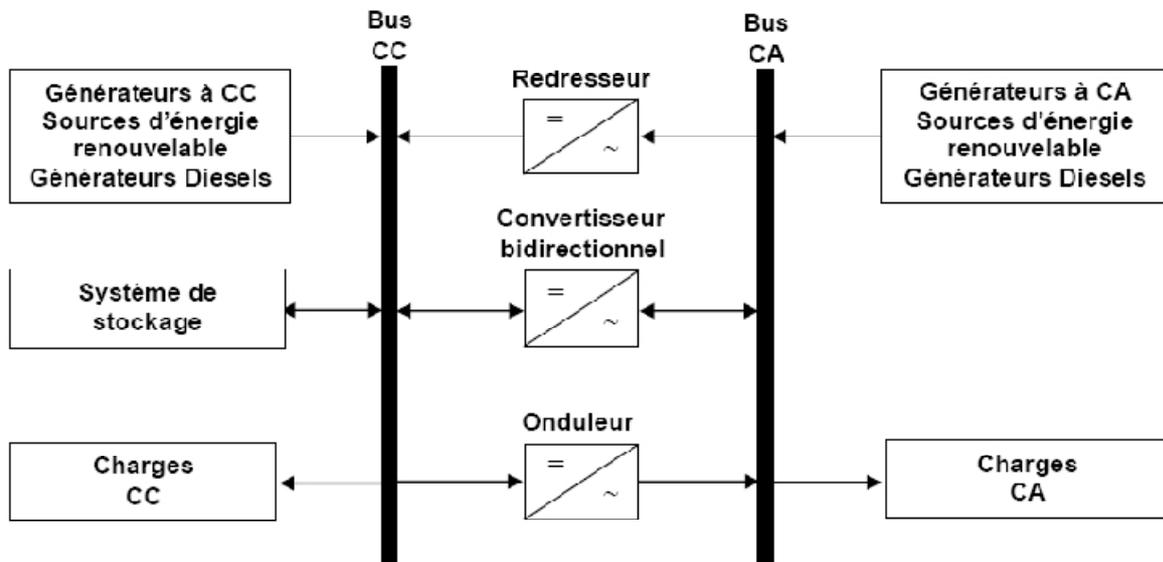


Fig II-7: Système hybride PV - Diesel parallèle.

Les avantages [STOY 2007]

- L'alimentation de la charge peut être faite d'une manière optimale.
- Le rendement du générateur diesel peut être augmenté.
- Le besoin d'une maintenance du diesel est réduit.
- Les puissances nominales des différents éléments peuvent être diminuées par rapport aux puissances nominales dans les autres configurations, en alimentant toujours la même charge.

Les inconvénients [STOY 2007]

- Le contrôle automatique est indispensable pour le fonctionnement du système.
- L'onduleur doit fournir un courant sinusoïdal pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible.
- Le fonctionnement du système n'est pas évident pour une personne non formé.

II-6-Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une brève description générale de système hybride. Tous les composants ont été introduits et différentes configurations, afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement du système, nous avons aussi mis en valeur les avantages, les inconvénients et les limites d'utilisation des composants du système, le prochain chapitre sera consacré au dimensionnement d'un système hybride ainsi les différentes stratégies de fonctionnement seront représentées.

Chapitre III :
dimensionnement et la
Stratégie de
fonctionnement d'un
système hybride

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

III-1-Introduction

La configuration du système hybride dépend évidemment des ressources énergétiques disponibles ainsi que des contraintes de l'utilisation. Ceci requiert une campagne de mesure et une analyse préalable des spécificités du site. Pour créer une base de référence pour notre étude nous avons choisi d'adopter des données disponibles sur l'unité de recherche appliquée aux énergies renouvelables à Ghardaia.

Nous nous intéressons dans ce chapitre aux sources d'énergie qui composent ce système habituellement. Nous décrivons les différentes solutions technologiques permettant d'exploiter les sources renouvelables en site isolé, ainsi que les moyens de dimensionnement du système hybride et quelques stratégies de fonctionnement habituelles du système hybride.

III-2-Dimensionnement d'un système hybride

Le dimensionnement ayant une incidence sur le prix, la qualité et la pérennité du système PV en site isolé, il constitue donc une étape cruciale lors de la mise en place du système. Il dépend [AKSA 2010] :

- De l'ensoleillement sur le site au cours de l'année,
- De l'énergie requise par chaque récepteur à alimenter,
- Du rendement énergétique de l'ensemble des composants y compris le stockage.

Il est alors évident qu'une demande importante en énergie augmentera la taille et le coût du système tandis que le choix de composants à haut rendement énergétique permettra de les réduire. D'une manière générale, le dimensionnement devra suivre les étapes suivantes :

- Evaluation des besoins énergétiques.
- Dimensionnement des panneaux PV.
- Dimensionnement du stockage.
- Dimensionnement du groupe.
- Dimensionnement des convertisseurs.

III-2-1-Présentation du site

Pour cette étude, une localisation géographique est considérée : Ghardaia, située au sud d'Algerie.

Coordonnées du site :

- Latitude : 32 degrés 23 minutes Nord,
- Longitude : 3 degrés 46 minutes Est,
- Altitude : 467m
- Temps : GMT + 01:00.

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

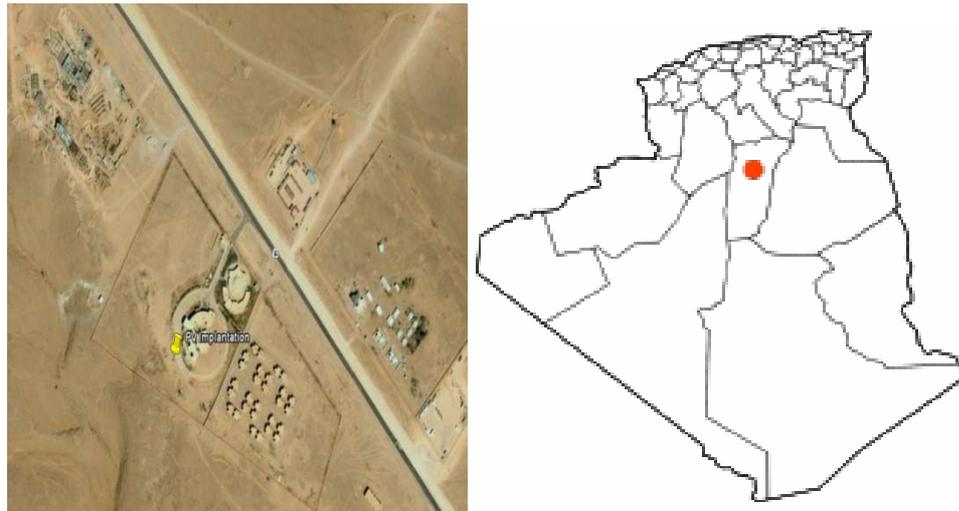


Fig III-1: Emplacement géographique du site.

III-2-2-Potentiel solaire à Ghardaïa

Des mesures de l'irradiation solaire ont été prises sur le site (par jour). En utilisant l'orientation et l'inclinaison des modules photovoltaïques, la latitude du lieu et les valeurs du rayonnement global, on indique, en (Wh/m²/j), pour chaque mois, la quantité moyenne d'énergie solaire que reçoit chaque jour par m² de surface horizontale. La moyenne mensuelle du rayonnement quotidien sur un plan incliné (32°), pour chacun des douze mois de l'année est donnée par le tableau (III-1) et le diagramme (III-2) ci-dessous :

Tableau III-1: Valeurs de l'irradiation globale journalière moyenne mensuelle estimées sur un plan incliné (32°) orienté vers le sud.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Irradiation	4753	5617	6367	7100	7264	7313	7245	7139	5821	5339	5126	4502

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

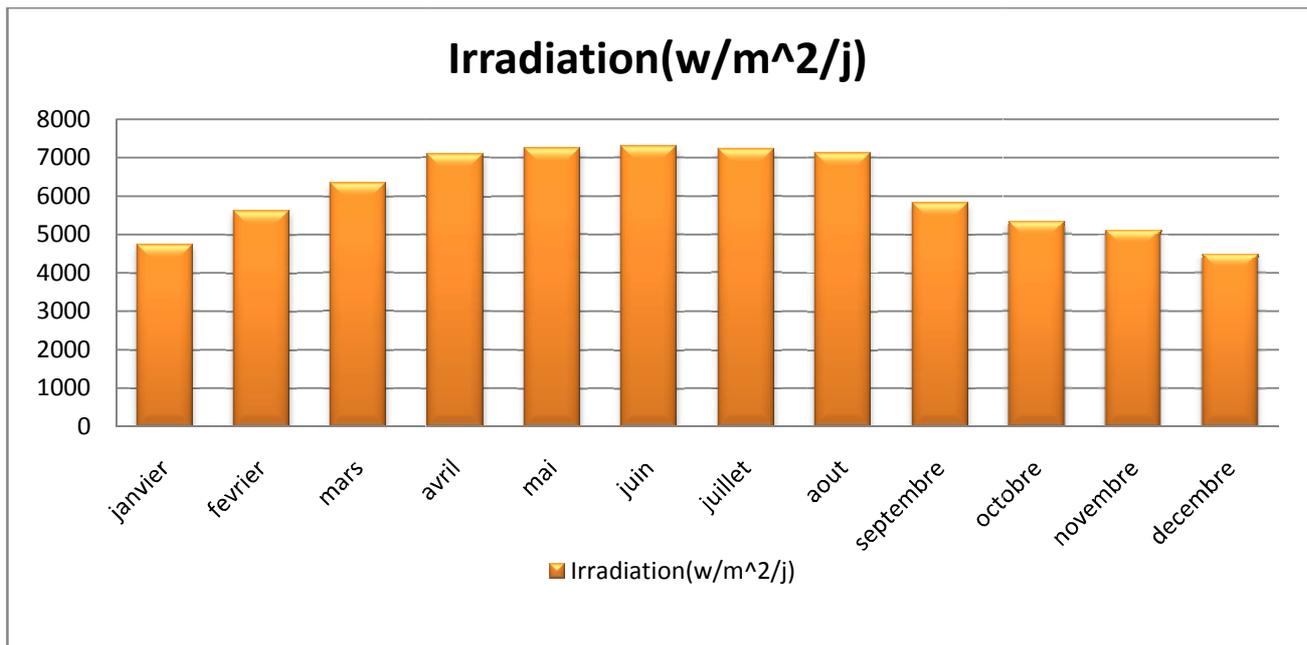


Fig III-2 : Diagramme de la variation d'irradiation annuel a Ghardaia.

L'irradiation solaire moyenne journalière de la région de Ghardaïa tourne autour de 5.98 kWh/m²/jour. Ce potentiel est assez important et il est pratiquement exploitable durant toute l'année.

III-2-3-Estimation des besoins en électricité (Wh/j)

Pour bien dimensionner l'installation on doit tout d'abord évaluer les besoins en électricité journalière du consommateur, La maison est équipée de l'ensemble des appareils permettant de fournir le confort aux occupants. Le nombre d'heures de consommation est déterminé en fonction de l'heure de lever et de coucher du soleil. Le nombre d'heures d'éclairage dépend des heures du lever et du coucher des membres de la famille. Par ailleurs, on suppose que le lever et le coucher respectifs des occupants de la ferme s'effectuent en moyenne à 6 h du matin et a 23h du soir.

Afin de consommer le minimum d'énergie et de réduire autant que possible la taille du système photovoltaïque, on choisit les appareils de faibles consommation. L'estimation de l'énergie journalière consommée par les différents équipements électroménagers et l'éclairage sont présentes sur le tableau suivant :

Tableau III-2 : Estimation de l'énergie journalière consommée par jour.

		Puissance (W)	Durée d'utilisation (heures/j)	Consommation par jour (W h/j)
	Chambre	24	4	96

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

Eclairages	d'adulte			
	Chambre d'enfants	48	5	240
	Salle de séjour	48	6	288
	Couloir	48	3	144
	Salle de bain	24	2	48
	Toilette	24	1	24
	cuisine	24	5	120
Equipments	Réfrigérateur	110	600
	Téléviseur	75	7	525
	PC	60	3	180
	Ventilateur (été)	80	4	320 (été)
	Pompe à eau	300	1/2	300/600 (été)
	Divers	100	3	300
Consommation total				2865/3485 (été)

L'énergie est le produit de la puissance par le temps

$$E \left(\frac{Wh}{j} \right) = P(W). t \left(\frac{h}{j} \right) \quad \text{(III- 1)}$$

E : c'est la consommation journalière en $\left(\frac{Wh}{j} \right)$

t : c'est la durée d'utilisation par jour en heure $\left(\frac{h}{j} \right)$

III-2-3-1-Caractérisation de la charge

Le profil de charge d'estimation est un critère important pour le choix d'un système d'alimentation électrique suffisante pour une maison(village) éloignée. La puissance demandée par un foyer de nature donnée n'est pas figée le long de l'année. L'heure de sollicitation maximale d'énergie par la charge varie en fonction des saisons conséquence à la variation de la durée du jour. Pour notre système en a choisé un mois d'hiver qu'est le mois janvier et un mois d'été qu'est le mois de juillet car ce sont les saisons ou la demande est très élevé .

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

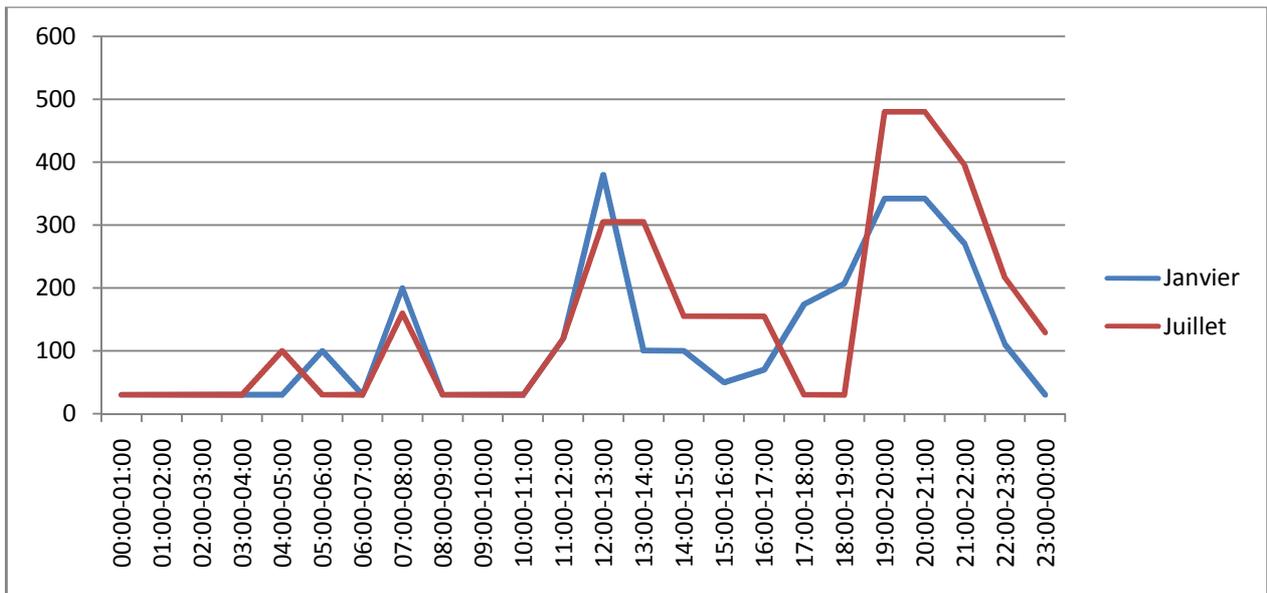


Fig III-3 : Profil de charge pour un foyer à Ghardaia.

Le profil de charge à alimenter en électricité illustré dans la Figure (II-3). Il s'agit d'une charge avec une valeur moyenne journalière de 2.8 kWh/j en janvier avec un pic de puissance instantanée 380W et 3.4kWh/j en mois de juillet est un pic de puissance instantanée de 480 W.

La demande d'énergie de la charge est faible dans l'intervalle de [1-7h] et [23-24h], elle est moyenne dans l'intervalle [11,14h] pour le mois de janvier et [11,17h] en juillet, ainsi elle est très importante dans l'intervalle de [16-22h] en mois janvier et beaucoup plus en mois juillet dans l'intervalle [19,23h].

III-2-3-2- Durée de l'ensoleillement

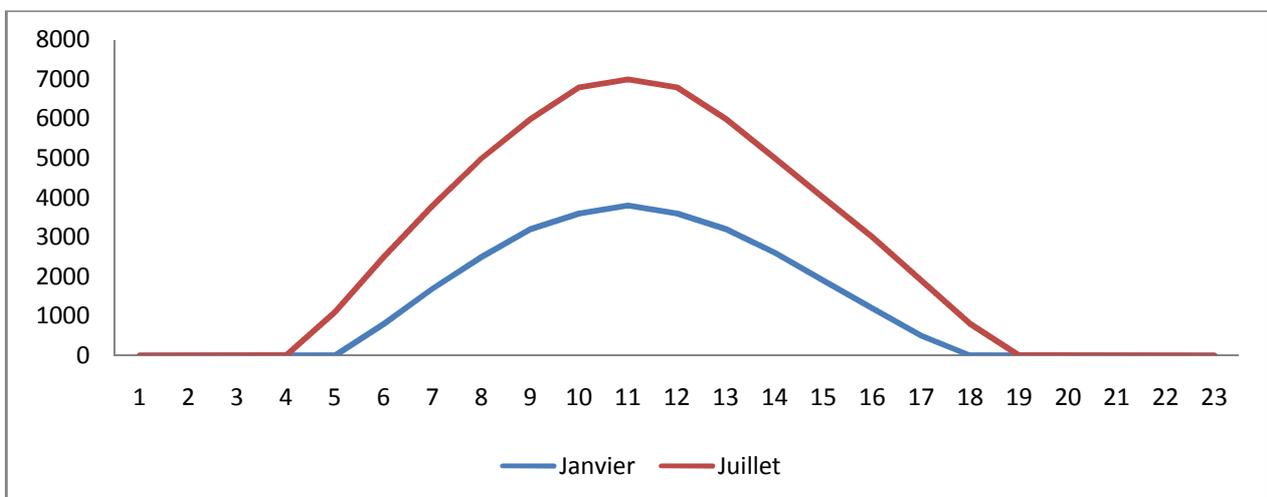


Fig III- 4: Durée d'ensoleillement

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

La figure(III-4) nous montre la durée d'ensoleillement des moi de janvier et juillet, on remarque que la période de fonctionnement du PV est plus étroite durant les mois de janvier (hiver), c'est entre 7h et 17h, environ 9 heures par jours alors qu'en mois de juillet (été) et plus longue soit 13 heures par jours.

III-2-3-3-Analyse du potentiel et la demande en énergie

L'irradiation solaire moyenne journalière de la région de Ghardaïa tourne autour de 5,8 kWh/m²/jour. Ce potentiel est assez important et il est pratiquement exploitable durant toute l'année. Les performances des panneaux photovoltaïques sont directement corrélées aux données climatiques qu'est en principe l'irradiation solaire. Pour un profil de charge donné, la taille du système augmente quand la ressource climatique est faible.

La production énergie par panneaux photovoltaïques peut facilement répondre au pic de la charge pendant la journée durant les périodes d'ensoleillement, mais elle est très faible ou nul, aux périodes du pic de consommation électrique entre 17 h et 22 h, ce qui nécessite soit le recours au autres générateurs, comme l'énergie stockée ou le groupe diesel et selon la valeur du pic, ainsi que le classement de la journée dans l'année.

II-2-4-Dimensionnement du champ photovoltaïque

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

$$P_c(W) = \frac{E(Wh/j) \cdot 1(kW/m^2)}{E_{ns}(kWh/m^2.j) \cdot C_p} \quad (III- 2)$$

Avec :

P_c : puissance totale des générateurs photovoltaïque

E : besoin journalier

E_{ns} : Ensoleillement du site d'installation

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

➤ Détermination du nombre de module

Le nombre de panneaux à installer se calcule par :

$$N_{pv} \geq \frac{P_c(W)}{P_{pvunitaire}(W)} \quad (III-3)$$

Avec :

N_{pv} : nombre de panneau

P_{pv} unitaire: puissance du module photovoltaïque.

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

III-2-5- Capacité du Système de Stockage

L'autonomie d'un système photovoltaïque est la durée pendant laquelle peut fonctionner le système sans que les panneaux PV ne produisent de l'électricité. Cette autonomie est fixée par la taille des batteries et on devra tenir compte de quelques principes élémentaires lors du dimensionnement comme par exemple l'énergie consommée, la puissance moyenne... En effet, un sous-dimensionnement des batteries sera moins coûteux mais ces dernières seront exposées à de profondes décharges et donc à une durée de vie plus courte tandis qu'un surdimensionnement sera plus onéreux. Dans ce dernier cas, du fait du surdimensionnement, les batteries seront rarement complètement chargées avec pour conséquence des phénomènes de sulfatation et au final une durée de vie plus courte [JULI 2007].

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

$$C_B(Ah) = \frac{E.N_j}{V_B \cdot \eta \cdot PDD} \quad (III-4)$$

Avec :

C_B : capacité total des batteries en ampère heure [Ah]

E : besoin journalières en [Ah /j]

N_j : nombre de jour d'autonomie

η : rendement de la batterie

PDD : profondeur de décharge (0.7)

V_B : tension de la batterie.

III-2-6- Câblage

Il est nécessaire de constituer un plan électrique global de l'installation avant de calculer toutes les sections des câbles, pour éviter tout sous dimensionnement ou tout surdimensionnement du câblage.

Pour le choix des sections des câbles, il existe deux méthodes, on pourra se servir du calcul de la chute de tension dans un conducteur, donnée par la loi d'Ohm :

$$\Delta V = RI \quad (III-5)$$

Où

$$R = \rho \left(\frac{L}{S} \right) \quad (III-6)$$

Donc :

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

$$S \geq \frac{\rho IL}{\Delta V} \quad (III-7)$$

Avec :

R : résistance (Ω)

L : longueur (m)

S : section (mm^2) du conducteur

ρ : résistivité, est de l'ordre de $20 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre.

Ou en utilisant l'abaque de détermination des sections des câbles en courant continu (d'après Gérard moine), si en connaît le courant, la tension et la longueur du câble.

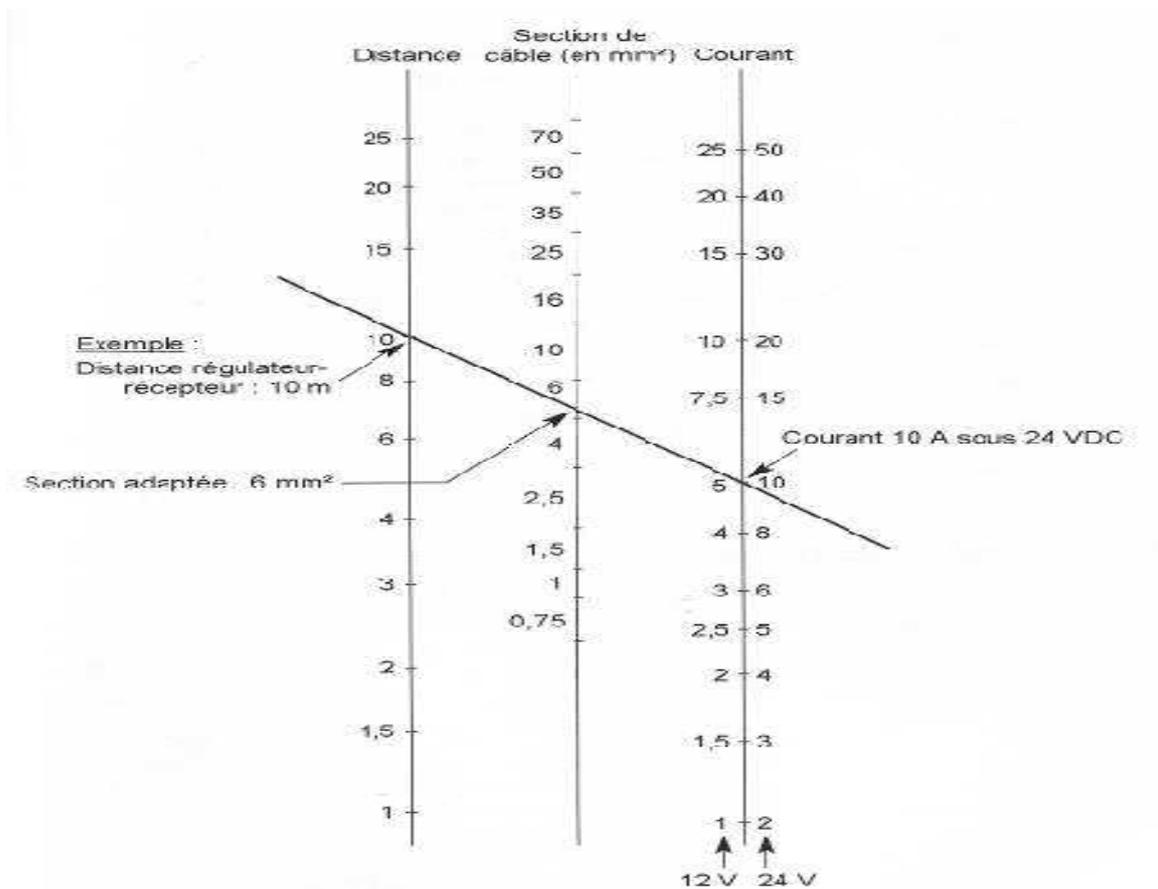


Fig III-5 : Abaque de détermination des sections en courant continu.

III-2-7-Dimensionnement du Groupe électrogène

Le groupe électrogène est utilisé dans les centrales hybrides comme une alimentation de secours dans le cas où les conditions climatiques sont défavorables pendant une certain temps.

il doit alimenter la charge pendant cette période La puissance du groupe est donnée par la relation(III-8) :

Si on utilise plusieurs groupes électrogènes :

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

$$P_{GE} \geq \frac{P_{Ch}}{N_{GE}} \quad (\text{III- 8})$$

Et si on utilise un seul groupe on a :

$$P_{GE} \geq P_{Ch} \quad (\text{III- 9})$$

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



Fig III- 6 : Groupe électrogène.

III-2-8-Dimensionnement du régulateur

Le courant maximal fourni par le module 130W est de 3.94A. L'intensité du courant maximal fournie par le régulateur est la somme des intensités de chaque panneau mise en parallèle, soit de 31.52A et la puissance totale des récepteurs est de 1032.13W. Tous les récepteurs étant en parallèle, le courant maximal appelé est donc de 43.33A.

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

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

III-2-9-Dimensionnement de l'onduleur

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

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

III-2-10-Application

- Alimentation d'une maison

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

Nous avons choisis la charge la plus élevée qu'est le mois de juillet d'une puissance $E=3,48\text{kWh/j}$ et un éclairage du mois le plus défavorable qu'est le mois de décembre $E_{ns}=4,5\text{kWh/m}^2.\text{J}$

- **Puissance du champ photovoltaïque**

En utilisant la formule III-1 on aura

$$P_c(\text{W}) = \frac{3485.1}{4,5.0,7} = 1032\text{W}_c$$

$$P_c = 1032\text{W}_c$$

Donc on a besoin d'une puissance qu'est supérieure à celle de la puissance crête.

- **Nombre de panneaux**

Selon la puissance totale demandée ainsi que le type de notre installation, nous avons opté pour l'installation des générateurs PV de puissance de 130W_c et d'une tension de 24V chacun (d'autre caractéristique son dans l'annexe)

$$N_{pv} \geq \frac{1032}{130} \geq 7,93$$

$$N_{pv} = 8 \text{ panneaux}$$

Pour notre installation du coté CC en a prévu une tension de 24V ce qui déduit que les panneaux seront mit en parallèle.



Fig III- 7 : Schéma des panneaux mise en parallèles.

- **Capacité de la batterie**

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

On désire avoir une autonomie de 2 jours, et on dispose des batteries de 12V , 105Ah(autre caractéristique son dans l' annexe) et en tenant compte du rendement de la batterie $\eta=0.9$, et de la profondeur de décharge PDD de 0.6, nous utilisons la relation (III-2) pour calculer la capacité du système de stockage :

$$C_B(Ah) = \frac{3485.2}{24 \cdot 0.9 \cdot 0.6} = 537,8Ah$$

$$C_B=537,8Ah$$

Nombre de batterie et de 6 batterie , deux batterie mise en serie sur trois branche en parallèle.



Fig III-8 : Batterie

- **Câbles**

D'après l'abaque de détermination des sections en courant continu, on a le courant qu'égalé à 40A sous tension de 24V et la distance de 25m(entre les panneaux et l'onduleur) on trouve la section de câble environ 50mm².

III-3-Application du logiciel HOMER pour l'optimisation d'énergie

III-3-1-Présentation de l'outil de simulation

Étant donné que les performances d'un système hybride, le rendement et la durée de vie, sont influencées en partie par sa conception, c'est-à-dire le dimensionnement des composants, le type de composants, l'architecture etc., et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement. Quelques paramètres permettant d'évaluer ses performances sont : l'économie de carburant, le coût du kW, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêts pour l'entretien etc.

Le logiciel HOMER (hybrid optimization model for electric renewables) développé par NREL (national renewable energy laboratory) aux Etats-Unis, simplifie la tâche d'évaluer les conceptions des différents systèmes d'alimentation électrique, hors-réseau et reliés au réseau, pour une variété d'applications. Il permet d'analyser et de combiner divers sources d'énergie afin d'arriver à afficher une configuration optimal, différents cas de configurations ont été évalués afin de déterminer selon un certain nombre de critères techniques, quelles sont les applications réellement envisageables pour ce type de système dans ce cas diverse opérations de transformation d'énergie ont lieu du moment que diverse sources contribuent a la génération d'énergie et sa conversion en énergie électrique. Pour simuler une installation donnée, il faut définir tous les éléments de cette dernière, en utilisant les composants définis dans la bibliothèque du logiciel (turbines éoliennes, hydrauliques, les batteries, électrolyseurs, combustibles, biomasse...) par la commande Add/Remove. Si un composant donné ne figure pas dans cette bibliothèque, il faut le rajouter en introduisant toutes ces caractéristiques techniques ainsi que son coût, il faut aussi spécifier le nombre de chaque composant dans

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

l'installation à simuler. On peut aussi modifier les caractéristiques d'un composant déjà existant dans la bibliothèque. Les potentiels renouvelables (éolien, solaire, biomasse...) sont introduits soit manuellement, soit importés via internet ou d'un fichier texte. Les charges sont définies par leur nature (CA ou CC) et leur distribution horaire.

III-3-2-Construire le schéma de conception du système hybride

Sur l'environnement HOMER, nous avons défini chaque élément de notre installation, en se basant sur toutes les données du dimensionnement calculé ou paravent. En amont de l'installation, on définit le potentiel renouvelable disponible (solaire) et le groupe électrogène en utilisant à l'aval de l'installation, on a défini aussi la charge à satisfaire (électricité). D'autres données sont notamment nécessaires tel que :

- Les coordonnées du site (longitude, latitude, le temps),
- L'élévation,
- Les durées de vie des composants, ainsi que leurs coûts,
- La durée de vie du projet,
- Le maximum manque annuel admis sur la demande : 0 % (Il faut fournir les 100 % de la charge demandée durant toute l'année, car le site est autonome).

A noter aussi que nous avons fixé comme contrainte, avant de lancer la simulation, la fraction de l'énergie à produire par la partie renouvelable du système, qui est de 60 % au minimum de l'énergie totale produite. La mise en œuvre de la simulation sous l'environnement HOMER .ceci à travers une étude d'un cas. Nous présentons sur la figure (III-9) la configuration relative au programme HOMER, du Système hybride.

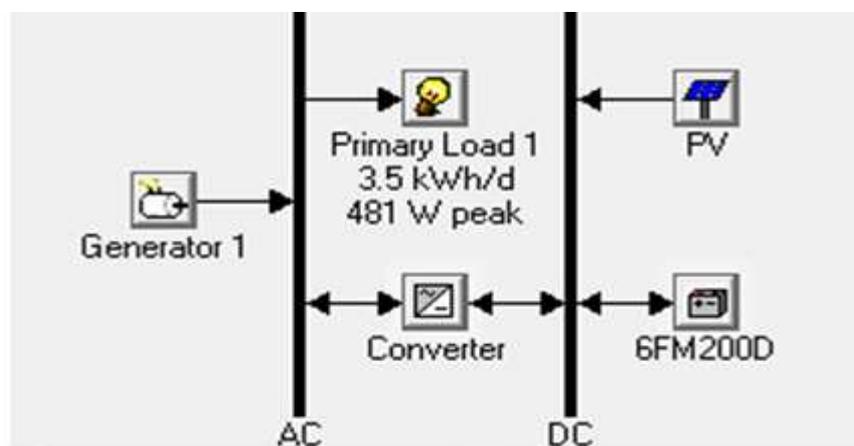


Fig III-9 : Configuration relatif de système hybride.

III-3-3-Simulation

Le modèle du SH est introduit dans le logiciel avec les options de disponibilité technologique, le coût des composants et la disponibilité des ressources, calculs d'équilibre énergétique sont exécutés pour chaque configuration du système hybride considérée. Les configurations obtenues sont sélectionnées en fonction de leur faisabilité, du coût d'installation. La rentabilité du fonctionnement est évaluée sur la vie du projet, estimée a priori à 25 ans. Les calculs du coût du système hybride prennent en compte des coûts tels que le capital et l'intérêt, l'amortissement, les frais de fonctionnement, l'entretien et le carburant. Mais pour notre étude on va juste voir évolution d'énergie produite et énergie consommée pour le reste il sera présenté dans l'annexe.

III-3-4-Résultats de simulation

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

Dans le tableau IV.10, sont illustrés les résultats issus de l'étude de dimensionnement, après avoir simulé toutes les configurations possibles du système hybride. Dans les conditions de charge, coût des composants et disponibilité des ressources présentées antérieurement.

PV (kW)	Label (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
0.60	1.0	6	2.0	\$ 277,769	11,508	\$ 409,761	28.047	0.80	110	340
0.40	3.0	8	3.5	\$ 269,430	12,235	\$ 409,764	28.048	0.51	281	284
0.60	1.0	8	1.5	\$ 279,353	11,393	\$ 410,028	28.066	0.80	108	331

Fig III-10 : Variantes proposées par HOMER.

Le tableau permet de visualiser toutes les configurations de système faisables, en effet HOMER affiche une liste des configurations système qu'il a constaté faisable pour ce projet. Ils sont énumérés dans l'ordre (de haut en bas) de la plus rentable à la moins rentable. Le rapport coût-efficacité d'une configuration système est basé sur son coût nette actuelle. La Configuration PV /diesel /batteries / convertisseur est la plus rentable conception.

➤ Architecture du système optimal

PV: 1,04 kW

Générateur Diesel: 4 kW

Batteries: 3 rames avec 210 Ah chacune

Onduleur: 3,5 kW

➤ Production et la consommation d'énergie électrique

La production et la consommation d'énergie sur une année sont détaillées dans les tableaux III-3 et III-4.

Tableau III-3 : Production d'énergie sur une année.

Composants	Production (kWh/an)	Fraction (%)
Surface PV	1.324	80
GP	333	20
Total	1.657	100

Les systèmes de production participent suivant les fractions décrites dans le tableau et qui montre une participation importante de la source renouvelable qui atteignent 80%.

Tableaux III-4 : Energie annuelle consommée

Charge	Consommation (kWh/an)	Fraction(%)
Charge CA	1.274	100
Total	1.274	100
Variable		Valeur
Fraction renouvelable		0.799
Excès d'énergie		0.628kWh/an
Charge non satisfaite		0.0000029kWh/an

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

Notons que 0,79% de la production totale d'électricité par le système est excédentaire, ou de l'énergie qui n'est pas utilisée par le système et va être rejetée.

La puissance moyenne mensuelle produite par les sources du système hybride est illustrée dans la figure III-11.

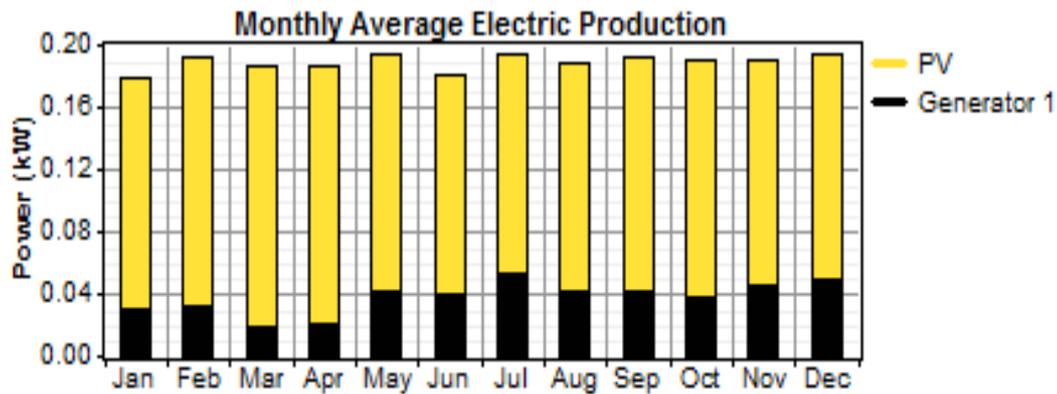


Fig III-11 :Diagramme de la puissance moyenne mensuelle par les sources du système hybride.

Les énergies mises en jeu dans le système durant une année de fonctionnement, présente un caractère continu de la disponibilité de l'énergie produite tout au long de l'année, il ne peut-être que satisfaisant pour l'atténuation de la part allouée au stockage. On remarque que 80 % des besoins énergétique du site sont fournis par les générateurs utilisant le soleil. Le reste est assuré par la source d'énergie conventionnelle (Diesel). Cette fraction (80 %) est satisfaisante.

A noter aussi que la fraction de 80 % est une moyenne annuelle, qui n'est pas constante sur toute l'année, elle est liée à la variabilité d'énergie photovoltaïque.

III-4-Stratégie de fonctionnement

La stratégie de fonctionnement est un algorithme qui permet au système de supervision d'un système hybride de décider combien et quels générateurs il faut mettre en marche, quelles charges sont connectées et comment utiliser le stockage, si disponible. Le fonctionnement d'un système hybride dépend des paramètres suivants[VECH 2005] :

- Le profil de charge : les variations diurnes, les variations saisonnières, les pics et les creux
- Les caractéristiques des ressources renouvelables : les valeurs moyennes, l'écart type, la fréquence des événements, les valeurs extrêmes, les variations diurnes et saisonnières
- Les caractéristiques des générateurs classiques : le type de carburant, les limites de fonctionnement
- La configuration du système : le nombre et les types de composants (les sources d'énergie renouvelable, les sources classiques, les charges controlables, les types de stockages, les convertisseurs de puissances)
- Les normes de qualité de l'énergie : les exigences en ce qui concerne les variations de la fréquences et de la tension

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

Par conséquent, certaines stratégies de fonctionnement peuvent être plus efficaces dans des applications particulières, en fonction des objectifs du système et les caractéristiques présentées ci-dessus.

➤ **Gestion du stockage** [VECH 2005],[PERE 2000]

Deux types de stockages sont utilisés dans les systèmes hybrides : le stockage à court terme et le stockage à long terme.

La stratégie de stockage à long terme,(Cycle Charge Strategy) est utilisé pour alimenter la charge sur une période de temps plus longue. Cette stratégie, permet d'améliorer l'équilibre énergétique et de réduire les cycles démarrage/arret des générateurs diesels et donc, la consommation de carburant. Avec cette stratégie, le générateur diesel est arrêté jusqu'à ce que l'état de charge du système de stockage atteigne un niveau minimal. Une fois ce seuil atteint, le générateur diesel redémarre et reste en fonctionnement jusqu'à ce que l'état de charge du système de stockage atteigne un niveau maximal et le cycle se répète encour une fois et ainsi de suite. Comme le mentre la configuration et l'algorithme suivant :

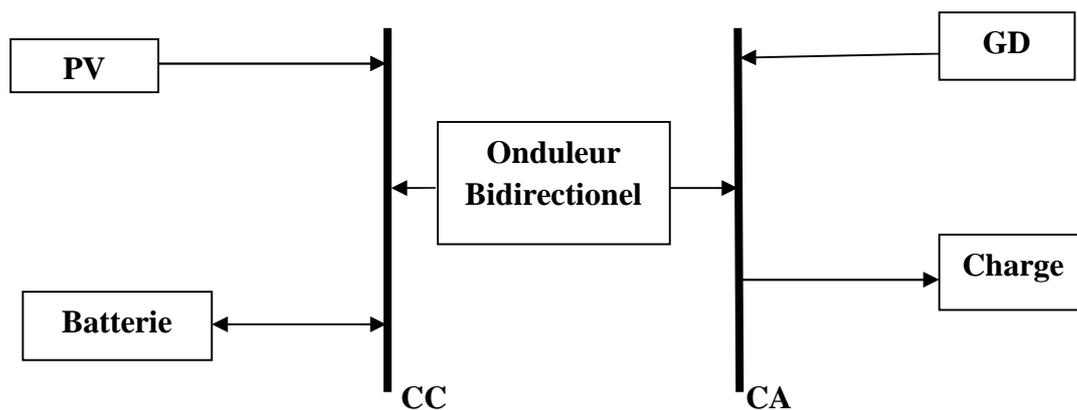


Fig III-12 : Configuration du système.

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

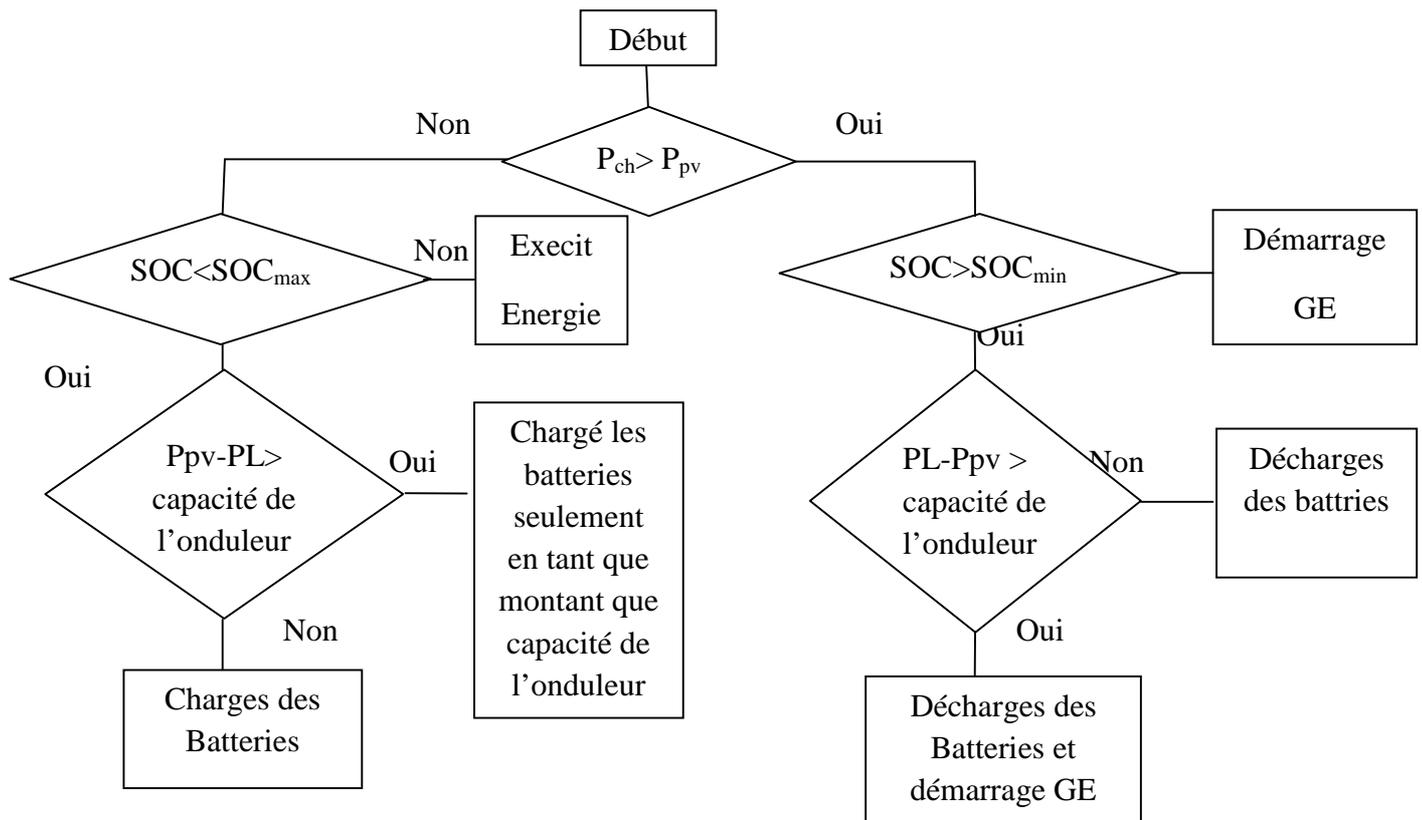


Fig III-13 : Algorithme de fonctionnement.

La stratégie de stockage à court terme, « Peak Shaving Strategy », permet de filtrer les fluctuations des énergies renouvelables et/ou de la charge. Cette stratégie réduit également le nombre de cycles démarrage /arrêt des générateurs diesels, donc la consommation de carburant.

➤ Réserve tournante [VECH 2005],[MANW 1996]

La réserve tournante est définie en comme étant l'exigence du système de commande définie par la capacité des générateurs classiques de couvrir les changements immédiats causés par l'arrêt des générateurs d'énergie renouvelable et par l'augmentation soudaine de la charge. En effet, la réserve tournante détermine la capacité instantanée de réserve minimal du générateur diesel en fonction des prévision de la production d'énergie renouvelable et de l'évolution de la charge. Une réserve d'énergie doit être toujours disponible pour éviter l'effondrement du système lors d'une réduction soudaine de la production d'énergie renouvelable. La configuration et l'algorithme de la stratégie seront construits comme suite :

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

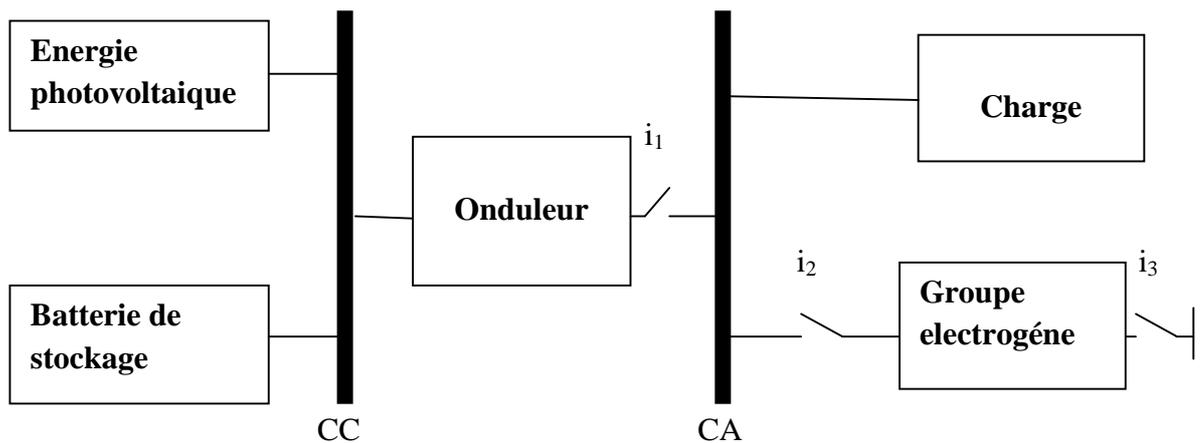
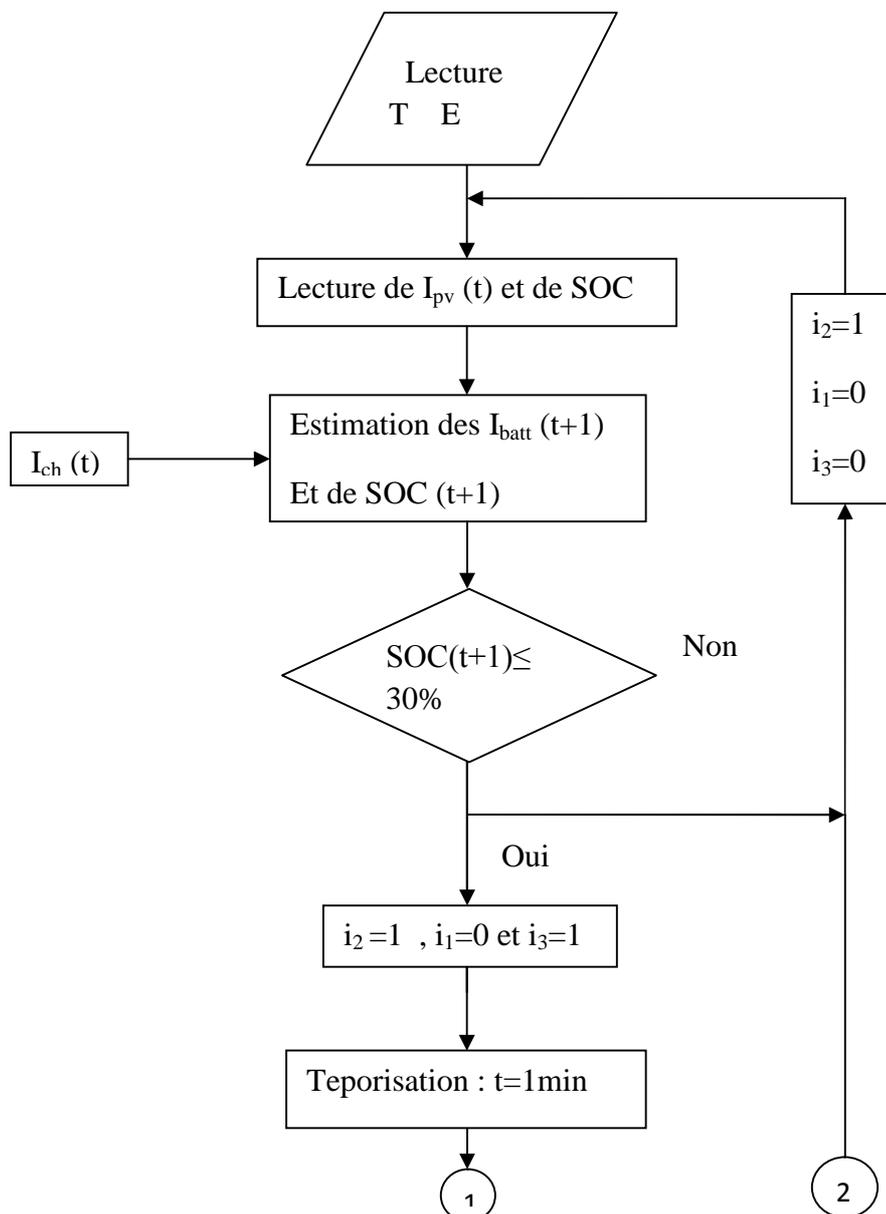
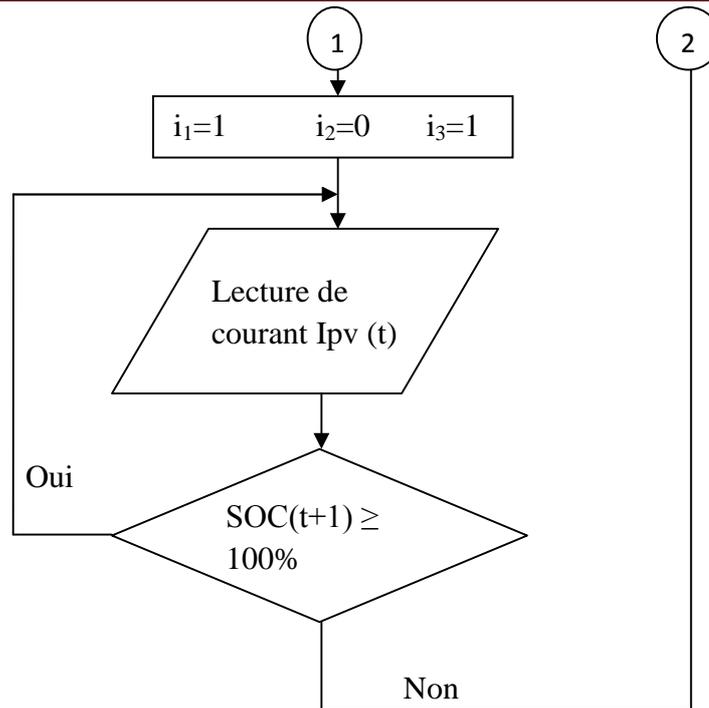


Fig III-14 : Configuration du system



Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride



FigIII- 15 :Algorithme de fonctionnement.

Une brève description de quelques autre stratégies de fonctionnement est donnée ci-après :

➤ Gestion des charges [VECH 2005]

La stratégie de gestion des charges peut aussi être à court terme et long terme.les deux types de stratégie utilisent les charges pour faire varier la demande d'énergie. Ainsi les charges sont connectées et déconnectées par ordre de priorité (Figure III-16).

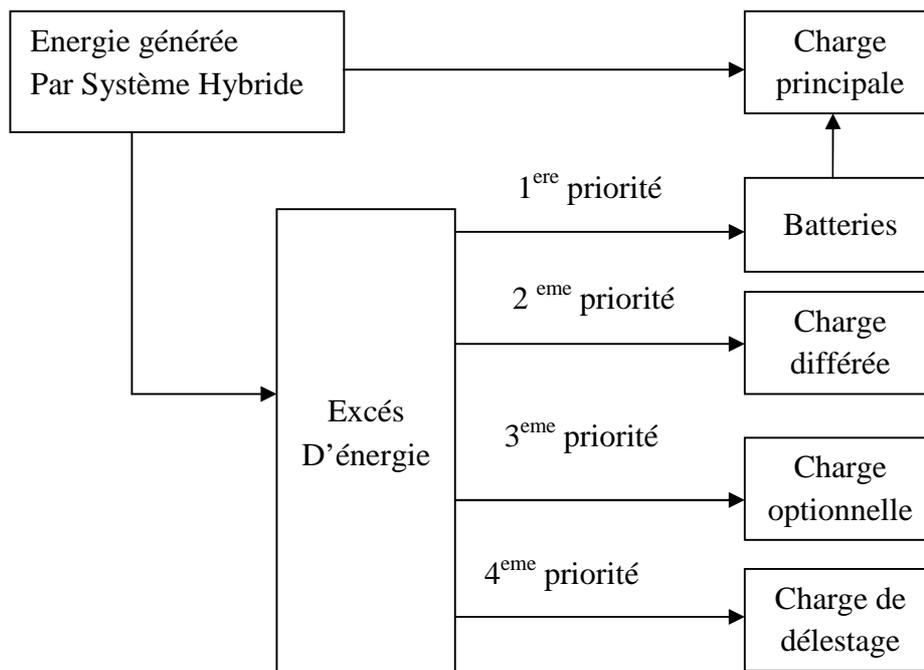


Fig III-16 : Diagramme des priorités des charges.

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

La stratégie de contrôle à court terme connecte déconnecte les charges du système en fonction du dépassement de certains seuils fixes pour la fréquence du bus à CA. Les charges sont connectées de manière progressive, selon les variations de la fréquence. La charge de délestage (dump load) est une charge spéciale dont la puissance peut être modifiée en fonction de la déviation de fréquence. Elle peut aider à régler la fréquence du réseau dans des conditions de surplus d'énergie.

La stratégie de contrôle à long terme assure l'équilibre énergétique sur des intervalles de temps importants. Les charges différées et optionnelles ont en général une priorité réduite pendant une partie de la journée. Elles doivent être connectées seulement quand leur régime de priorité est élevé. La stratégie de gestion des charges peut aussi être utilisée pour les réduire les pertes énergétiques du générateur diesel.

➤ Temps de fonctionnement minimal

Cette stratégie consiste à maintenir le générateur diesel en fonctionnement pour une durée minimale prédéfinie en fonction de la variabilité de la charge ou de la variabilité d'énergie renouvelable [PIPA 2004]. Celle-ci est utilisée pour réduire le nombre de démarrage/arrêts quand la puissance nette (la différence entre la puissance consommée par la charge et la puissance renouvelable) varie beaucoup. La minimisation du nombre de démarrages/arrêts du générateur diesel peut permettre d'éviter l'usure des moteurs diesels et leurs démarreurs et en même temps réduire la consommation du carburant.

➤ Hystérésis [PERE 2000]

Cette stratégie est souvent utilisée pour commander la déconnexion du générateur diesel. Le générateur diesel est arrêté seulement si la puissance renouvelable est supérieure à la demande de la charge. Ce surplus minimal d'énergie (ou hystérésis) peut être mesuré à partir de la variation de fréquence du réseau quand cette fréquence est fixée par le générateur diesel utilisant un régulateur type proportionnel (P) et à partir de son niveau de charge quand il utilise un régulateur type proportionnel-intégral (PI).

III-5-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le dimensionnement d'une installation hybride qui revient à déterminer le nombre nécessaire de module pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi la capacité de charge de la batterie et la capacité du groupe électrogène a utilisé car il est toujours confrontée par deux critères essentiels qui sont le gisement solaire et la demande de l'énergie .Cette gestion d'énergie s'appuie sur la stratégie de contrôle utilisés.

Ainsi, nous avons pressenté les différentes stratégies de fonctionnement qui permet la supervision d'un système hybride à être plus efficaces dans des applications particulières, en fonction des objectifs du système.

Le prochain chapitre sera consacré à l'implémentation d'une stratégie de contrôle afin d'avoir une gestion convenable de la production des sources vis-à-vis de la consommation qui permet de couvrir le besoin énergétique de l'installation, garantir une exploitation optimale de l'énergie

Chapitre III : Dimensionnement et Stratégie de fonctionnement d'un système hybride

produite et assure la sécurité de la batterie contre les surcharges et les décharges profondes ainsi les démarrages et arrêts excessive du groupe électrogène.

Chapitre IV :
implementation d'une
stratégie de contrôle
d'un système hybride

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

IV-1-Introduction

L'avantage d'un système hybride par rapport à un photovoltaïque seul, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux. Un des plus importants de ces facteurs est sans conteste la gestion de la production et du stockage de l'énergie. Une telle gestion a pour but, d'une part de limiter les dépenses en carburant et d'autre part de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. En effet, le coût du stockage représente la plus grande contrainte du coût global du système pour les installations de moyennes et de grandes puissances. Minimiser le coût du stockage et optimiser sa capacité de production est la raison essentielle de la combinaison d'un système hybride.

Nous présentons, dans ce chapitre une stratégie de contrôle d'une charge et la gestion optimale de la production d'énergie pour un système hybride tout en assurant la gestion efficace et intelligente de l'énergie électrique dans le système énergétique photovoltaïque-diesel.

IV-2-configuration du système hybride

L'alimentation d'une installation par plusieurs sources doit respecter une architecture de connexion. La figure (IV- 1) représente l'architecture adoptée par le système hybride autonome choisi dans notre étude.

La source renouvelable et le groupe électrogène sont complémentaires permettant une alimentation sans interruption à la charge alternative. Afin d'assurer cette complémentarité, un système de commutation douce s'impose. Ce système est formé par quatre commutateurs (I1, I2, I3 et I4), le premier (I1) qui relie la charge et les sources, à travers un onduleur, L'interrupteur (I2) joue le rôle d'un séparateur lorsque les batteries sont chargées, le troisième interrupteur (I3) qui permet de lancer le groupe électrogène et le quatrième (I4) interrupteur représente le mode nuit et le jour.

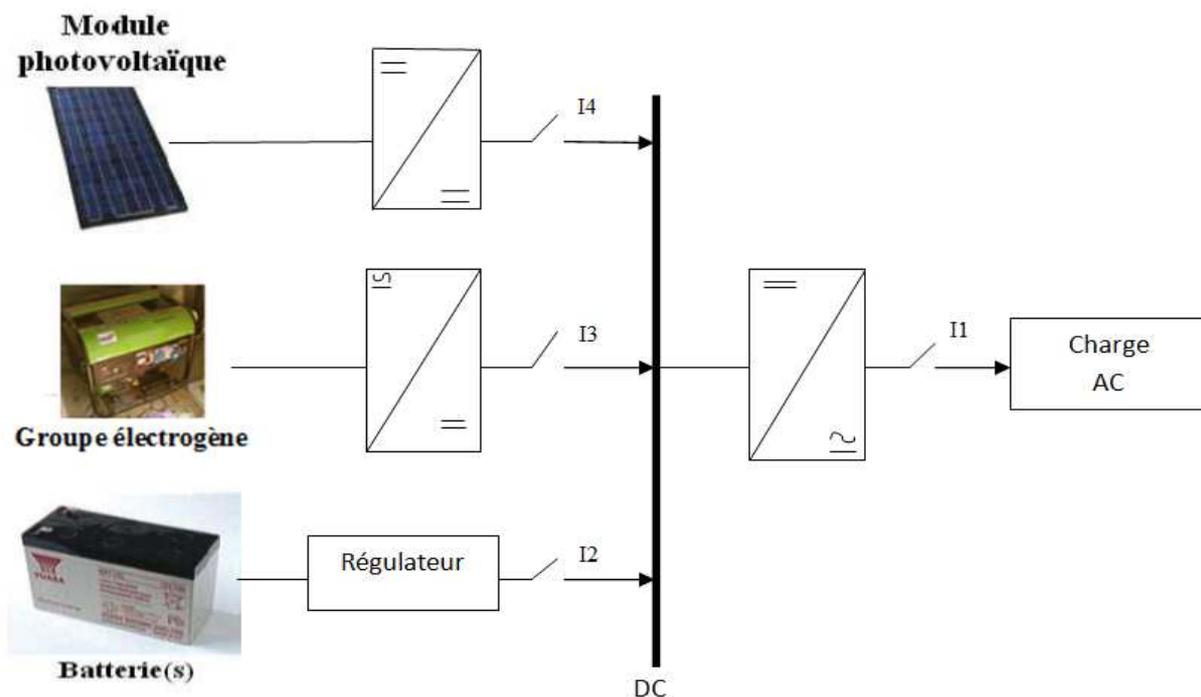


Fig IV- 1 : Configuration du système.

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

IV-3- Stratégie de contrôle

Au cours de son utilisation, une batterie placée dans un système hybride autonome peut subir : Les surcharges pour un dépassement de son SOC à 98%, les décharges profondes pour une décroissance de son SOC au dessus de 40%. De plus, l'alimentation de l'installation peut être interrompue en cas d'absence d'énergie renouvelable ou de décharge de la batterie. Partant de ces remarques, nous proposons un algorithme de gestion d'un système hybride autonome. Cette stratégie doit suivre les étapes suivantes :

- Empêcher les décharges profondes des batteries.
- Empêcher les surcharges des batteries.
- Assurer l'alimentation continue de l'installation en engageant un groupe électrogène.
- Éviter les démarrages et arrêts successifs du groupe électrogène.
- Permettre la charge de la batterie par le groupe électrogène lorsque celui-ci a démarré.
- Solliciter le maximum possible la source renouvelable.

➤ Architecture synoptique globale du système hybride

Dans cette perspective, un schéma synoptique du système hybride a été proposé comme la montre la figure (IV-2), le panneau photovoltaïque assure la production de l'énergie électrique pendant les jours de ensoleillement, il est directement connecté à un module électronique de contrôle de charge et de gestion optimale de la production pour un système hybride, qui assure la gestion automatique de l'énergie produite, ainsi que la protection de la batterie et le démarrage/arrêt du groupe électrogène en contrôlant les relais et l'affichage des résultats suivant la stratégie implémentée.

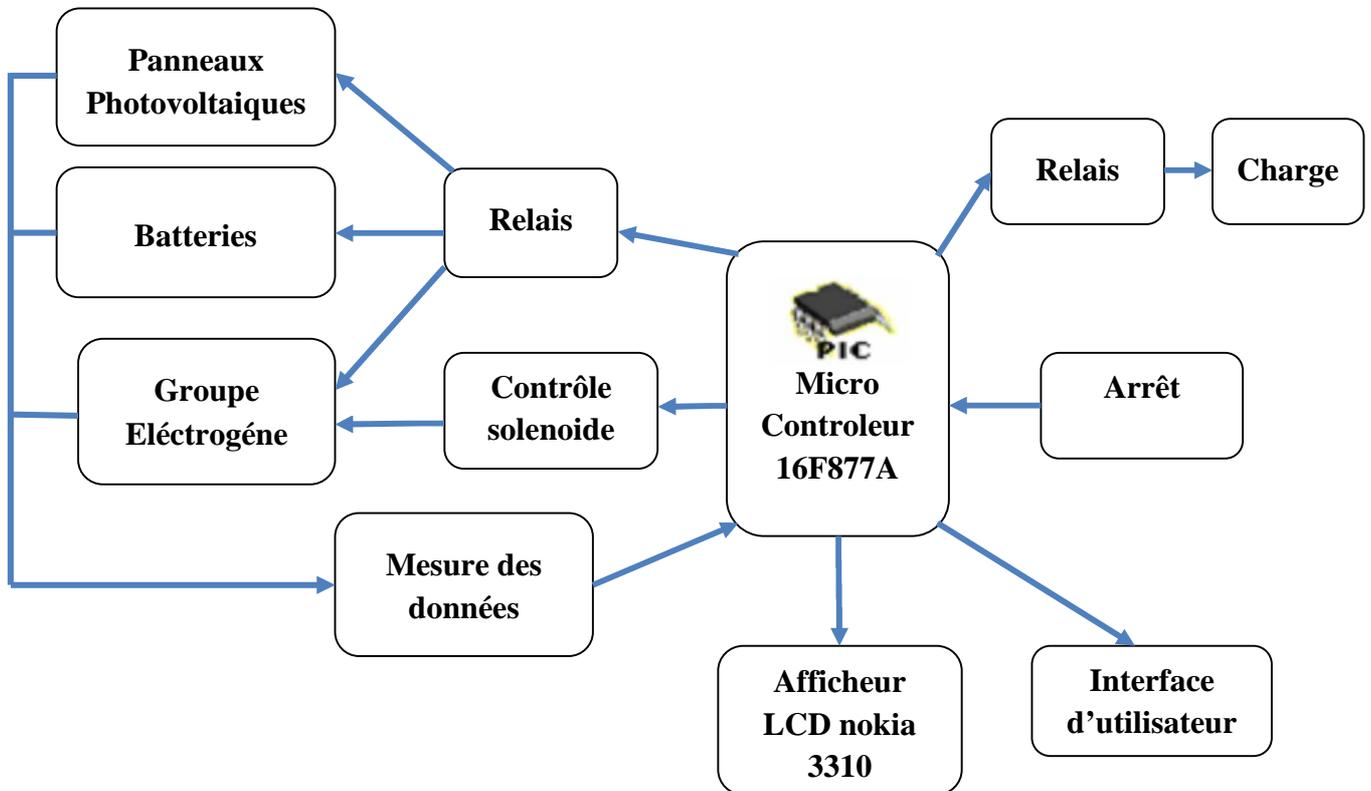


Fig IV-2 : Schéma synoptique globale du système hybride.

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

➤ Algorithme de la stratégie de contrôle

L'algorithme de la figure (IV-3) décrit les étapes du fonctionnement du système hybride.

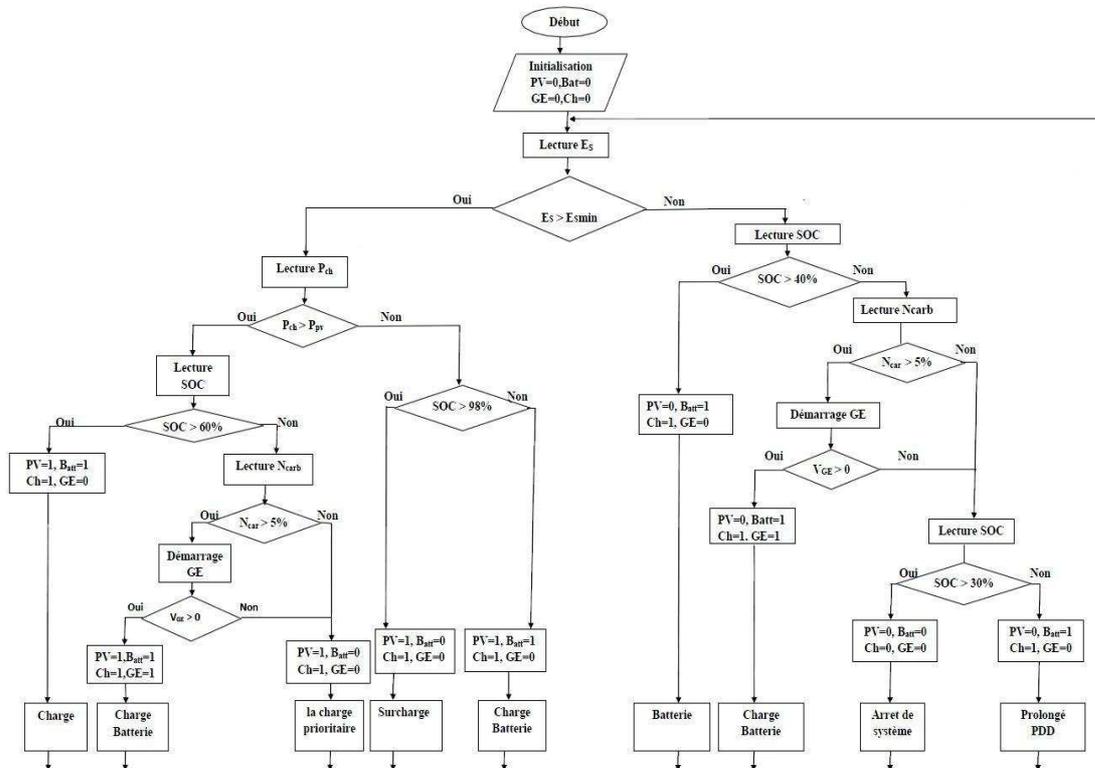


Fig IV-3 : Organigramme de la stratégie de contrôle.

Cet organigramme dépend de la valeur initiale d'irradiation estimée à partir de la mesure de courant fournir par les panneaux photovoltaïques :

- Si $E > E_{min}$ et la puissance demander par la charge est inférieur à la puissance délivrer par les panneaux, les batteries ce charge à travers la puissance délivrer par cette dernier, si puissance de la charge est supérieure à la puissance des panneaux, les batteries interviendrons pour satisfaire la charge, si les batteries se décharge haut de-là de son SOC ($>60\%$) le groupe électrogène prend la relève pour satisfaire la charge et au même temps les batteries se charges.
- Si $E < E_{min}$ et les batteries est supérieur à son SOC ($>40\%$), la charge sera alimenté par les batteries si non le groupe électrogène interviendra pour compenser le manque d'énergie et les batteries se charge au même temps.

IV-4-Programmation et compilation du microcontrôleur PIC 16F877A

IV-4-1-Structure d'un PIC

Les PIC, au même titre que les microprocesseurs, sont composés essentiellement de registres ayant chacun une fonction bien définie. Les PIC possèdent également des

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

périphériques intégrés, tels qu'une mémoire EEPROM, un minuteur (timer), des ports d'entrées/ sorties ou bien encore un convertisseur analogique/numérique.

Selon le type de PIC utilisé, on retrouvera en interne un certain nombre de registres et périphériques possédant des caractéristiques différentes. Les différences de caractéristiques selon le PIC utilisé sont :

- La taille de la RAM interne.
- La mémoire EEPROM intégrée.
- Le type de mémoire programme : FLASH, EPROM ou OTP et la taille de celle-ci.
- Le timer intégré.
- Les convertisseurs analogique/numérique intégrés.

La famille des PICs est subdivisée en 3 grandes familles : La famille Base-Line, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits, la famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits, et la famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits.

IV-4-2- Microcontrôleur

Un microcontrôleur est une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, à savoir microprocesseur, des mémoires et des périphériques (ports, timers, convertisseurs...). Chaque fabricant a sa ou ses familles de microcontrôleur. Une famille se caractérise par un noyau commun (le microprocesseur, le jeu d'instruction...).

➤ Utilisation du microcontrôleur PIC16F877A

Le PIC 16F877A possède des instructions très puissantes donc un programme à développer réduit, une programmation simple grâce au mode série. En fait la cause principale du choix du 16F877A est selon ses caractéristiques qui sont :

- 35 instructions codées sur 14 bits, données sur 8 bits.
- 14 interruptions.
- Programmable sur site ICSP (In Circuit Serial Programming).
- Fréquence de fonctionnement élevée, jusqu'à 20 Mhz.
- Une mémoire vive de 192 à 368 octets.
- Une mémoire EEPROM pour sauver des paramètres de 128 à 256 octets.
- Une mémoire morte de type FLASH de 4 Kmots à 8 Kmots (1mot = 14 bits).
- De 21 à 32 Entrées et sorties suivant le type de micro contrôleur.
- Chaque sortie peut sortir un courant maximum de 25mA.
- Plusieurs modes de fonctionnements faibles consommation.
- Une seule tension d'alimentation 2 ou 5V.

➤ Architecture externe du PIC16F877A

Le PIC 16F877A est un circuit intégré de 40 broches, il possède 33 lignes d'entrées/sorties : 6 pour le port A, 8 pour le port B, 8 pour le port c, 8 pour le port D et 3 pour le port E. (Figure IV-4)

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

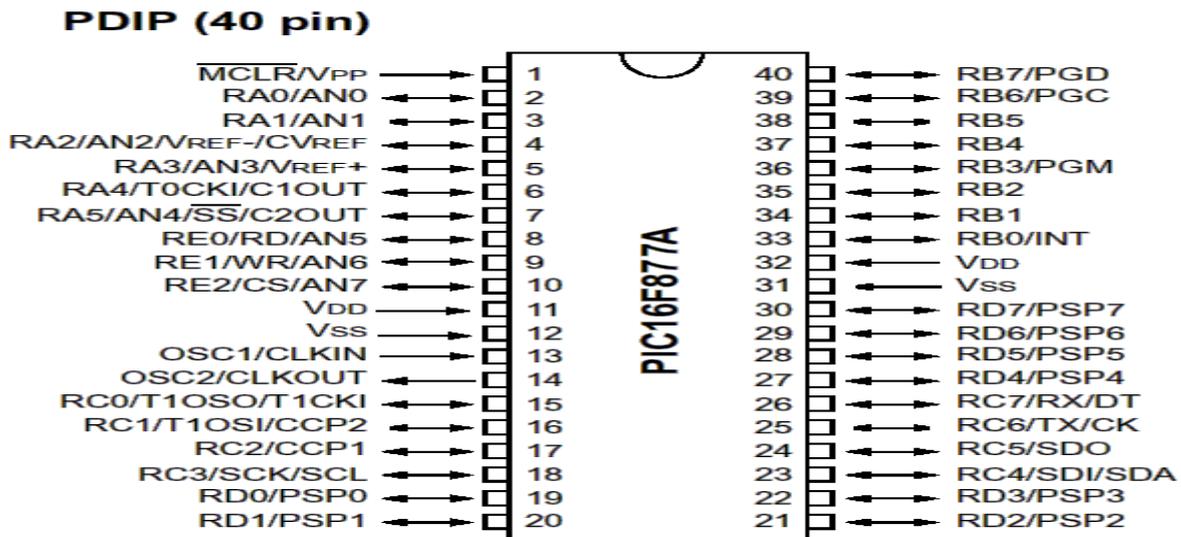


Fig IV- 4 : Architecture externe du PIC16F877A.

➤ Description des broches

VSS, VDD : Alimentation.

OSC1, 2 : Horloge.

RA0-5 : Port A.

RB0-7 : Port B.

RC0-7 : Port C.

T0CKL : Entrée de comptage.

INT : Entrée d'interruption.

MCLR : Reset, 0V.

RD0-7 : Port D.

RE0-2 : Port E.

Alimentation en Exécution : 5V

IV-4-3-Compilation dans le logiciel PIC CCS

IV-4-3-1-Présentation du logiciel

Le « PIC CCS » est un compilateur pour PIC Conçu par la société « Custom Computer Services », Il est conçu pour la programmation des microcontrôleurs à l'aide du langage C et du compilateur C.

Il consiste à traduire un programme écrit dans un langage compréhensible par l'homme, en un fichier code en langage machine utilisé par le microcontrôleur.

IV-4-3-2-Compilation

Après avoir élaboré l'algorithme la stratégie de contrôle de notre système hybride, à l'aide de logiciel PIC CCS nous avons effectué la programmation en langage C comme le montre la figure(IV-5)

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

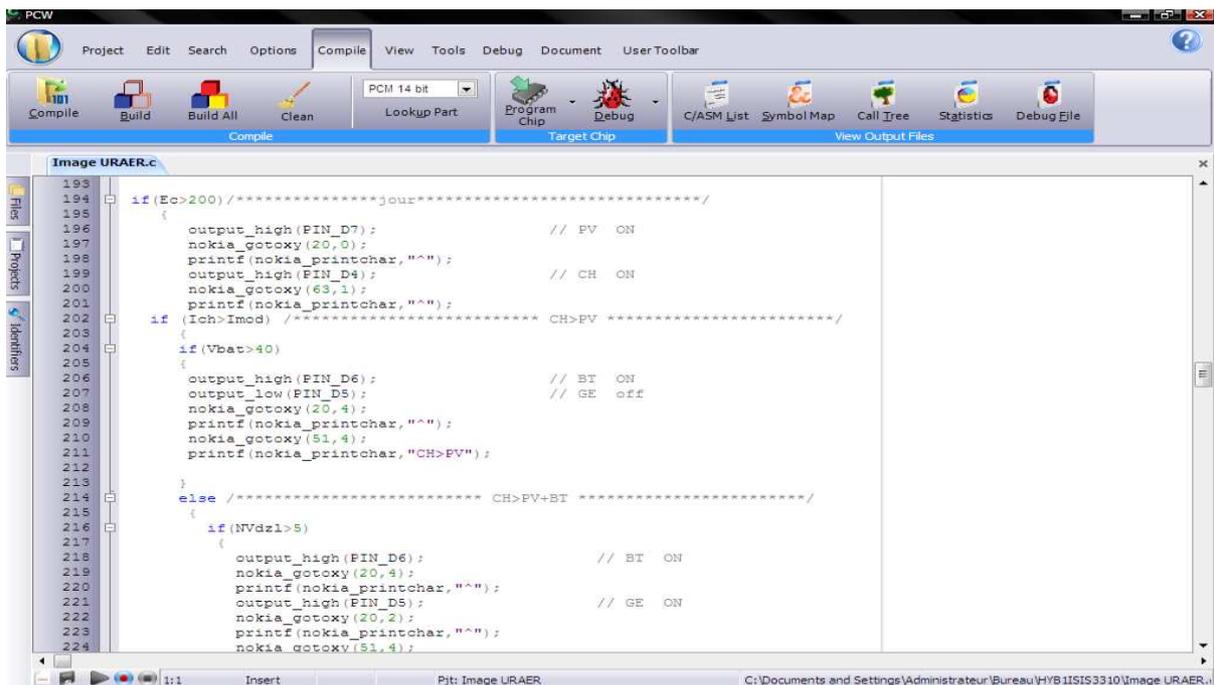


Fig IV- 5 : Fenêtre du logiciel de compilation logiciel PIC CCS.

IV-5-Simulation

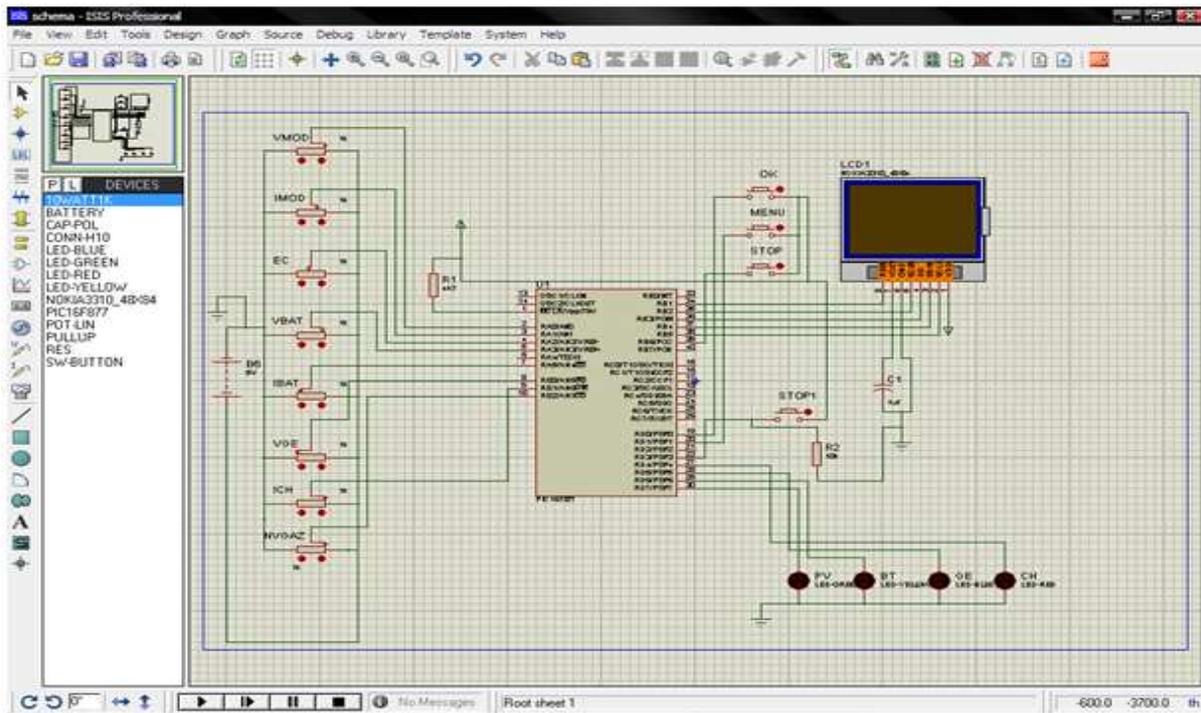
Pour cela on utilisé le logiciel ISIS qui est un très bon logiciel de simulation en électronique.

Isis est un éditeur de schémas qui intègre un simulateur analogique, logique ou mixte. Toutes les opérations se passent dans cet environnement, aussi bien la configuration des différentes sources que le placement des sondes et le tracé du schéma . Ainsi qu'un éditeur de Typon ARES pour concevoir son typon à partir d'un chevelu et d'un schéma saisi sous ISIS.

La simulation permet d'ajuster et de modifier le circuit comme si on manipulait un montage réel. Ceci permet d'accélérer le prototypage. Il faut toujours prendre en considération que les résultats obtenus de la simulation sont un peu différents de celles du monde réel, et ce dépend de la précision des modèles *SPICE*¹ des composants et de la complication des montages.

*SPICE*¹: (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) est un logiciel de simulation généraliste de circuits électroniques analogiques. Il permet la simulation au niveau du composant (résistances, condensateurs, transistors) en utilisant différents types d'analyses

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride



FigIV- 6 : Fenêtre du logiciel de simulation Proteus ISIS.

Pour la simulation on dispose d'un afficheur à cristaux liquides LCD NOKIA 3300 (Liquid Crystal Display) qui nous permet d'afficher les résultats de simulation ainsi le menu afin de lire les données des composants du système (panneau, batterie, groupe électrogène et la charge), on à aussi des feux lumineux qui nous indique qu'elle est l'interrupteur des composants qu'est ouvert ou fermé, lorsque l'un des feux s'allume veut dire que l'interrupteur est fermé si non il est ouvert (le vert pour l'interrupteur (I4), le jaune pour l'interrupteur (I2), le rouge pour l'interrupteur (I1) et le bleu pour l'interrupteur (I3)).

IV-6-Résultat de simulation :

Quelques résultats de simulation sont ici présentés :

1)- $E_s > E_{smin} = 200 \text{W/m}^2$

- $P_{pv} > P_{ch}$ et $SOC < 98\%$

Dans ce cas l'organigramme prévoit que la charge sera alimentée par les panneaux ou même temps les batteries se charge comme le montre la figure (IV-7).

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

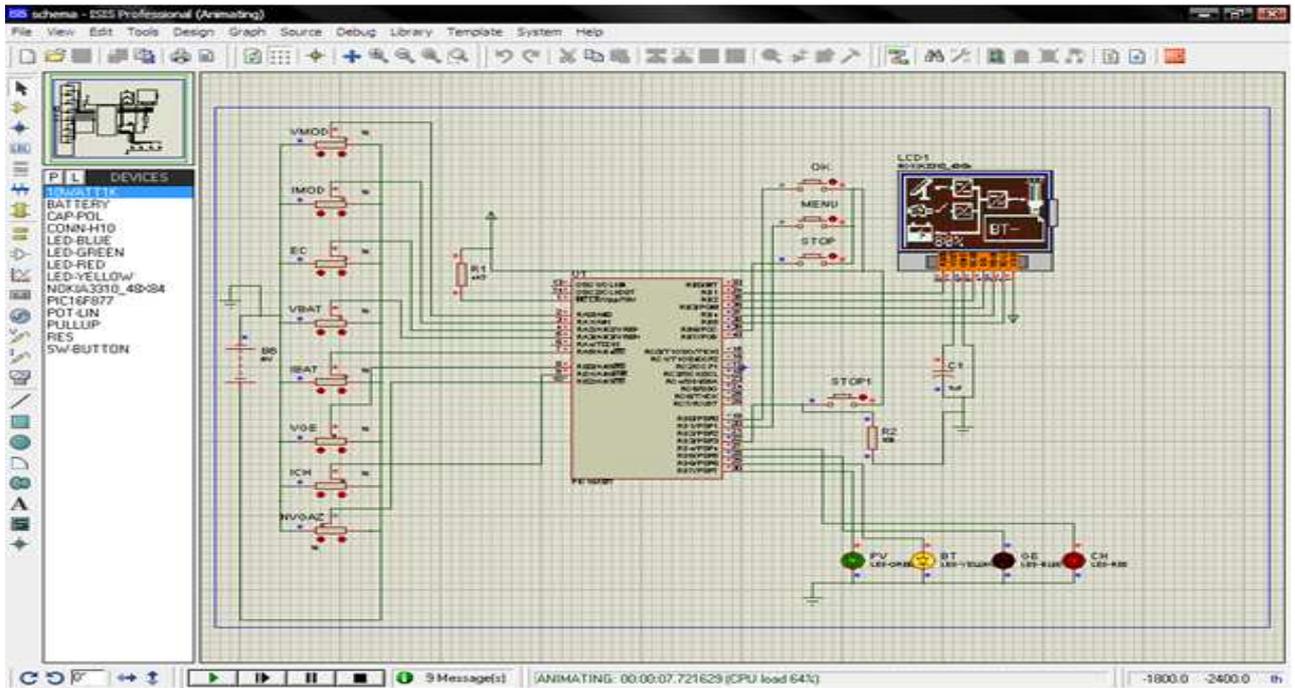


Fig IV-7 : Simulation pour le SOC<98%.

- $P_{pv} > P_{ch}$ et $SOC > 98\%$

Dans ce cas l'organigramme prévoit que les panneaux alimenteront la charge uniquement comme le montre la figure (IV-8).

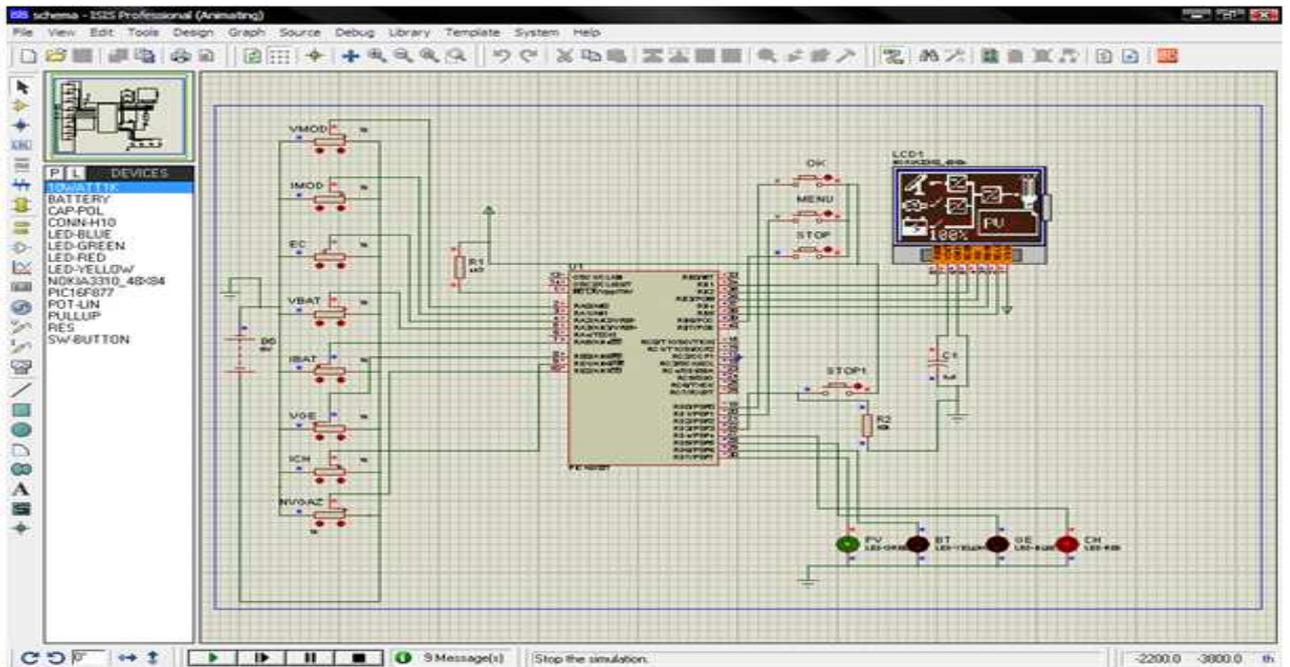


Fig IV-8 : Simulation pour $P_{pv} > P_{ch}$ et $SOC > 98\%$.

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

- **$P_{pv} < P_{ch}$ et $SOC > 60\%$**

Dans ce cas l'organigramme prévoit l'intervention des batteries pour assurer l'alimentation de la charge comme le montre la figure (IV-9).

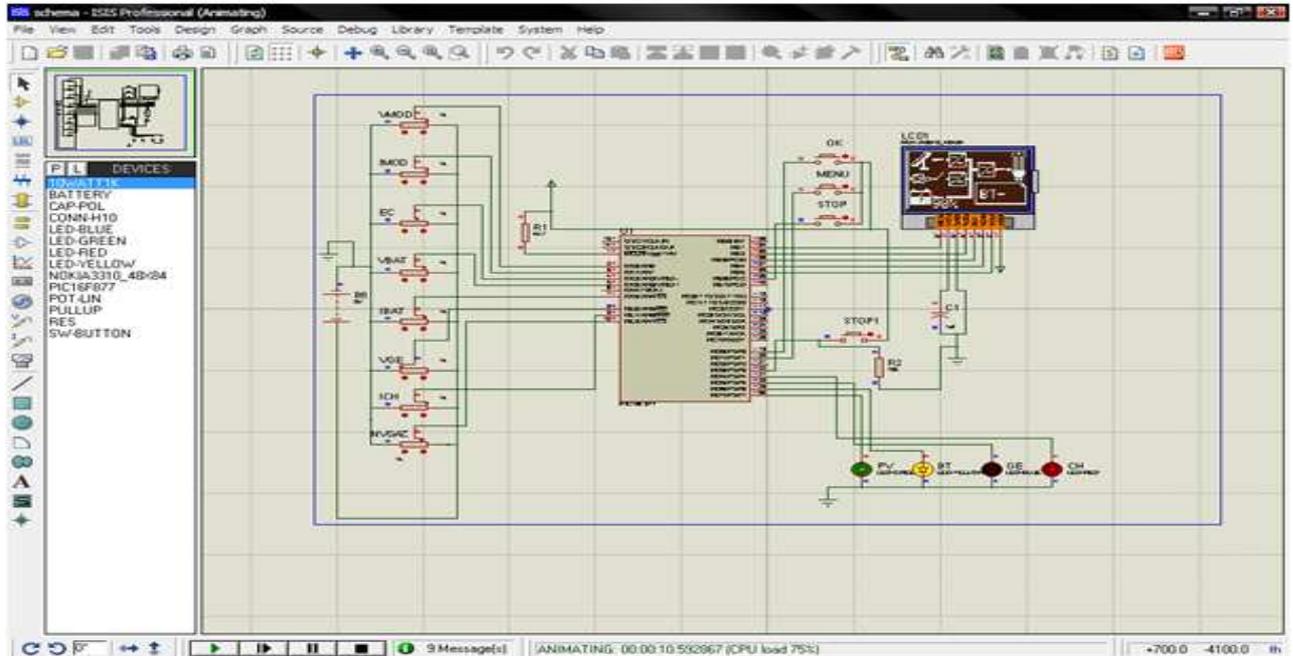


Fig IV-9 : Simulation pour $P_{pv} < P_{ch}$ et $SOC > 60\%$.

- **$P_{pv} < P_{ch}$ et $SOC < 60\%$**

Dans ce cas l'organigramme prévoit le démarrage du groupe électrogène afin de satisfaire la charge ainsi la recharge des batteries comme le montre la figure (IV-10)

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

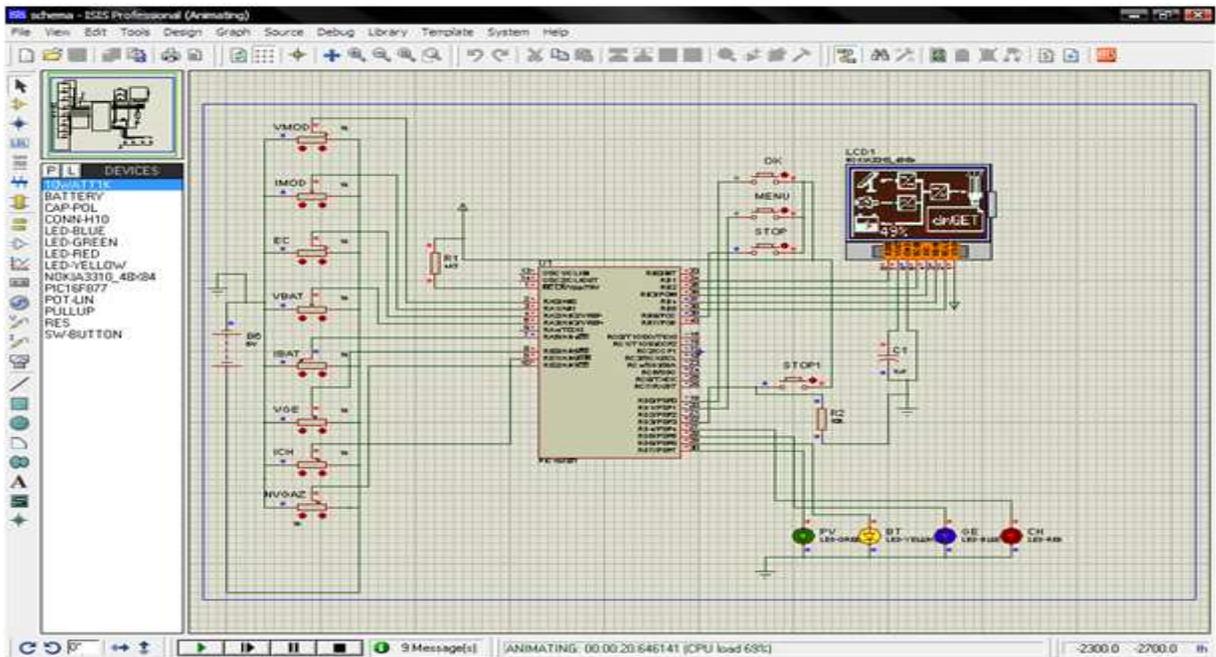


Fig IV-10 : Simulation pour $P_{pv} < P_{ch}$ et $SOC < 60\%$.

2) $E_s < E_{smin}$

a) $SOC > 40\%$

Dans ce cas l'organigramme prévoit que la charge sera assurée par les batteries comme l'indique la figure (IV-11).

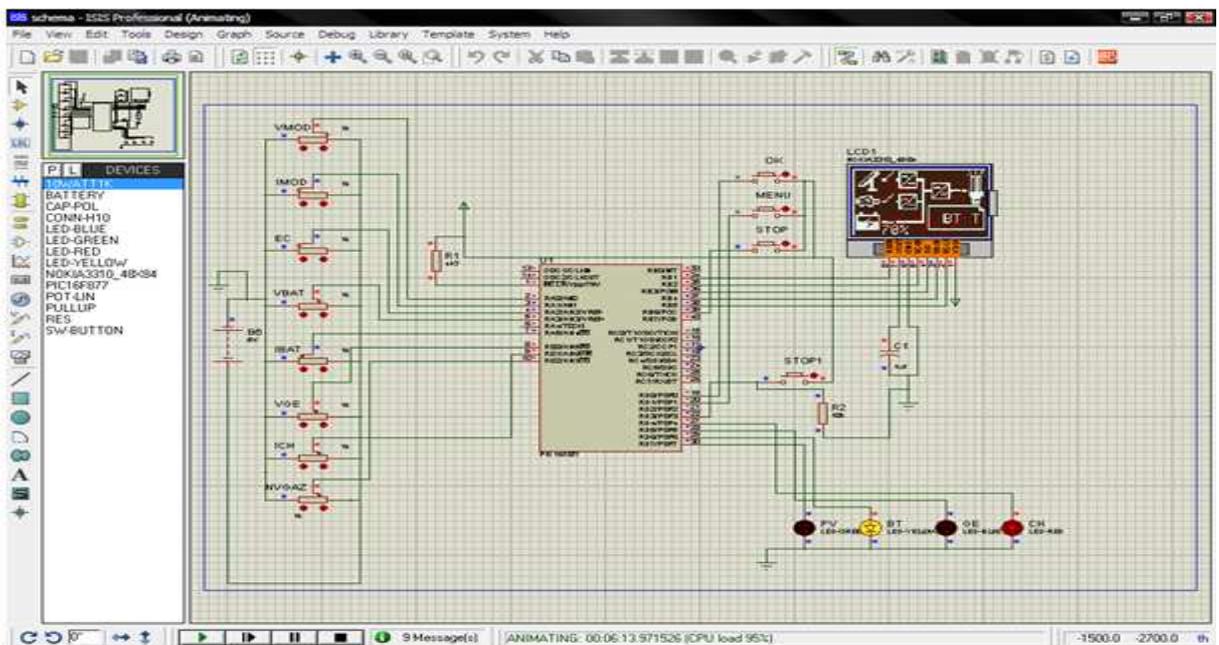


Fig IV-11 : Simulation pour $E_s < E_{smin}$ et $SOC > 40\%$.

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride

a) SOC<40%

Dans ce cas le groupe electrogene démarre pour assurer l'alimentation de la charge et la recharge des batteries comme le montre la figure (IV-12).

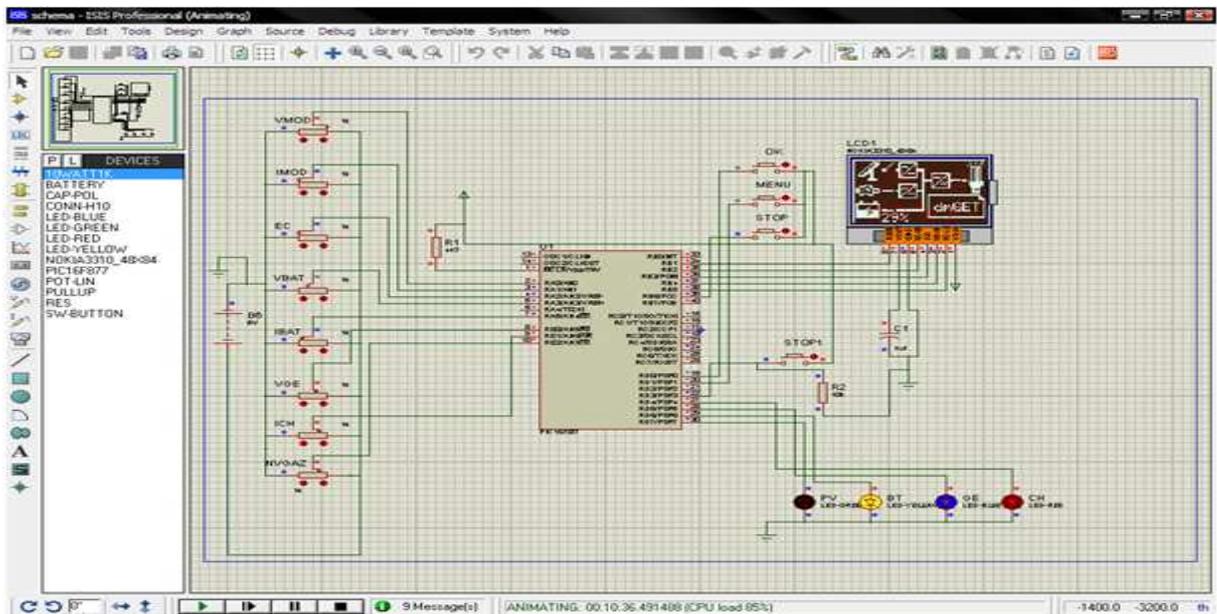


Fig IV-12 : Simulation pour $Es < Es_{min}$ et $SOC < 40\%$.

IV-7-Implémentation du contrôleur et les composants du système

En se basant sur le schéma de simulation, tel que proposé à la figure IV-6, le circuit électronique a été réalisé et de tout les composants du système hybride énergétique a partir du dimensionnement fait dans le chapitre III.

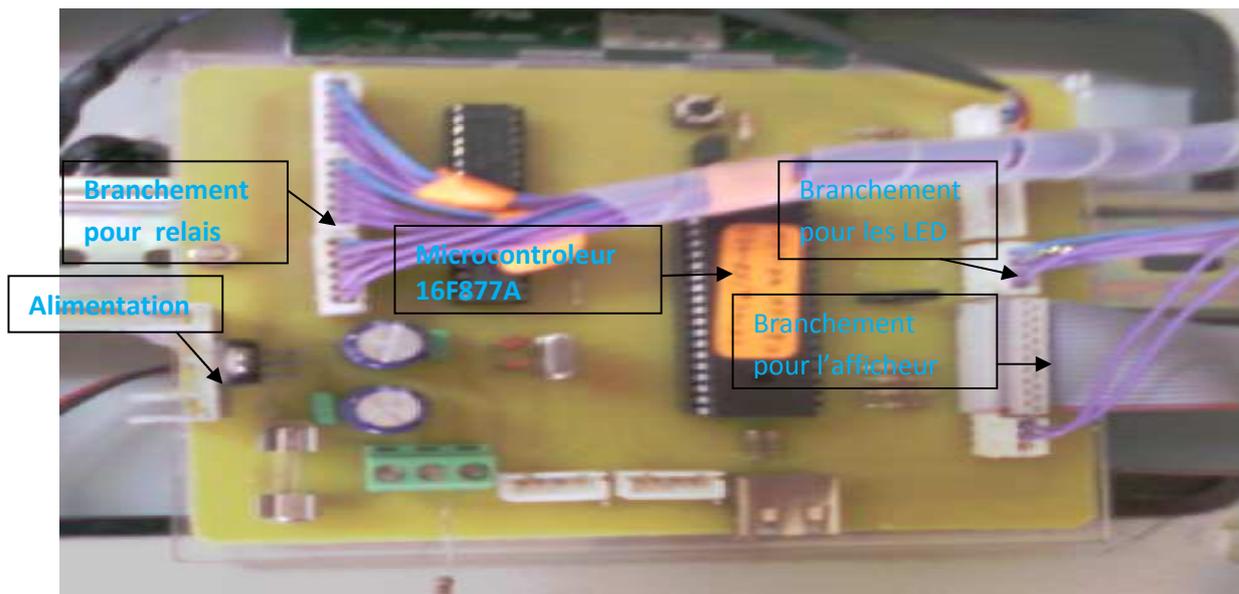


Fig IV-13 : Module électronique de gestion

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride



FigIV-14 : Armoire pour le branchement des cables 60



FigIV-15 : Les panneaux(panneau 130Wc et un voltage de 24V).

Chapitre IV : Implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride



FigIV-16 :Le generateur diesel et l'empacement des batteries

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons implémenté une stratégie de contrôle pour systèmes hybrides photovoltaïque-diesel capable d'intervenir dans la production et la gestion de l'énergie.

Partant de la configuration du système hybride proposé, ainsi que la stratégie de contrôle, nous avons élaboré le schéma synoptique du module électronique qui nous a servi à concevoir et simuler le module sur le logiciel ISIS après avoir programmé et compilé le microcontrôleur dans le logiciel pic ccs.

D'après les résultats de simulation, nous avons constaté que le microcontrôleur répond à la stratégie de contrôle que nous avons programmé dans le pic 16F877A et aussi l'afficheur qui nous a permis de voir les résultats.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Le travail présenté dans ce mémoire, concerne à l'étude et implémentation d'une stratégie de contrôle d'un système hybride pour un fonctionnement autonome constitué des panneaux photovoltaïques, groupe électrogène et batteries de stockage. A travers se projet nous avons traité les points suivant :

- Le premier chapitre, consacré sur une étude générale sur l'énergie photovoltaïque on se base sur la conversion photovoltaïque ainsi sur les différentes caractéristiques et paramètre d'influence sur une cellule photovoltaïques. Nous remarquons que l'énergie photovoltaïque est une énergie qui présente un certain nombre d'avantages qu'il faut exploiter au mieux et faire face a tous ses inconvénients.
- En suite dans le deuxième chapitre une description générale d'un système hybride autonome a été faite à fin de nous permettre d'avoir une bonne compréhension du fonctionnement du système et les limites d'utilisation des composants.
- Pour le troisième chapitre nous avons présenté quelques stratégies de fonctionnement en fonction des objectifs des systèmes et un dimensionnement d'un système hybride autonome a été faite en se basant sur les données du gisement solaire de la région de Ghardaïa (Algérie) qui représente un potentiel solaire très élevée.
- Enfin dans le chapitre quatre une stratégie de contrôle implémenté sur un module électronique qu'est capable d'intervenir dans la production et la gestion d'énergie d'un système hybride après avoir fait la conception de ce module sur le logiciel ISIS qui nous a permet de voir les résultats de simulation et le comportement du microcontrôleur vis-à-vis du système et ces résultats montre que le module répond à la stratégie de contrôle implémenté dans le microcontrôleur PIC16F877A.

En résumé, on peut dire qu'avec une installation hybride et une bonne stratégie de contrôle on peut atteindre des objectifs principaux qui sont :

- Alimenter les charges électriques sans interruption.
- Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables.
- Minimiser la consommation en combustible fossile.
- Protégé les composants du système donc prolongé leurs durée de vie.

Comme perspective, notre travail reste, comme toute œuvre humaine, perfectible, nous recommandons une amélioration de la conception du module électronique et la réalisation pour l'exploitation, afin d'apporter une amélioration significative de la gestion de l'énergie dans les systèmes hybrides déconnectés du réseau.

Bibliographie

Bibliographie

[ABAD 2011] : S. Abada « Etude et Optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur SEPIC » Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie électrique pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc).2011

[AKAS 2010] : Akassewa Tchapo SINGO « Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome » thèse doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010

[AMRA 2006] : O. Amrani « Etude, simulation et réalisation d'une centrale hybride » mémoire de magister, département électrotechnique, université de Bejaïa 2006.

[BAYR 2006] : Bayram Tounsi « Etude comparative de groupes électrogènes embarqués à large gamme de vitesse variable associant machines à aimants permanents et conversion statique » thèse de doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, France 2006.

[BELH 2008] : Belhadj Mohammed « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome » mémoire de magister, universitaire de Bechar 2008.

[BOON 2005] : Boonyang Plangklang « an embedded interactive monitoring system for PV-Diesel hybrid plants in rural areas » université Kassel, Allemand février 2005.

[CLEM 2006] : Clément Tranain « Etude comparative de panneaux solaires photovoltaïques » Rapport de stage de fin de D.U.T. Mesures Physiques Université Paris VII 2, place Jussieu 75005 Paris Mai 2006

[ELHA 1999] : Elhadidy, M.A., Shaahid, S.M., (1999). Feasibility of hybrid (wind + solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia. Renewable Energy, vol. 16, pp. 970-976, 1999

[HASN 2010] : Y. Hasni, M. Chaabene « réseau électrique hybride autonome » international renewable energy congress, novembre 2010 Sousse Tunisie

[HASS 2010] : Hassini née Belghitri Houda « Modélisation, Simulation et Optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque », Mémoire de magister Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen 2010.

[JULI 2007] : Julia Schiffer, Dirk Uwe Sauer, Henrik Bindner, Tom Cronin, Per Lundsager, Rudi Kaiser « Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems », Journal of Power Sources n°168, pp. 66-78, 2007

Bibliographie

[KLEI 2002] : W.Kleinkauf, mohamed.I.A.Ibrahim, decentralized hybrid renewable energy systems, a dissertation at university of kassel, germany, 2002.

[LECL 2001] : L.Leclercq «Modélisation et simulation d'un stabilisateur cinétique de réseau associé à une éolienne et un générateur diesel», Mémoire de Mastère soutenu en septembre 2001. Ecole Centrale de Lille.

[MAHM 2007] : K.Mahmoude, A.Tsamda « Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques » projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état Ecole National polytechnique 2007.

[MAJI 2010] : Majid Zandi «Contribution au pilotage des sources hybrides d'énergie électrique» thèse de doctorat, Université nancy, France2010.

[MALI 2006] : Malika Madani « réalisation des couches antireflets dans les cellules solaires a couches minces», thèse de magister en physique Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen 2006.

[MOHA 2007] : S. Mohamed Ait Cheikh «étude, investigation et conception d'algorithmes de commande au système photovoltaïque » thèse de doctorat, école national polytechnique Alger 2007.

[MANW 1996] : J. F. Manwell, A, Rogers, G.Hayman, C.T. Avelar, J.G. McGowan, « hybrid2- A hybrid system simulation model. Theory manual », NREL Subcontract XL-11126-1-1, 1996.

[MUNU 2004] : J. Munoz, L. Narvarte, E. Lorenzo « First operating year of two village PV-diesel plants in the south of Morocco »19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 7-11 Paris, France, pp. 3462-3465, June 2004.

[PERE 2000] : A.Pereira, « Modular supervisory control for hybrid power systems », Riso-R-1202(EN) 2000

[PETI 2009] : M. Petibon Stéphane « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques » thèse de doctorat l'Université Toulouse France 2009.

[PIPA 2004] : M.Pipattanasomporn, « A study of remote area internet access with embedded power generation », Etd-12272004-141318, Virginia Polytechnic Institute, 2004

[ROYE 1998] : J. Royer, T. Djiako, E.Schiller, B.Sada Sy « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, IEPF/Université d'Ottawa / EIER / CREPA.1998

Bibliographie

[SEMA 2011] : C.SEMASSOU « Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétiques adaptés aux besoins du benin »Thèse de doctorat , Université Bordeaux1, décembre 2011.

[STOY 2007] : L. Stoyanov, G. Notton et V.Lazarove « Optimisation des systèmes multi sources de production a énergie renouvelable » revue des énergies renouvelables Vol.10 N°1, pp,1-18, 2007.

[STOY 2011] : L. Stoyanov « Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables », Thèse de doctorat à l'Université Technique de Sofia, octobre 2011.

[VECH 2005] : I.VECHIU « Modilisation et analyse de l'integration des energies renouvelables dans un reseau autonome »,thèse de Doctorat à l'Université du Havre, France 2005.

[INST 2012] : Installations Photovoltaïques Autonomes Guide pour le dimensionnement et la réalisation Diffusion Swissolar, Case postale 9, 2012 Colombier.

Site Internate :

[AREB] : AREBORENERGIE, site Internate
<http://www.areborenergie.fr/encyclopedie/index.php/Branchement> , 24 Mars 2012.

[ENER] : ENERGIE, site Internate
<http://WWW.energie-environnement-upmc.fr/userfiles/file/cours> ,7Avril 2012.

[WIKI] : WIKIPEDIA, site Internate,
http://fr.wikipedia.org/wiki/Module_solaire_photovoltaique , 10Avril 2012

Annexe

ANNEXE

Annexe (A)

Rapport de dimensionnement du système hybride (photovoltaïque-diesel) sur HOMER.

Sensitivity Results		Optimization Results									
Double click on a system below for simulation results.											
	PV (kW)	Label (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	0.60	1.0	4	2.5	\$ 276,186	11,789	\$ 411,403	28.160	0.79	117	360
	0.50	2.0	8	3.0	\$ 276,141	11,833	\$ 411,862	28.191	0.65	193	293
	0.60	1.0	6	2.5	\$ 279,519	11,540	\$ 411,877	28.192	0.80	110	340
	0.60	1.0	8	2.0	\$ 281,103	11,425	\$ 412,144	28.211	0.80	108	331
	0.60	1.0	2	1.0	\$ 267,603	12,619	\$ 412,339	28.224	0.71	177	538
	0.40	3.5	4	2.5	\$ 274,263	12,065	\$ 412,649	28.245	0.51	286	278
	0.50	2.0	10	1.0	\$ 272,474	12,229	\$ 412,746	28.252	0.66	217	455
	0.50	2.0	10	2.0	\$ 275,974	11,931	\$ 412,824	28.257	0.65	193	293
	0.40	3.0	10	3.0	\$ 271,013	12,370	\$ 412,898	28.262	0.51	281	284
	0.60	1.0	10	1.0	\$ 280,936	11,505	\$ 412,902	28.262	0.80	107	325
	0.40	3.0	10	1.5	\$ 265,763	12,833	\$ 412,956	28.266	0.51	317	446
	0.40	3.0	8	1.0	\$ 260,679	13,311	\$ 413,354	28.293	0.52	361	639
	0.40	3.0	2	3.5	\$ 259,429	13,424	\$ 413,406	28.297	0.51	337	529
	0.60	1.0	4	3.0	\$ 277,936	11,821	\$ 413,520	28.305	0.79	117	360
	0.50	2.0	8	3.5	\$ 277,891	11,865	\$ 413,979	28.336	0.65	193	293
	0.60	1.0	6	3.0	\$ 281,269	11,572	\$ 413,994	28.337	0.80	110	340
	0.40	3.5	6	2.5	\$ 277,596	11,902	\$ 414,111	28.345	0.51	286	267
	0.40	3.5	4	1.5	\$ 270,763	12,507	\$ 414,215	28.352	0.52	320	411

Figure A-1 : Configuration du système en fonction du cout net actuel.

Cas d'étude

Charge, valeur moyenne	3.5KWh/j
Eclairage, valeur moyenne	6.89KWh/m ² /j
4KW diesel prix du carburant	13,75 DA/L

Architecture du système

PV	1.04KW
Diesel	4KW
Batterie	6*105Ah
Onduleur	5 KW
Stratégie de fonctionnement	cycle charging

Bilan de cout

Cout net actuel	411.959 ,7 DA
Cout moyen unitaire annuel	28.276 DA/KWh

ANNEXE

Tableau A-1 : Ventilation des frais

Composant	Capital initial	Capital annualisé	Cous de remplacement annuel	Fonctionnement & maintenance annuelle	Consommation de carburant annuelle	Cout total annualisé
	(DA)	(DA/an)	(DA/an)	(DA/an)	(DA/an)	(DA/an)
PV	230.769	20.120	0	0	0	20.120
diesel	30.000	2.698	0	2.000	1.436	5.698
batterie	10.000	872	863	1.000	0	2.549
onduleur	8.500	763	318	0	0	923
total	279.519	24.370	1.181	3.000	1.436	29.307

Tableau A-2 : Production d'énergie électrique annuelle

Composant	Production (kWh/an)	fraction
PV	1.324	80%
Diesel	333	20%
Total	1.657	100%

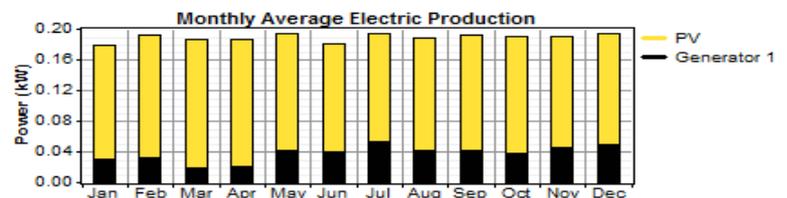


Tableau A-3 : Consommation d'énergie électrique annuelle

charge	Consommation (KWh/an)	fraction
Charge AC	1.274	100%
total	1.274	100%

variable	Valeur	unité
Fraction renouvelable	0.799	
Excès d'énergie	0.628	kWh/an
Charge non satisfait	0.000000924	kWh/an

Tableau A-4 : Paramètres de fonctionnement PV

Variable	valeur	unité
Capacité totale	3.63	KWh/J
Puissance moyenne	0.600	KW
Puissance minimale	0.00	KW
Puissance maximal	0.589	KW
Pénétration PV	104	%
Facteur de capacité	25.2	%
Heures de fonctionnement	4.390	h/an

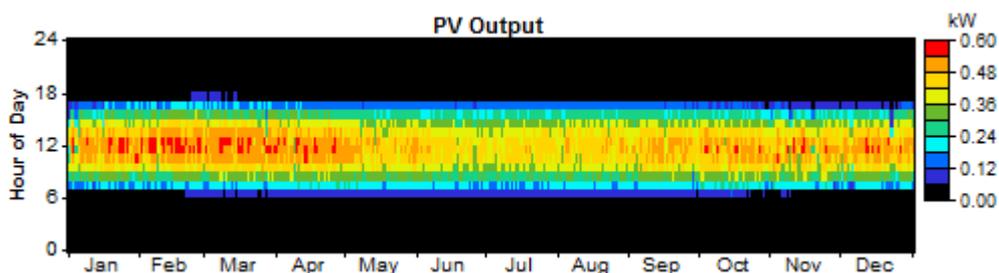


Figure A-2 : Puissance journalière moyenne Pv

Tableau A-5 : Paramètre du moteur diesel

Variable	Valeur	unité
Heures de fonctionnement	340	h/an
Nombre de démarrages	44	Démarrage/h
Durée de vie	15	an
Puissance moyenne	0.979	KW
Puissance minimale	0.300	KW
Puissance maximale	4	KW
Carburant utilisé annuellement	110	L /an
Utilisation spécifique du carburant	0.342	L /KW
Rendement électrique moyen	30.6	%

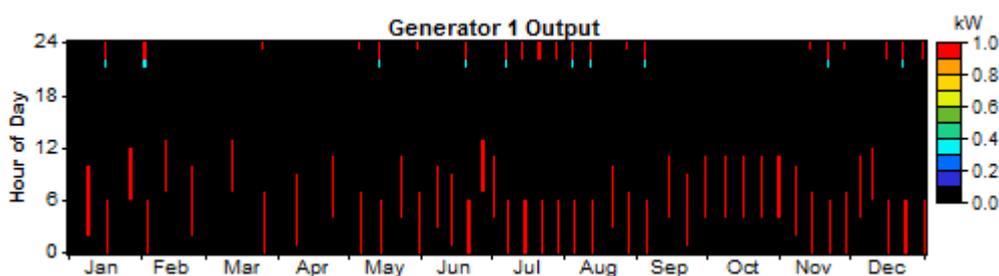
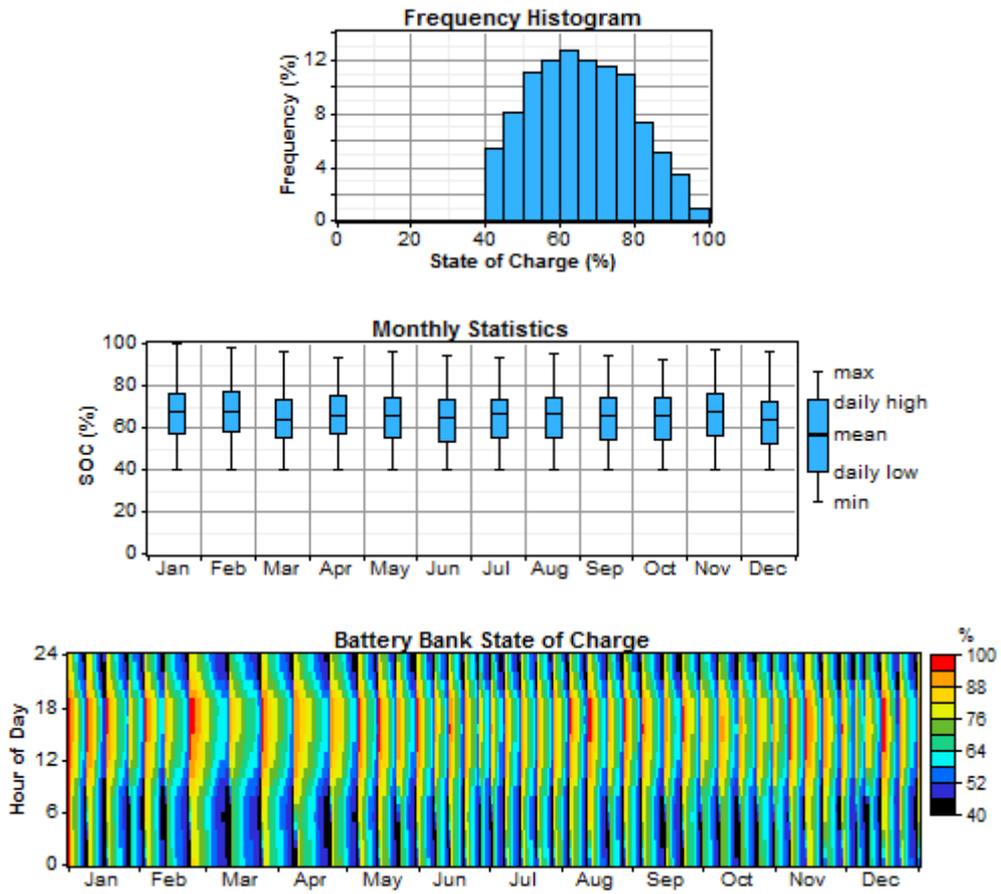


Figure A-3 : Puissance journalière moyenne pendant une année

Tableau A-6 : Paramètres des Batteries 105Ah/12V

Variable	Valeur	unité
Capacité total des batteries	7.56	KWh
Durée de vie des batteries	8 .38	an
Autonomie des batteries	31 .2	h

ANNEXE



Figures A-4 : Etat de charge de la batterie au court de l'année.

Annexe (B)

Tableau B-1 : Caractéristique du panneau photovoltaïque

Performances électriques sous la condition standard de test STC	
Puissance maximale	130 W (+/- 5%)
Tension maximale	34,6 V
Courant maximal	3,94 A
Tension circuit ouvert (Voc)	43,2 V
Courent de court circuit (Isc)	3,76 A
Coefficient de température de Voc	-1,06×10 ⁻¹ V/°C
Coefficient de température de Isc	5,01×10 ⁻³ A/°C
Caractéristiques du module	
Nombre de cellule par module	72 cellules
Dimensions (longueur × largeur × épaisseur)	1000×1000×36 mm
Poids	16,5 kg

Tableau B-2 : Caractéristique de la batterie

Spécifications	Valeurs
Tension nominale	12V
Capacité nominale C20	105Ah
cycles	1200 à 80% de décharge
durée de vie	10 ans

Tableau B-3 : Caractéristique du groupe électrogène

Spécifications	Valeurs
Nom de marque	AMICO
Type de rendement	Monophasé à C.A.
Fréquence	60HZ
Tension évaluée	220V, 120/240V
puissance	5kva
Carburant	Diesel
Autonome	3,7L/2h