

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderahmane MIRA - BEJAIA -  
Faculté de Technologie  
Département Génie Electrique



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa

## Mémoire de Fin d'études

Présenté par

**Mr AIT KHELIFA NADIR. – Mr BORDJAH LOCIF**

Et soutenu le :

28 Juin 2012

**En vue de l'obtention du Diplôme de Master Recherche**

*Filière* : Electrotechnique

*Spécialité* : Commande des systèmes électriques

### *Thème*

**Elaboration d'une stratégie de contrôle pour les systèmes  
énergétiques hybrides (PV/Groupe électrogène)  
implémentée sur le PIC18F4550**

*Devant le jury :*

**Mr AOUZELLAG Djamel**

*Maître de conférences UAMB*

*Président*

**Mme RAHRAH**

*Maître Assistante UAMB*

*Examinatrice*

**Mr TOUNSI Mohamed**

*Maître de conférences UAMB*

*Promoteur*

**Mr ADOUANE Mabrouk**

*Chercheur URAER-Ghardaïa*

*Co-promoteur*

**Promotion 2011-2012**

## *Remerciement*

*En premier lieu : Dieu Merci.*

*On adresse nos vifs remerciements à M. ADOUANE Mabrouk pour sa disponibilité et ses précieux conseils et pour son aide inestimable et pour nous avoir accueillis dans son Laboratoire, on tient aussi à remercier M. TOUNSI. Mohamed notre Co-promoteur pour sa disponibilité et ses précieux conseils. A toute le personnel de l'URAER de Ghardaïa.*

*Nos vifs remerciements à l'ensemble des enseignants de la faculté de technologie, en particulier R.MEDJOU DJ les membres de jury : M. AOUZELLAG. D et Mme. RAHRAH. , pour avoir accepté de juger ce Travail.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la l'élaboration de ce modeste travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents,*

*Mes frères en particulier BOUBKEUK et FERHATH*

*Mes sœurs*

*Ma nièce MELISSA*

*Mes cousins et cousines*

*Toute ma famille*

*Ma dulcinée : MASSIKA*

*Mes amis: MEKBEL Samir, Karim, Jugurtha et Farid, juba et Chamsedinne, Fasteh, Saleh, Tacfa, Nadir et Zahir*

*A tous mes amis*

*Locif*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents,*

*Mes très chers grands parents et ma grande mère*

*Mes frères*

*Mes tentes et oncles paternelles et maternelles*

*Mes cousins et cousines*

*Toute ma famille*

*Ma dulcinée : KATIA*

*Mes amis : Riad, Amirouche, Rabia et Tayeb, Lyes, Zoubir, Karim et Rabah*

*Nadir*

**Chapitre I :**

Figure I.1 carte du potentiel solaire Algérien.....	04
Figure (I.2): la masse d'air.....	06
Figure (I.3): analyse spectrale du rayonnement solaire.....	07
Figure (I.4): Coordonnées terrestres.....	08
Figure (I.5): Les différents rayonnements solaires.....	08
Figure (I.6): les différents types de silicium.....	10
Figure (I.7): représentation schématique d'une pile solaire a jonction PN standard.....	11
Figure (I.8): circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	12
Figure (I.9): Caractéristique d'une cellule photovoltaïque.....	13
Figure (I.10): Association en série des cellules photovoltaïques.....	14
Figure (I.11): Association en parallèle des cellules photovoltaïques.....	14
Figure (I.12): Association en série et en parallèle des cellules photovoltaïques.....	15
Figure (I.13): Module photovoltaïque.....	16
Figure (I.14): caractéristiques I(V) pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante.....	17
Figure (I.15): caractéristiques P(V) pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante.....	17
Figure (I.16): Caractéristiques I(V) pour différentes valeurs de la température a éclairement constant.....	18
Figure (I.17): caractéristiques P(V) pour différentes valeurs de la température à éclairement constant.....	18
Figure (I.18): Influence de la variation résistance série sur les caractéristiques I(V).....	19
Figure (I.19): Influence de la variation de la résistance série sur les caractéristiques P(V).....	19
Figure (I.20): Influence de la variation de la résistance shunt sur les caractéristiques I(V).....	20
Figure (I.21): Influence de la variation de la résistance shunt sur les caractéristiques P(V).....	20
Figure (I.22): Panneau de solaire.....	21

**Chapitre II :**

Figure (II.1) : Système hybride photovoltaïque/groupe électrogène.....	23
Figure(II.2) : Schéma du régulateur shunt.....	26
Figure (II.3) : Schéma du régulateur série.....	27
Figure (II.4) : Schéma du régulateur à sectionnement basse tension automatique.....	27

Figure(II.5) : configuration du groupe électrogène.....	28
Figure (II.6): Système hybride PV - Diesel série.....	28
Figure (II.7): Système hybride PV - Diesel commuté.....	30
Figure (II.8): Système hybride PV - Diesel parallèle.....	31
<b>Chapitre III :</b>	
Figure (III.1) : Emplacement géographique du site.....	34
Figure (III.2) : Traqueur du soleil.....	34
Figure (III.3) : Pyranometre.....	35
Figure (III.4) : Irradiation globale journalière moyenne sur un plan horizontal.....	35
Figure (III.5) : Irradiation globale journalière moyenne sur un plan incliné (0.32°).....	36
Figure (III.6) : Températures moyennes (°C).....	37
Figure (III.7) : durée d'isolation (h:mn).....	37
Figure (III.8) : profil de charge d'une habitation (site de Ghardaïa).....	39
Figure (III.9) : Abaque de détermination des sections en courant continue.....	45
<b>Chapitre IV :</b>	
Figure (IV.1) : Structure interne d'un microcontrôleur.....	47
Figure (IV.2) : brochage de pic 18F4550.....	50
Figure (IV.3) : schéma synoptique globale du système énergétique hybride panneaux photovoltaïques /groupe électrogène.....	50
.Figure(IV.4) : algorithme de la stratégie de contrôle.....	53
Figure (IV.5) : interface de logiciel CCS C Compiler (version PCW).....	54
Figure(IV.6) : fenêtre du logiciel de simulation Proteus ISIS.....	55
Figure(IV.7) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 1).....	56
Figure(IV.8) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 2).....	56
Figure(IV.9) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 3).....	57
Figure(IV.10) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 4).....	58
Figure(IV.11) : afficheur NOKIA 3310.....	58
Figure(IV.12) : afficheur NOKIA 3310 (menu).....	59
Figure(IV.13) : afficheur NOKIA 3310 (sous-menu).....	59

Tableau (I.1) : potentiel solaire en Algérie.....	04
Tableau (II.1) : Orientation optimale en fonction de la latitude.....	23
Tableau(III.1) : Irradiation globale journalière moyenne sur un plan horizontal.....	35
Tableau(III.2) : Irradiation globale journalière moyenne sur un plan incliné ( $0.32^\circ$ ).....	36
Tableau(III.3) : Température moyenne.....	36
Tableau(III.4) : Durée d'insolation.....	37
Tableau (III.5) : Estimation de la consommation électrique d'une habitation (site de Ghardaïa).....	39

## Liste des symboles

$D_s(m)$  : Diamètre de soleil

$D_t(m)$  : Diamètre de la terre

$Lst(m)$  : Distance moyenne soleil\_ terre

$OM (m)$  : Longueur du trajet du soleil

$AM1$  : Un soleil au zénith

$AM2$  : Un soleil à  $30^\circ$

$AM3$  : Un soleil à  $19.27^\circ$

$H(^\circ)$ : angle que forme le soleil par rapport au zénith

$E(eV)$  : énergie transporté par un photon

$h$  : Est la constante de Plank.

$C(\frac{m}{s})$  : La vitesse de la lumière.

$\nu (Hz)$  : La fréquence.

$\lambda(\mu m)$  : La longueur d'onde.

$\lambda_1$  : Longitude

$I_{ph}(A)$  : courant photovoltaïque engendré par les radiations lumineuses

$I_0(A)$  : courant

$I_{sh}(A)$  : courant de fuite

$R_s(Ohm)$  : résistance série de la cellule

$R_p(Ohm)$  : résistance parallèle de la cellule

$\alpha$  : facteur d'idéalité

$T(^\circ C)$  : la température de la cellule

$E(C)$  : la charge élémentaire d'électron

$K(J/K)$  : la constante de Boltzmann

$V(V)$  : tension au borne de la cellule

$I_{sc}(A)$  : Courant de court-circuit

$V_{oc}(V)$  : Tension à circuit ouvert

$V_{mp}(V)$  : tension maximal généré par la cellule

$I_{mp}(A)$  : courant maximum généré par la cellule

$FF$ : facteur de forme

$n_p$  : nombre des cellule en parallèle

$n_s$  : nombre des cellule en série.

$I_{cctot}(A)$ : courant de court-circuit total

$V_{cctot}(A)$ : tension à vide totale  
 $P(W)$  : puissance  
 $Wc(W)$  : watt- crête  
 $\Phi(^{\circ})$  : latitude  
 $E_{ond}(kWh)$  : Energie à la sortie de l'onduleur  
 $E_{PV}(kWh)$  : Energie généré par le champ PV  
 $\eta_{ond}$  : Rendement de l'onduleur  
 $E_C(kWh)$  : consommation totale d'une application  
 $E_{DC}(kWh)$  : Energie consommée par les charges DC  
 $E_{AC}(kWh)$  : Energie consommée par les charges AC  
 $\eta_c$  : rendement du chargeur de batteries  
 $\eta_c$  : rendement de batteries  
 $P_s(Wc)$  : la puissance nominale d'un panneau  
 $S_{GPV}(m^2)$  : surface utile du générateur photovoltaïque  
 $S_{PV}(m^2)$  : surface du générateur photovoltaïque  
 $\eta_{pv}$  : rendement du générateur photovoltaïque  
 $N_{PV}$  : nombre de panneaux photovoltaïques  
 $V_B(V)$  : tension de la batterie  
 $R_T$  : coefficient de réduction  
PDD : profondeur de décharge  
 $N_j$  : nombre de jours d'autonomie de la batterie  
 $C_B(Ah)$  : capacité de la batterie  
 $I_e(A)$ : l'intensité de courant d'entrée du régulateur  
 $I_s(A)$ : l'intensité de courant de sortie du régulateur  
 $V_c h(V)$ : tension de la charge  
 $\Delta V(V)$ : chute de tension  
 $P(m\Omega * mm^2/m)$ : résistivité du conducteur  
 $S(mm^2)$  : section de conducteur  
 $L(m)$  : longueur de conducteur  
 $P_G(kVA)$  : puissance du groupe électrogène  
 $P_{ch}(W)$ : puissance demandé par la charge  
 $N_{bat}(\%)$  : niveau de charge de la batterie  
 $N_{car}(\%)$  : niveau de carburant  
 $V_{ge}(V)$  : tension de groupe électrogène

<b>Introduction générale</b> .....	01
<b>Chapitre I: Energie solaire et système photovoltaïque</b>	
I Introduction :.....	03
I.1 Expérience de l'Algérie dans le domaine des énergies renouvelable .....	03
I.2 Potentiel solaire en Algérie.....	04
I.3 L'énergie solaire.....	05
I.3.1 Rayonnement solaire :.....	05
I.3.2 Masse d'air.....	05
I.3.3 Spectre de rayonnement.....	06
I.3.4 Coordonnées terrestres.....	07
I.3.5 Les différents types de rayonnement.....	08
I.3.6 Dure d'insolation.....	08
I.4 Le générateur photovoltaïque.....	09
I.4.1 La cellule photovoltaïque.....	09
I.4.2 Les différentes technologies des cellules solaires.....	09
I.4.3 Principe.....	11
I.4.4 les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	12
I.4.4.1 Schema équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	12
I.4.4.2 La caractéristique d'une cellule photovoltaïque.....	13
I.4.5 Association en série et en parallèle des cellules photovoltaïques.....	14
I.4.5.1 Association en série.....	14
I.4.5.2 Association en parallèle.....	14
I.4.5.3 Association en série et en parallèle.....	15
I.4.6 Le module photovoltaïque.....	15
I.4.7 Influence des paramètres météorologiques sur le générateur photovoltaïque.....	16
I.4.7.1 Influence de la variation de l'éclairement à une température constante.....	16
I.4.7.2 Influence de la variation de la température à un éclairement constant.....	17
I.4.7.3 Influence des paramètres internes de la cellule sur le générateur photovoltaïque.....	18
I.4.7.3.1 Influence de la résistance série.....	19
I.4.7.3.2 Influence de la résistance shunt.....	19
I.4.8 Le panneau solaire.....	20
I.4.9 Conclusion.....	20

**Chapitre II: Système hybride photovoltaïque /groupe électrogène**

II. Introduction..... 22

II.1 Définition des Système hybride (PV / groupe électrogène)..... 22

II.2 Composants d'un système hybride photovoltaïque/ groupe électrogène..... 22

II.2.1 Générateur photovoltaïque..... 23

II.2.2 Onduleur ..... 24

II.2.3 Batterie..... 24

II.2.4 Régulateur de charge..... 25

II.2.5 Groupe électrogène..... 27

II.3 Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides..... 28

II.3.1 Configuration série..... 28

II.3.2 Configuration commutée..... 29

II.3.3 Configuration parallèle..... 30

II.4 Etapes de conception d'un système hybride..... 32

II.5 Conclusion..... 32

**Chapitre III: Dimensionnement de système énergétique hybride**

III Introduction..... 33

III.1 Site d'implantation..... 33

III.2 Cordonnées géographiques du site..... 33

III. 3 Données météorologiques..... 34

III. 3.1 Irradiation globale journalière moyenne sur un plan horizontal..... 35

III. 3.2 Irradiation globale journalière moyenne sur un plan incliné (0.32°)..... 36

III. 3.3 Température moyenne..... 36

III. 3.4 Durée d'insolation..... 37

III. 4 Profil de charge..... 38

III. 5 dimensionnement des différents éléments de l'installation photovoltaïque hybride..... 39

III. 5.1 Estimation de la puissance du champ photovoltaïque..... 40

III.5.2 Dimensionnement de nombre de panneaux photovoltaïques pour la période (juin-septembre)..... 41

III.5.3 Dimensionnement de nombre de panneaux photovoltaïques pour la période (octobre-mai)..... 41

III.5.4 La capacité du système de stockage..... 42

III.5.5 Dimensionnement du régulateur..... 42

III.5.6 Dimensionnement de l'onduleur..... 43

III.5.7 Le câblage.....	44
III.5.8 Dimensionnement du groupe électrogène.....	45
III.5.9 Conclusion .....	45
<b>Chapitre IV :</b>	
IV Introduction .....	46
IV.1 Microcontrôleurs .....	46
IV.1.1 Généralités .....	46
IV.1.2 Les avantages du microcontrôleur.....	46
IV.1.3 Contenu d'un microcontrôleur.....	47
IV.2 Les Pics.....	47
IV.2.1 Structure d'un PIC.....	47
IV.2.2 Structure minimale d'un PIC.....	48
IV.2.3 Identification d'un PIC.....	49
IV.2.4 Le microcontrôleur PIC 18F4550.....	49
IV.3 Architecture de système énergétique hybride .....	50
IV.4 Elaboration d'une stratégie de contrôle pour le système hybride .....	51
IV.4.1Le cahier de charge .....	51
IV.4.2 Stratégie de contrôle.....	51
IV.4.3 Algorithme de la stratégie de contrôle.....	53
IV.5 Programmation et compilation.....	55
IV.6 Simulation.....	56
IV.7 Résultats de simulation .....	57
IV.7.1Fonctionnement du système .....	57
IV.7.2 Affichage.....	62
IV.7.3 Menu .....	62
IV.8 Conclusion.....	63
Conclusion générale	
Bibliographie	

### **Introduction générale :**

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie solaire photovoltaïque. [1]

Dans les zones rurales des pays en développement, une extension du réseau électrique exigerait des investissements financiers extrêmement importants et inadaptés à la situation. Les solutions autonomes et décentralisées offrent donc une alternative pertinente pour permettre aux populations rurales d'accéder à l'électricité.

La production d'électricité consomme actuellement environ le tiers de l'énergie primaire mondiale et la part des énergies renouvelables n'est que de 20% environ. Il apparaît donc de façon flagrante que l'électricité, bien qu'énergie finale propre par excellence, contribue très largement à la dégradation de l'environnement ainsi qu'à l'épuisement de ressources non renouvelables (combustibles fossiles et uranium). C'est pourquoi, l'une des mesures pour préparer un développement réellement durable consiste à accroître la part des ressources renouvelables pour la production d'électricité.

A travers la combinaison de dispositifs de conversion d'énergies renouvelables tels que les panneaux solaires, la turbine éolienne avec le générateur Diesel et un système de stockage il est possible de produire l'énergie électrique d'une façon compétitive pour des besoins divers. De Tels systèmes sont appelés systèmes hybrides et sont recommandés pour subvenir aux demandes d'énergie des sites isolés ou des zones rurales.

La technologie des systèmes photovoltaïques hybrides est un domaine de R-D d'actualité, car elle offre toute une panoplie de défis et de possibilités aussi bien pour les pays développés que pour ceux en voie de développement.

Les systèmes PV hybrides autonomes offrent une solution avantageuse pour l'électrification des communautés rurales éloignées, en comparaison à un groupe électrogène, à la prolongation du réseau électrique national au delà d'une certaine distance et dans les situations où les coûts du carburant ou de l'entretien d'un moteur sont élevés.

Cette méthode de production d'électricité s'avère être rentable dans les régions ensoleillées et ventées.

Le dimensionnement d'un système hybride est une phase importante de sa conception. Du moment que le coût capital des équipements est le composant majeur du prix de l'électricité d'origine renouvelable, le surdimensionnement de ces équipements a un effet nuisible sur le prix de la puissance générée. Le sous dimensionnement, de l'autre côté, réduit la fiabilité du système. L'objectif de ce travail est d'optimiser et dimensionner un système de production d'électricité issu de la combinaison d'une source d'énergie renouvelable (solaire) avec un générateur Diesel. [2]

Un grand nombre de logiciels existent, actuellement, pour l'analyse, la simulation et le dimensionnement de ces systèmes. Ces outils présentent différents degrés de complexité et de précision suivant la tâche pour laquelle chaque logiciel a été développé.

A cet effet le travail proposé consiste à dimensionner, élaborer une stratégie de contrôle et simuler un système de production d'électricité issu de combinaisons de dispositifs de conversion d'énergie renouvelable (solaire) avec un générateur Diesel pour l'alimentation électrique d'un foyer situé sur une zone de l'Algérie à Ghardaïa . La compilation et la simulation se font en utilisant les logiciels: CCS C Compiler et ISIS.

Le premier chapitre est consacré aux généralités et notions de bases de l'énergie solaire photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons des généralités sur les batteries ainsi que les différentes configurations de système hybride panneaux photovoltaïque / groupe électrogène.

Dans le troisième chapitre, nous présentons le dimensionnement de système hybride (PV / groupe électrogène).

Dans le quatrième chapitre, nous présentons des généralités sur les pics ainsi que les résultats de simulation.

**I Introduction :**

La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production électrique est produite à partir de ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources. D'autant plus que la demande ne cesse de croître et tant dès à présent à être supérieure à l'offre, se traduisant par exemple par une forte fluctuation du prix mondial du pétrole.

D'autre part, ce type de consommation énergétique n'est pas neutre sur l'impact environnemental. Pour les hydrocarbures et le charbon par exemple, d'importantes émissions de gaz à effet de serre sont générées quotidiennement jouant un rôle prépondérant au niveau du dérèglement climatique et de l'augmentation de la pollution. Ce constat pousse à rechercher de plus en plus de solutions innovantes palliant le déficit énergétique et limitant l'impact négatif sur l'environnement. Ainsi, le développement des sources non-polluantes à base d'énergie renouvelable est de plus en plus sollicité à la fois par les producteurs d'énergie et les pouvoirs publics [3].

Aujourd'hui on distingue plusieurs sources d'énergies renouvelables, l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie solaire ou l'Algérie possède un gisement solaire des plus importants au monde.

**I.1 Expérience de l'Algérie dans le domaine des énergies renouvelable [4] :**

Les réalisations algériennes dans le domaine de l'énergie propre dite renouvelable sont très limitées en comparaison avec l'actuelle évolution du parc énergie renouvelable mondial ou européen, qui a atteint des objectifs très avancés.

L'utilisation des énergies renouvelables en Algérie, n'a pas dépassé le seuil d'expérience depuis l'indépendance, malgré la situation géographique, Au sud algérien les premières expériences ont été effectuées au début des années quatre-vingt, ou la première station d'énergie solaire a été installée à Melouka par une société du royaume de Belgique, la station est aujourd'hui à l'arrêt ,le recours aux énergies renouvelables au sud algérien est indispensable et prioritaire dans tout développement durable de la région, les distances existant entre les localités, la dispersion de la population dans le désert rend le raccordement au réseau électrique très coûteux.

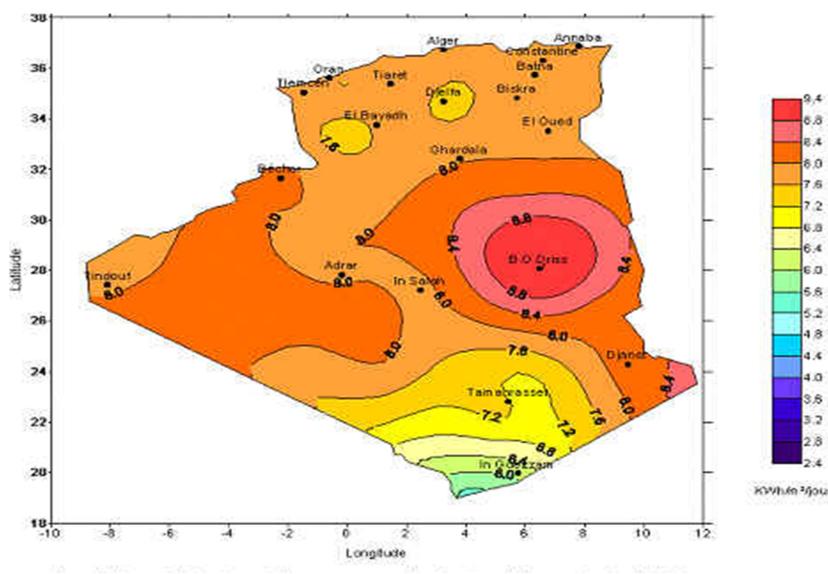
L'Algérie vise à exploiter les potentialités exceptionnelles d'ensoleillement pour utiliser, mettre au point et développer les applications de l'énergie solaire à l'électrification des sites isolés (zones désertiques du Sud, et régions montagneuses). C'est ainsi qu'un projet de démonstration de l'utilisation de l'énergie solaire initié pour le ministère de l'énergie et des mines est confié au groupement SONELGAZ, a permis jusqu'à présent d'électrifier une vingtaine de villages isolés dans le grand sud (Illizi, Djanet, Tamanrasset, Adrar...) soit environ un million de foyers.

**I.2 Potentiel solaire en Algérie [4]**

L'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur le quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m /an au Nord et 2263 kWh/m /an au Sud., ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique, le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4%	10%	86%
Durée moyenne D'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

**Tableau (I.1) : potentiel solaire en Algérie [4]**



**Figure (I.1): carte du potentiel solaire Algérien [4]**

**I.3 L'énergie solaire :**

**I.3.1 Rayonnement solaire :**

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tout les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène –hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [5].

Sa lumière, à une vitesse de 300000km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ 0.5µm [6].

- Diamètre de soleil  $D_s=1.39.10^9$ m
- Diamètre de la terre  $D_t=1.27.10^7$ m
- Distance moyenne soleil\_ terre  $L_{st}=1.5.10^{11}$ m

**I.3.2 Masse d'air [7]:**

Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir de transformations. On appelle (masse d'air), le rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale de lieu figure (I.2).

Cela dépend surtout de la hauteur angulaire du soleil. A l'aide des points O, A, M et cet angle  $\alpha$  représentés à la (figure I.2), on écrit la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère :

$$O M = \frac{O A}{\sin h} \dots \dots \dots (I. 1)$$

$$\frac{O M}{O A} = \frac{1}{\sin h} = a i r m a s s$$

Donc pour :

- Un soleil au zénith (au niveau de la mer) représenté par AM1.
- Un soleil à 30° :AM2.
- Un soleil à 19.27° :AM3.

Par convention, AM<sub>0</sub> désigne le rayonnement solaire hors atmosphère.

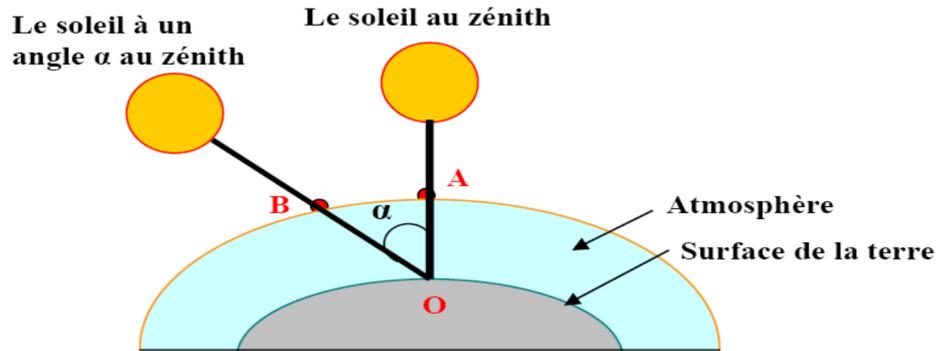


Figure (I.2): la masse d'air.

**I.3.3 Spectre de rayonnement [7] :**

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm).

Les photons (ou grains de lumière) qui composent ce rayonnement électromagnétique sont porteurs d'une énergie qui est reliée à leurs longueur d'onde par la relation suivante.

$$E = hv = \frac{hC}{\lambda} \dots\dots\dots(I.2)$$

Ou ;

h : Est la constante de Plank.

C : La vitesse de la lumière.

v : La fréquence.

λ : La longueur d'onde.

La (figure I.3) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- Ultraviolet UV (0.20 < λ < 0.38 μm) 6.4%
- Visible (0.38 < λ < 0.78 μm) 48%
- Infrarouge IR (0.78 < λ < μm) 45.6%

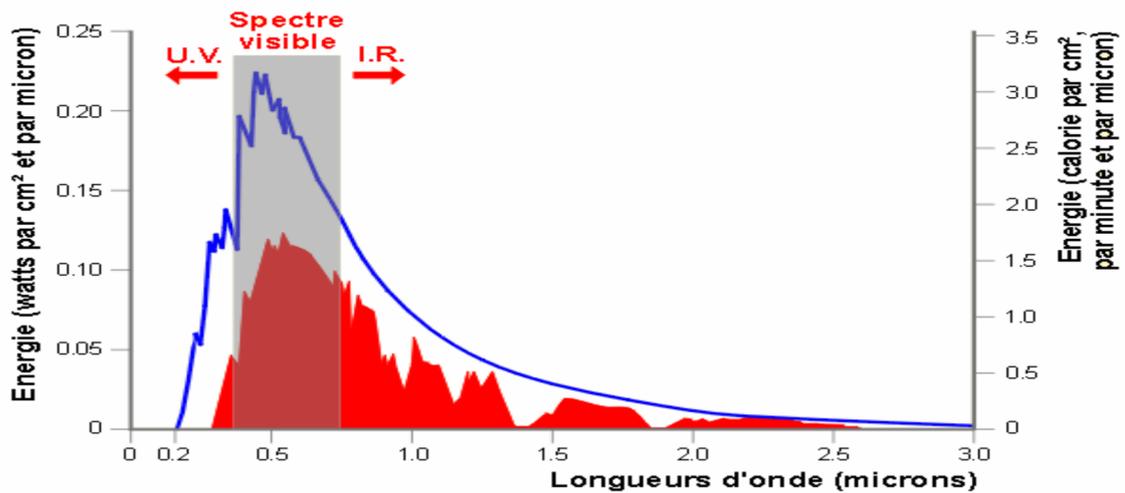


Figure (I.3): analyse spectrale du rayonnement solaire

### I.3.4 Coordonnées terrestres [8] :

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques :

Longitude, latitude, ainsi que par son altitude.

- **Longitude :**

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich  $0^\circ$ ) et l'autre déterminé par le lieu envisagé. La longitude sera désignée ici par la lettre «  $\lambda_1$  ».

- Longitude OUEST  $\lambda_1 < 0^\circ$
- Longitude EST  $\lambda_1 > 0^\circ$

Un écart de  $1^\circ$  de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps. [8]

- **La latitude :**

C'est l'angle entre l'équateur et le rayon de la terre qui passe par le lieu considéré.

- **L'altitude :**

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer), on l'exprime généralement en mètre. [8]

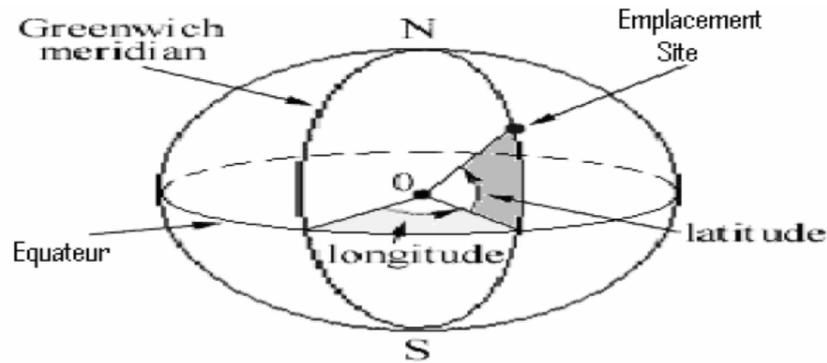


Figure (I.4): Coordonnées terrestres [9]

### I.3.5 Les différents types de rayonnement [10]:

- **Le rayonnement Direct** : C'est le rayonnement reçu directement du soleil, ses rayons sont parallèles entre eux.
- **Le rayonnement Diffus**: La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions, alors le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nuage...).
- **Le rayonnement albédo (réfléchi)**: C'est la partie réfléchi par la terre qui dépend de l'environnement du site.
- **Le rayonnement global** : c'est la somme des différents rayonnements.

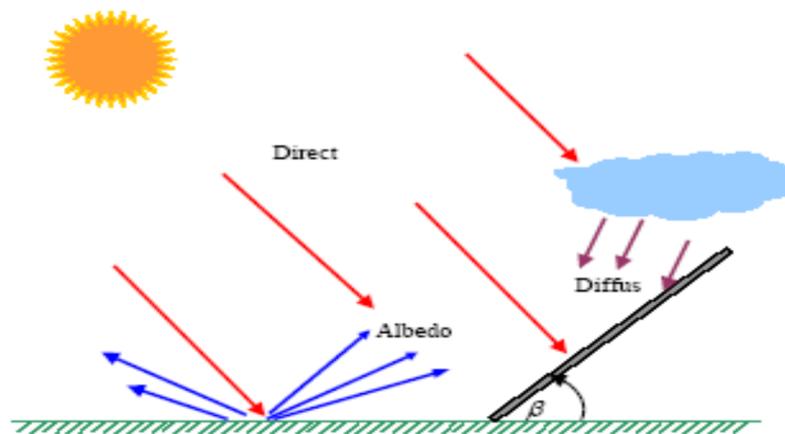


Figure (I.5): Les différents rayonnements solaires.

### I.3.6 Durée d'insolation [11] :

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell-Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de

durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages.

Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qui elle-même dépend de la période de l'année considérée.

#### **I.4 Le générateur photovoltaïque :**

##### **I.4.1 La cellule photovoltaïque :**

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », qui a été découvert par E. Becquerel en 1839 [7]. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment du même matériau (homojonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction). Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne.

##### **I.4.2 Les différentes technologies des cellules solaires [12]:**

Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle :

- **Les cellules au silicium monocristallin :**

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal, figure (I.6).

Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie; plus onéreux, il est cependant plus efficace que le silicium poly-cristallin. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau, et lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal.

Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche anti-reflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule.

Les cellules sont rondes ou carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme. Elles ont un rendement de 12 à 18%, et la méthode de leur production est laborieuse.

- **Les cellules au silicium poly- cristallin :**

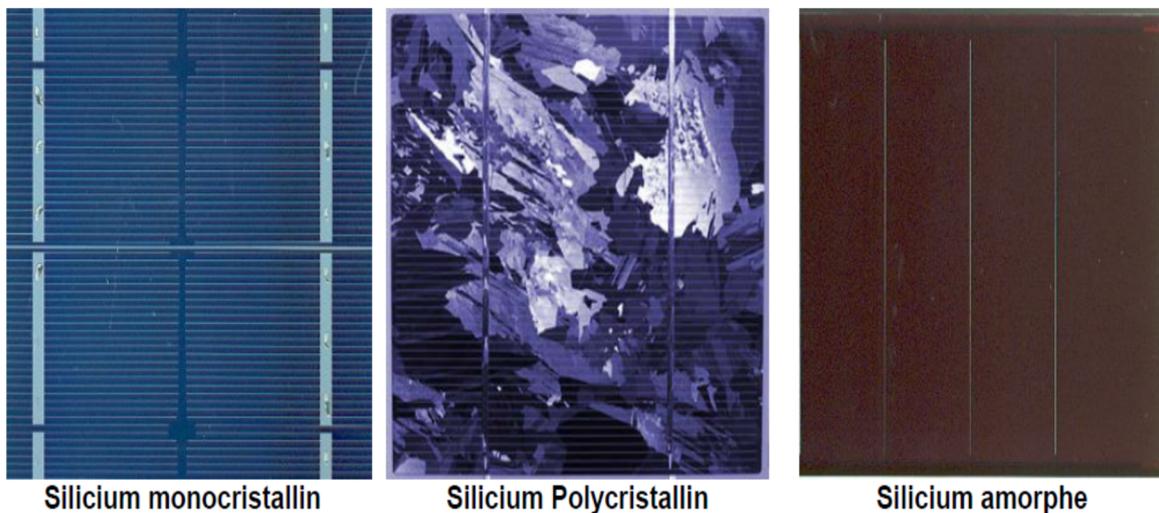
Les cellules poly-cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes).

Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui largement imposées.

L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication.

- **Les cellules au silicium amorphe :**

Les cellules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Bien que le rendement de ces cellules soit moins bon que celui des technologies poly cristallines ou monocristallines, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfaces à bas coût en utilisant peu de matière première.



**Figure (I.6):** les différents types de silicium.

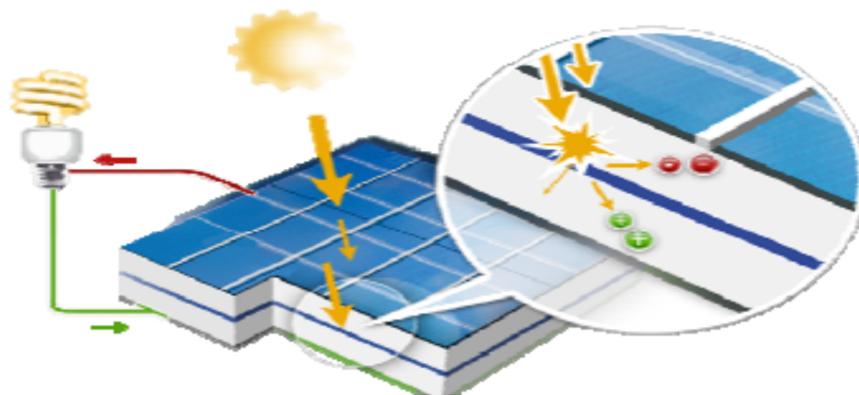
- **Les autres technologies :**

De par le monde, un certain nombre de recherches sont encore effectuées pour créer de nouvelles cellules de rendement plus élevé, possédant une grande stabilité de leurs caractéristiques dans le temps et présentant de faibles coûts de fabrication. Si ce type d'énergie doit être développé à

très grande échelle comme «Générateur électrique», il faut résoudre le problème du prix des capteurs. Aussi, depuis plusieurs années, on parle de matériaux organiques et de polymères qui présentent, sous certaines conditions, des propriétés photovoltaïques. Ceci suscite actuellement un regain de recherches dans divers laboratoires dans le monde, renouvelant d'autant les efforts portés sur la synthèse des matériaux [13]. Ces cellules, dites de troisième génération, bien qu'actuellement présentent de faibles rendements par rapport aux capteurs inorganiques [record mondial de 3,5% établi en [2001], sont intéressantes par leur très faible coût et sont donc prometteuses pour l'avenir.

#### I.4.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension 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 [14].



**Figure (I.7):** représentation schématique d'une pile solaire à jonction PN standard.

Lorsqu'un semi-conducteur de type n est mis en contact avec un semi-conducteur de type p, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p devient chargée négativement. Il se crée donc un champ électrique entre les zones n et p, qui tend à repousser les électrons dans la zone n et un équilibre s'établit.

Une jonction a été créée, et en ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, c'est une diode qui est obtenue.

Lorsque cette diode est éclairée, les photons sont absorbés par le matériau et chaque photon donne naissance à un électron et un trou. La jonction de la diode sépare les électrons et les trous donnant

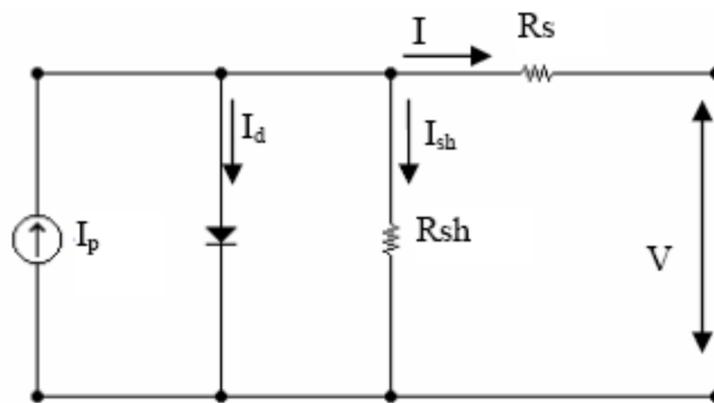
naissance à une différence de potentiel entre les contacts n et p et un courant circule si une résistance est placée entre les contacts de la diode [15].

Dans les conditions de flux et de température constants, la cellule n'impose ni une tension de fonctionnement ni un courant [16]. Le point de fonctionnement sera fixé par la charge.

**I.4.4 les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :**

**I.4.4.1 Schema équivalent d'une cellule photovoltaïque :**

Nous avons choisi le modèle à cinq paramètres [17] fréquemment utilisé afin de décrire ses paramètres électriques. En effet ce modèle prend en compte les différentes résistances internes, (Figure I.8) [18] [19].



**Figure (I.8):** circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

- La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles;
- La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée [20].
- $I_{ph}$  est le courant photovoltaïque engendré par les radiations lumineuses.
- La diode représente la jonction *PN* de la cellule.

Les cinq paramètres de ce modèle sont donc :  $I_{ph}$ ,  $I_0$ ,  $R_s$ ,  $R_p$  et  $\alpha$ .

L'expression de la caractéristique  $I(V)$  est:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp \left( \frac{e(V + I R_s)}{\alpha K T} \right) - 1 \right) - \frac{V + I R_s}{R_p} \dots \dots \dots (I.3)$$

Avec  $R_s$  la résistance série de la cellule (Q),  $R_p$  la résistance parallèle (Q),  $\alpha$  facteur d'idéalité,  $T$  la température de la cellule (K),  $e$  la charge élémentaire d'électron ( $1.6021 \cdot 10^{-19}$  C),  $K$  la constante de Boltzmann ( $1.3854 \cdot 10^{-23}$  J/K).

La caractéristique  $I=f(V)$  ainsi que la courbe  $P=f(V)$  figure (1.9) permet d'obtenir les paramètres fondamentaux suivants :

- Courant de court-circuit  $I_{sc}$ , qui est le courant maximum généré par la cellule ; il est produit lorsqu'elle est soumise à un court circuit  $V = 0$ , puisque  $R_s \ll R_p$  on peut mettre  $I_{sc} \sim I_{ph}$
- Tension à circuit ouvert  $V_{oc}$  ; c'est la tension aux bornes de la cellule sans charge où le courant généré  $I = 0$ . Elle reflète la tension de seuil de la jonction PN. En négligeant le courant qui passe dans la résistance parallèle  $R_p$ .
- Point de puissance maximale, c'est le point de fonctionnement ( $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ) où la cellule solaire génère sa puissance maximale.
- Le facteur de forme ; il correspond au rapport de la puissance maximale sur le produit de  $V_{oc}$  et  $I_{sc}$ , et reflète la qualité de la cellule par rapport à une cellule idéale ( $FF = 1$ ).

#### I.4.4.2 La caractéristique d'une cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque dépend des conditions d'ensoleillement et de la température. Les courbes caractéristiques d'une cellule photovoltaïque représentent la variation du courant qu'elle produise en fonction de la tension à ces borne, depuis le court-circuit jusqu'au circuit ouvert [21].

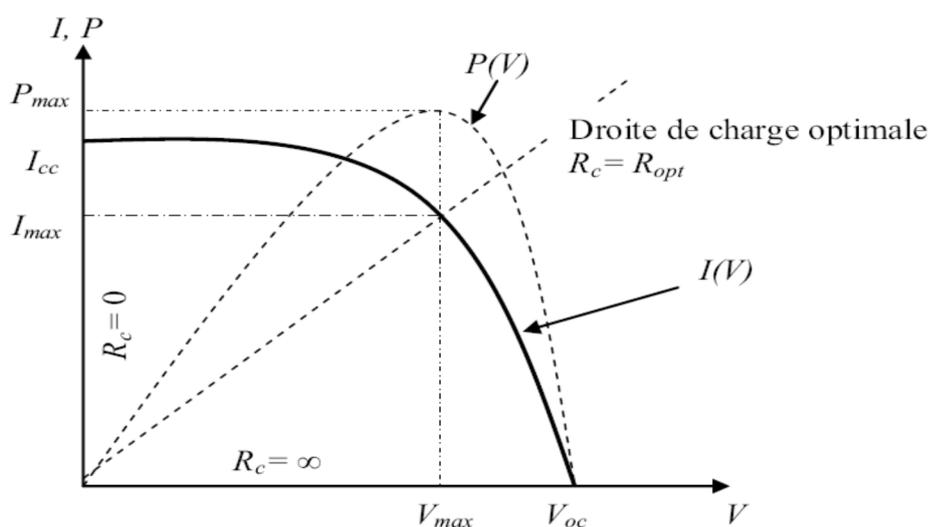


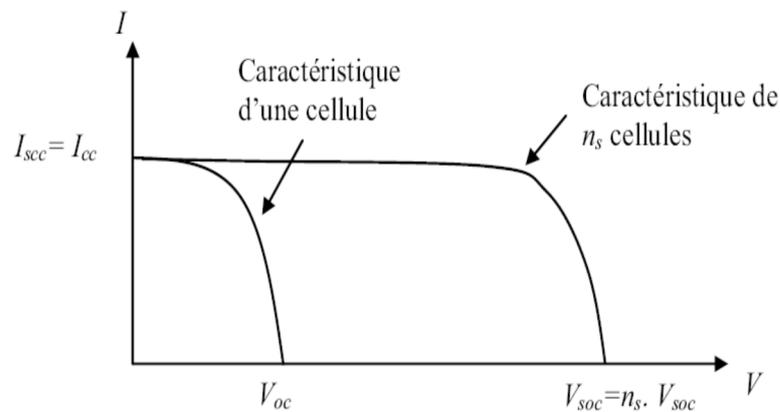
Figure (I.9): Caractéristique d'une cellule photovoltaïque [22]

**Note:**

La puissance électrique produite par une cellule industrialisée est très faible avec une tension de moins d'un volt, donc Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées en série et en parallèle pour former ce qui s'appelle un module.

**I.4.5 Association en série et en parallèle des cellules photovoltaïques [23] :****I.4.5.1 Association en série :**

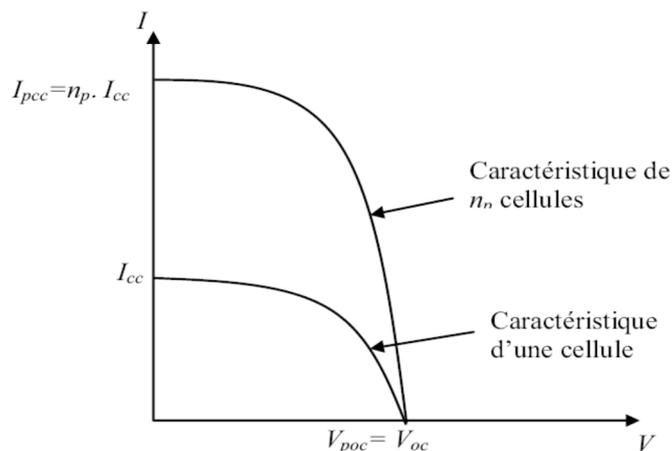
Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions à courant donné.



**Figure (I.10):** Association en série des cellules photovoltaïques [22]

**I.4.5.2 Association en parallèle :**

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules étant soumises à la même tension, les intensités s'additionnent : la caractéristique résultante est obtenue par addition de Courants à tension donnée.



**Figure (I.11):** Association en parallèle des cellules photovoltaïques

### I.4.5.3 Association en série et en parallèle [24] :

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{cc\text{tot}} = n_p \cdot I_{cc}$$

$$V_{oc\text{tot}} = n_s \cdot V_{oc}$$

Avec :

$n_p$  : nombre des cellule en parallèle.

$n_s$  : nombre des cellule en série.

La figure (1.12) montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série  $n_s$  et en parallèle  $n_p$ , cellules identiques.

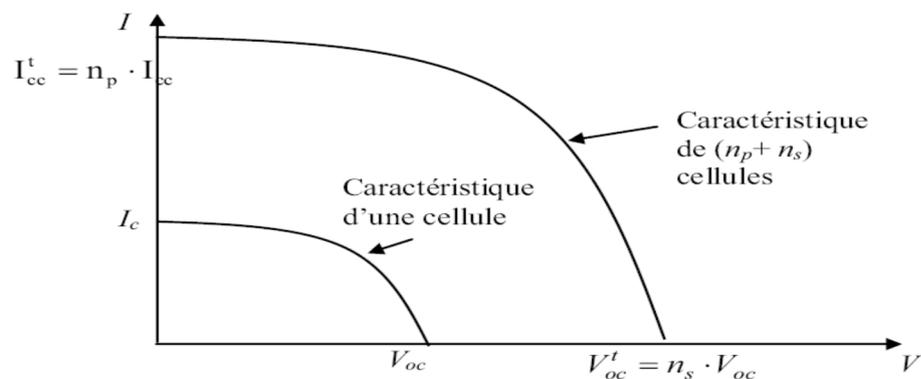


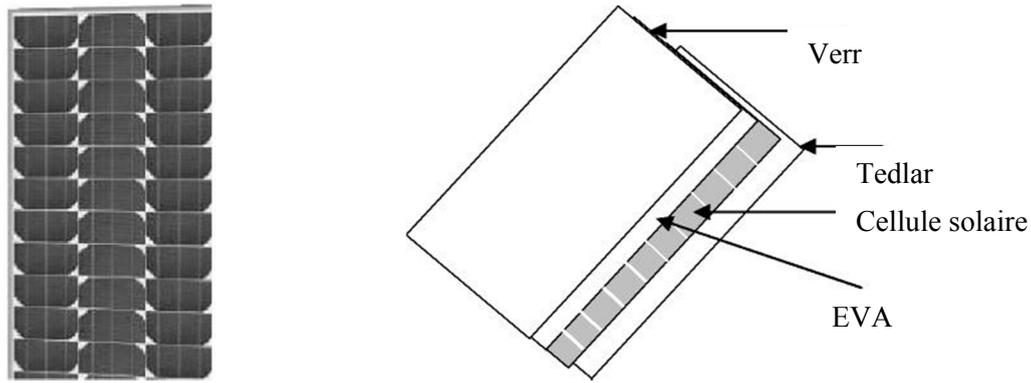
Figure (I.12): Association en série et en parallèle des cellules photovoltaïques

### 1.4.6 Le module photovoltaïque:

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vynil- acétate) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'un verre ou de polyéthylène [25].

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation.

A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes antiparallèles. Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre [26].



**Figure (I.13):** Module photovoltaïque

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur.

Les modules en silicium mono cristallin (c-Si, 64% de marché), poly cristallin ou multi cristallin (xc-Si, 28% du marché) ou silicium amorphe (a-Si, 13% du marché), délivrent des tensions normalisées (12, 24,48) et des puissances entre 10 et 100 Wc (watt- crête : puissance obtenue pour (l'ensoleillement maximal) [25].

La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, le courant de sortie, et la puissance seront proportionnels à la surface du module .Ils ont une efficacité de conversion (énergie électrique produite/énergie solaire incidente) de l'ordre de 10 à 20% [27].

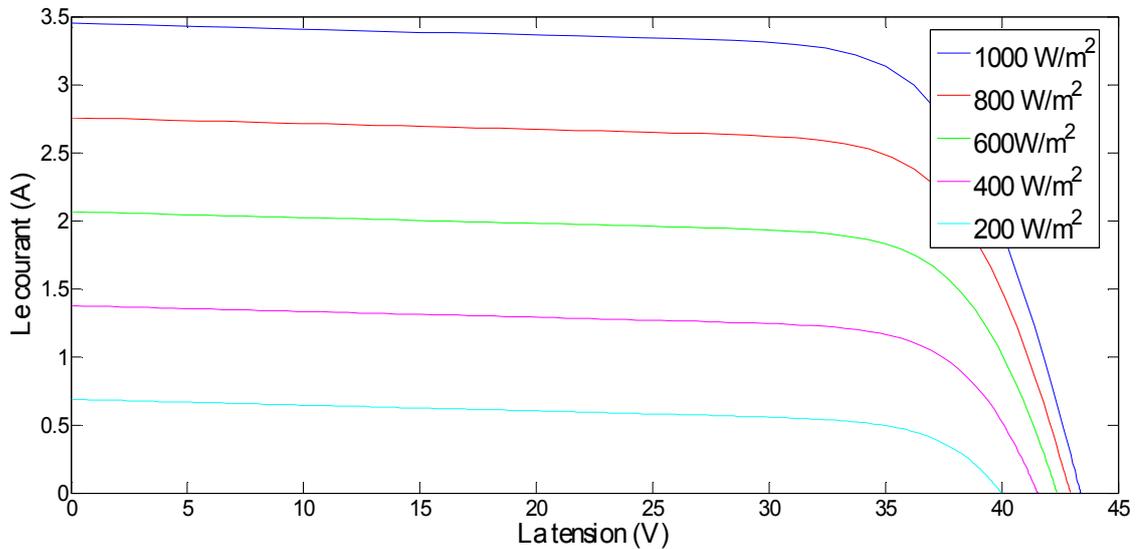
#### **I.4.7 Influence des paramètres météorologiques sur le générateur photovoltaïque :**

##### **I.4.7.1 Influence de la variation de l'éclairement à une température constante :**

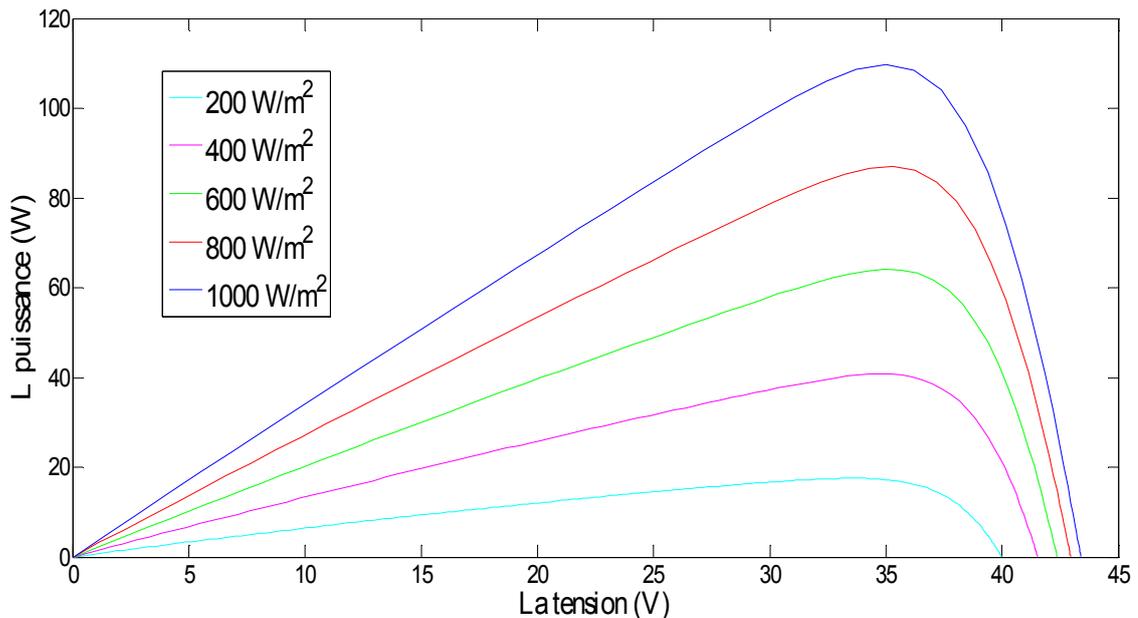
Les figures (I.14, I.15) représentent les caractéristiques courant-tension et puissance-tension successivement d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de l'éclairement à une température constante (25°C).

La puissance délivrée par un générateur PV dépend de l'irradiation qu'il reçoit; l'augmentation du flux lumineux fait accroître le courant de court-circuit ( $I_{sc}$ ), ainsi que la tension à circuit ouvert ( $V_{oc}$ ). On constate que pour des fortes variations du niveau d'éclairement provoquent des variations relativement importantes du courant optimal. Contrairement à la tension,

qui varie très peu en fonction de l'éclairement Figure(I.14) par conséquent la variation du point de puissance maximale (PPM) est proportionnelle à l'éclairement Figure(I.15).



**Figure (I.14):** caractéristiques I-V pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante

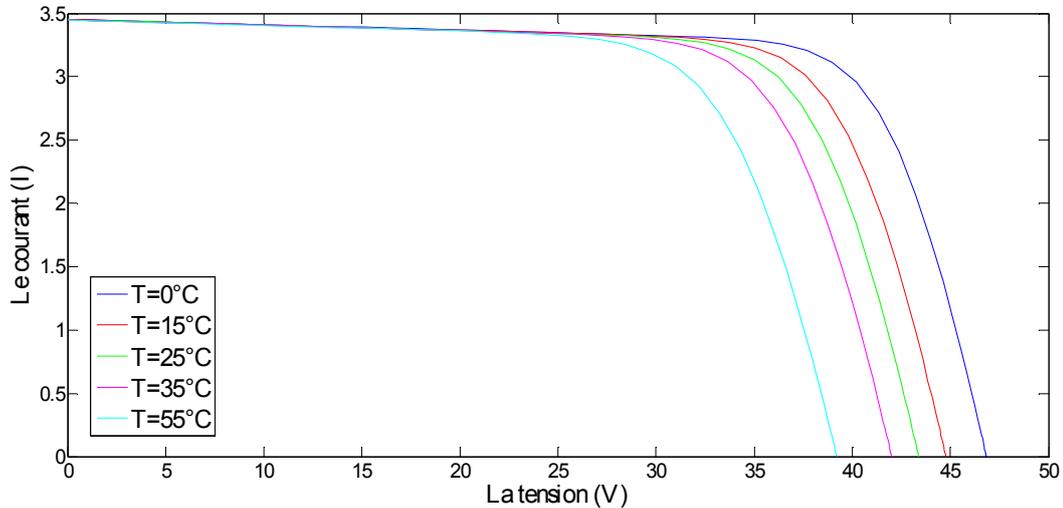


**Figure (I.15):** caractéristiques P-V pour différentes valeurs de l'éclairement à température constante

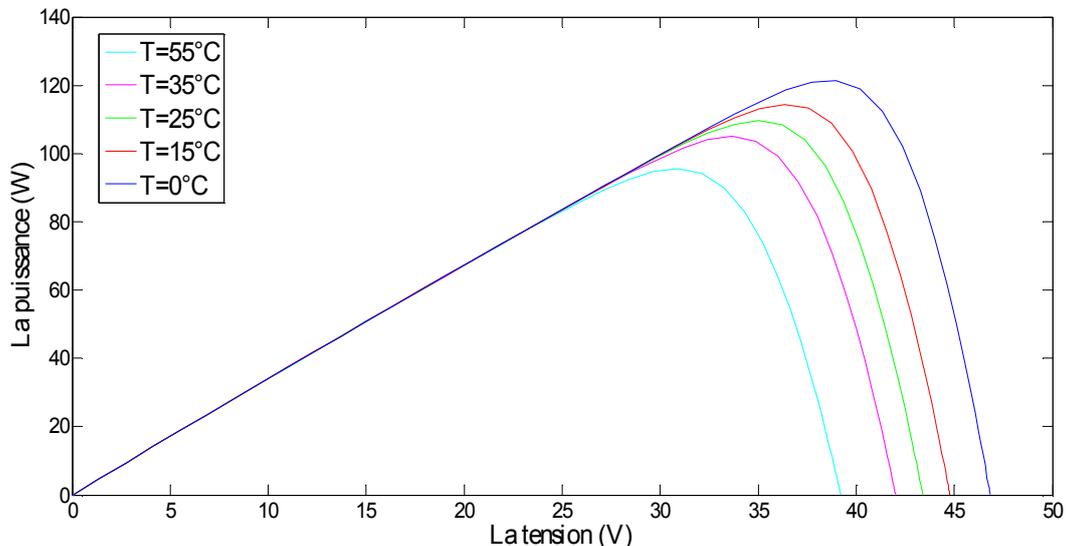
#### I.4.7.2 Influence de la variation de la température à un éclairement constant :

Les caractéristiques électriques d'une cellule PV dépendent de la température de jonction au niveau de la surface exposée. Les figures (I.16, I.17) donnent l'allure générale des caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de températures à un éclairement constant ( $1000\text{W/m}^2$ ), on remarque que :

Lorsque la température augmente, le courant ( $I_{cc}$ ) augmente très légèrement figure (I.16), alors que la tension de circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) diminue considérablement ce qui nous mène à une variation du point de puissance maximale figure (I.17).



**Figure (I.16):** Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de la température à éclairement constant



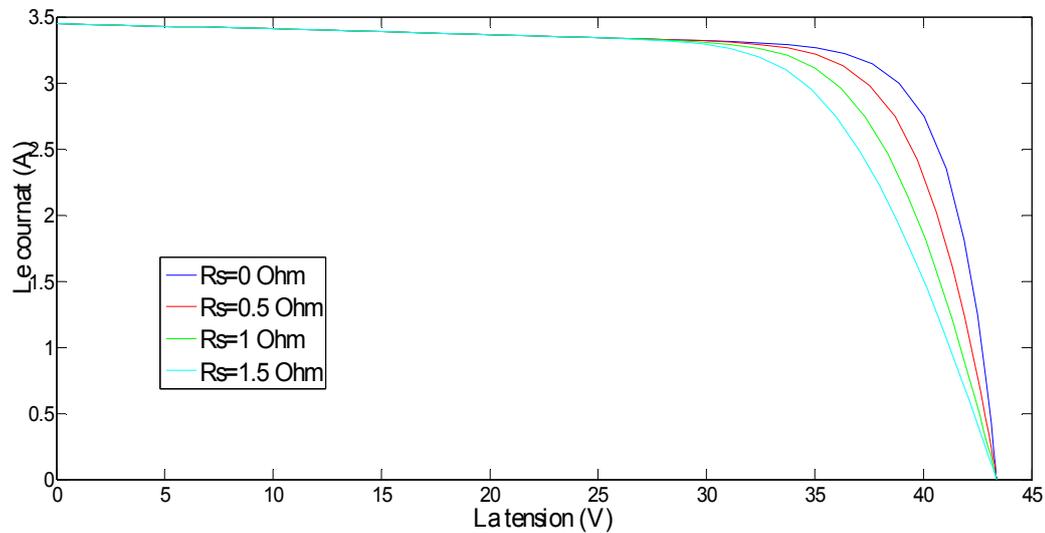
**Figure (I.17):** caractéristiques P-V pour différentes valeurs de la température à éclairement constant

#### I.4.7.3 Influence des paramètres internes de la cellule sur le générateur photovoltaïque:

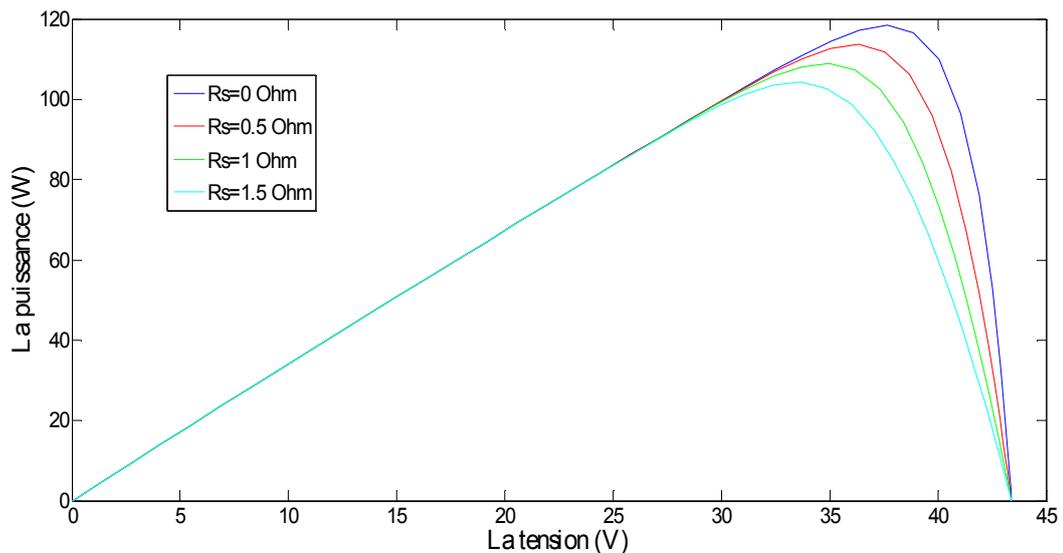
Il n'y a pas que les paramètres météorologiques (température et éclairement) qui influent sur le générateurs photovoltaïque (GPV), d'autres paramètres liés à la cellule (résistance série et shunt) influent aussi sur le GPV.

##### I.4.7.3.1 Influence de la résistance série :

Les figures (I.18, I.19) représentent successivement l'effet de la résistance série sur les caractéristiques courant-tension et puissance-tension du générateur photovoltaïque (GPV).



**Figure (I.18):** Influence de la variation résistance série sur les caractéristiques I-V

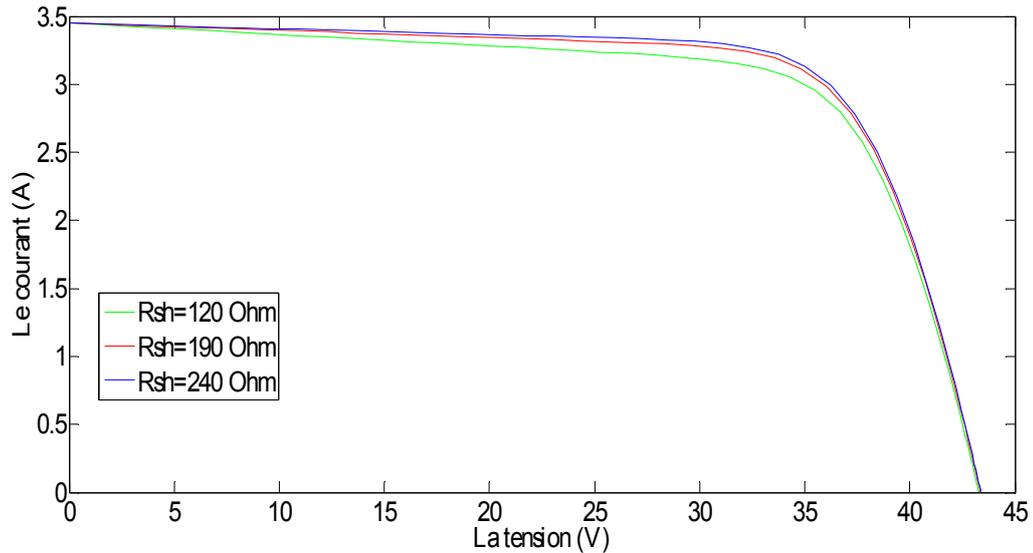


**Figure (I.19):** Influence de la variation de la résistance série sur les caractéristiques P-V

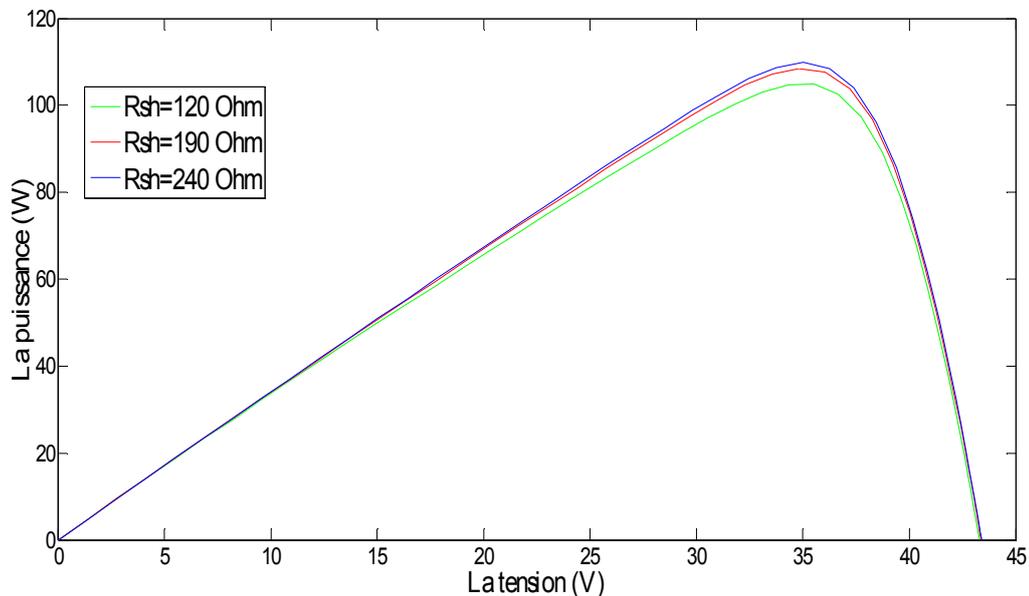
Les performances du générateur photovoltaïque diminuent avec l'augmentation de la  $R_s$  ce qui est défavorable au rendement, figure (I.18), et de localise le point de puissance maximale figure (I.19).

#### I.4.7.3.2 Influence de la résistance shunt :

Maintenant, on fait varier la valeur de la résistance shunt, tout en laissant la résistance série constante.



**Figure (I.20):** Influence de la variation de la résistance shunt sur les caractéristiques I-V



**Figure (I.21):** Influence de la variation de la résistance shunt sur les caractéristiques P-V

L'augmentation de la résistance shunt ( $R_{sh}$ ) se traduit par une augmentation de courant du générateur PV figure (I.20), et de même une augmentation de la courbe de puissance figure (I.21).

#### I.4.8 Le panneau solaire :

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.



**Figure (I.22):** Panneaux solaire

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connexions entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.

#### **I.4.9 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a présenté un bref historique de l'Algérie dans le domaine des énergies renouvelable, le potentiel solaire en Algérie, des généralités sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque.

Les systèmes photovoltaïques offrent une solution avantageuse pour l'électrification des communautés rurales et éloignées dans le sud Algérien, en comparaison à un groupe électrogène dans les situations ou les coûts du carburant ou de l'entretien d'un moteur sont élevés et à la prolongation du réseau électrique national au delà d'une certaine distance.

Une des propriétés qui limite l'utilisation de l'énergie photovoltaïque est liée à la variabilité de sa ressource. La fluctuation de la charge selon les périodes annuelles ou journalières n'est pas forcément corrélées avec les ressources. Pour les régions isolées, la solution à retenir est certainement le couplage entre plusieurs sources par exemple des panneaux photovoltaïques, des groupes électrogènes et des éoliennes, et ce couplage est appelé système hybride qui fera l'objet de notre travail dans le chapitre qui suit.

## II. Introduction :

Pour un développement durable, le recours à l'utilisation des systèmes énergétiques à sources d'énergies renouvelables est devenu indispensable. Connaissant les problèmes rencontrés pour le transport de l'énergie électrique dans les zones éloignées, ainsi que le coût élevé, il serait plus judicieux d'envisager l'utilisation de systèmes hybrides photovoltaïque / groupe électrogène dans ces régions puisque les gisements solaire y sont importants [28].

Notre étude dans ce chapitre concerne la présentation d'un système multi sources de production d'électricité à savoir un système photovoltaïque (PV) et un groupe électrogène combinés pour remplir la demande d'énergie d'une charge.

Ils existent plusieurs combinaisons de ces générateurs à savoir : (PV, Diesel), (Eolien, Diesel), (PV, Eolien), (PV, Eolien, Diesel), ces différents systèmes doivent alimenter en énergie électrique un habitat composé de 07 personnes et situé sur un site isolé dans une région au sud de l'Algérie représentées par Ghardaïa.

### II.1 Définition des Système hybride (PV / groupe électrogène) :

Les systèmes d'énergie hybrides associent au moins deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs diesels, et au moins une source d'énergie renouvelable [29] [30]. Les sources d'énergie renouvelable, comme l'éolienne et le photovoltaïque, ne délivrent pas une puissance constante. Leur association avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées.

### II.2 Composants d'un système hybride photovoltaïque/ groupe électrogène :

Un tel système est composé principalement d'une source renouvelable qui est panneaux solaires associant aux batteries, une source à énergie fossile c'est-à-dire le groupe électrogène, et d'autres composants qui seront définis dans ce qui suit.

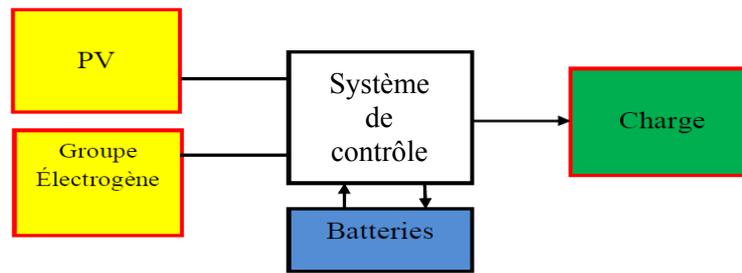


Figure (II.1) : Système hybride photovoltaïque/groupe électrogène

### II.2.1 Générateur photovoltaïque [31]

En ajoutant à ce qu'a été dit dans le premier chapitre, Le générateur photovoltaïque (panneaux photovoltaïque) doit avoir une certaine orientation et inclinaison pour exploiter le maximum d'ensoleillement journalier.

- **Orientation optimale :**

Le plan du capteur doit être parallèle à l'équateur (plein Sud dans l'hémisphère Nord, et plein Nord dans l'hémisphère Sud). Une adaptation sera éventuellement nécessaire en fonction du terrain, il faudra alors choisir l'orientation qui permet le maximum d'ensoleillement journalier et il sera nécessaire d'adapter la taille du générateur photovoltaïque.

- **Inclinaison (par rapport à l'horizontale) :**

Elle va être fixée par :

- ✓ **La latitude du site**

Pour une utilisation à l'année	
.Latitude $\varphi$	.Inclinaison $\alpha$
. $\varphi < 10^\circ$	. $\alpha = 10^\circ$
. $10^\circ < \varphi < 30^\circ$	. $\alpha = \varphi$
. $30^\circ < \varphi < 40^\circ$	. $\alpha = \varphi + 10^\circ$
. $\varphi > 40^\circ$	. $\alpha = \varphi + 15^\circ$

Tableau (II.1) : Orientation optimale en fonction de la latitude

- ✓ **périodicité d'utilisation (permanente, été seulement...) :**

Elle est choisie pour que l'angle d'incidence des rayons solaires soit le plus proche de la Perpendiculaire au plan du capteur le plus longtemps possible.

Cette inclinaison sera sensiblement égale à la latitude ou légèrement supérieure pour les sites les plus éloignés de l'équateur.

### II.2.2 Onduleur :

L'onduleur est un convertisseur statique DC/AC de haute performance, il convertit la tension continue en tension alternative contrôlée de façon très précise. Les onduleurs peuvent être à transistor de puissance ou à thyristors.

Les onduleurs peuvent être classés en générateurs produisant soit une onde sinusoïdale, soit une onde carrée ou encore dite pseudo-sinusoïdale. Le choix de l'onduleur va dépendre des appareils qu'il devra faire fonctionner. Les onduleurs modernes utilisent des techniques à base de microprocesseurs pour générer une tension sinusoïdale à l'aide d'impulsions variables en largeur (PWM). Ces impulsions commandent des transistors MOS de puissance à faibles pertes alimentant un transformateur. A la sortie du transformateur, un filtre éventuel coupe les harmoniques provenant de la commande digitale. Cette technique est largement répandue et les coûts de tels appareils ont tendance à baisser.

L'onduleur est caractérisé par son rendement de puissance ( $\eta_{\text{ond}}$ ).

L'énergie à la sortie de l'onduleur est:

$$E_{\text{ond}} = E_{\text{pv}} * \eta_{\text{ond}} \dots \dots \dots (II.1)$$

Ou :  $E_{\text{ond}}$  : Energie à la sortie de l'onduleur, en KWh

$E_{\text{pv}}$  : Energie généré par le champ PV, en KWh

$\eta_{\text{ond}}$  : Rendement de l'onduleur

### II.2.3 Batterie [31] :

La batterie sert à stocker l'énergie produite par le champ de modules PV. Il y a nécessité de stockage chaque fois que la demande énergétique est décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport énergétique solaire. En effet :

La demande énergétique est fonction de la charge à alimenter, les appareils utilisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande ;

L'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, été/hiver) et aléatoire (conditions météorologiques). Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électricité. Le système tampon utilisé le plus couramment pour les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques.

A cause de la nature variable des radiations solaires, les accumulateurs doivent pouvoir résister sans dommage à de nombreux cycles de charge et de décharge. La profondeur de décharge auquel un accumulateur peut être soumis dépend de son type. Ainsi, les accumulateurs plomb-calcium sont utilisés pour des applications où la décharge est inférieure à 20 % par cycle (décharge faible). Les accumulateurs nickel-cadmium et quelques types d'accumulateurs plomb-antimoine, peuvent être utilisés pour des applications où la décharge pourrait excéder 80 % (décharge profonde).

Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- **Autonomie.** Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux. Selon les conditions du site et la présence d'une génératrice d'appoint, les batteries d'accumulateurs sont dimensionnées pour permettre une période d'autonomie du système de quelques jours à quelques semaines.
- **Courant de surcharge.** Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.
- **Stabilisation de la tension.** Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée. Les deux types de batteries utilisés le plus couramment dans les systèmes photovoltaïques sont les batteries avec accumulateurs au plomb-acide (Pb-acide) et les batteries avec accumulateurs au nickel-cadmium (Ni-Cd).

Chacune a ses propres particularités et, selon les méthodes de construction, elles auront des caractéristiques de fonctionnement très différentes. La batterie au plomb-acide est la plus connue, étant utilisée depuis plus de 150 ans pour fournir le courant de démarrage des voitures, l'électricité des systèmes d'urgence et la force de traction des véhicules électriques.

La batterie au nickel-cadmium a été conçue pour répondre à un besoin prolongé de stockage d'énergie dans des conditions de fonctionnement extrême et de maintenance minimale. Il existe également quelques types de batteries au nickel-cadmium. Néanmoins, une des différences les plus importantes entre les batteries au plomb-acide et celles au nickel-cadmium se trouve au niveau de leur tension de fonctionnement. Alors qu'une cellule au plomb-acide fournit une tension nominale de 2,0 volts, la cellule au nickel-cadmium fournit une tension nominale de 1,2 volt.

#### II.2.4 Régulateur de charge :

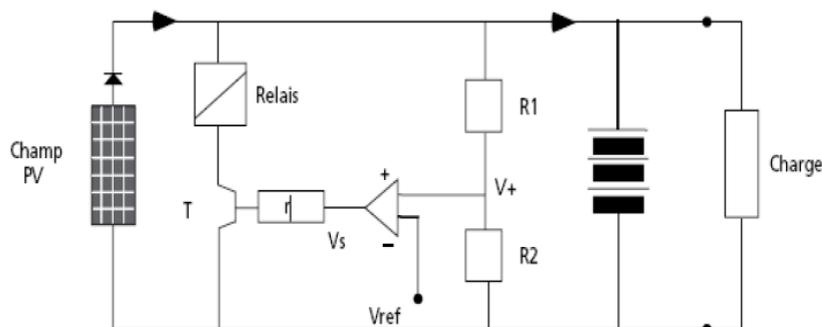
L'énergie solaire est de nature intermittente et les besoins en électricité ne correspondent pas souvent aux heures d'ensoleillement où nécessite une intensité régulière. On équipe alors le système de batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'électricité et de la restituer en temps voulu. Ainsi, quand l'énergie produite est supérieure à l'énergie consommée, l'excédent d'électricité est stocké dans les batteries jusqu'à ce que la limite de charge des batteries soit atteinte. Inversement, quand l'énergie produite est inférieure à l'énergie consommée, les batteries fournissent la quantité d'énergie manquante jusqu'à ce que la limite de décharge des batteries soit atteinte. Un régulateur est alors indispensable pour protéger la batterie contre les surcharges ou les décharges profondes nocives à sa durée de vie. L'objectif d'un régulateur de charge est donc de protéger la batterie pour assurer une meilleure durée de vie. En effet, c'est presque toujours la batterie qui dure le moins longtemps dans une application solaire si l'on n'y prend pas garde. Améliorer la durée de vie d'une batterie, c'est empêcher :

- La surcharge : éviter que la tension dépasse un certain seuil.
- La décharge profonde : éviter que la batterie soit vidée de plus de 60 à 70 % de sa charge.

On réalise ces deux fonctions avec un régulateur de charge-décharge connecté avec les panneaux, la batterie et la charge électrique.

Les principaux régulateurs sont :

- ✓ Régulateur de charge Shunt :
- ✓ Régulateur de charge Série:
- ✓ Régulateur à sectionnement :



**Figure(II.2) : Schéma du régulateur shunt**

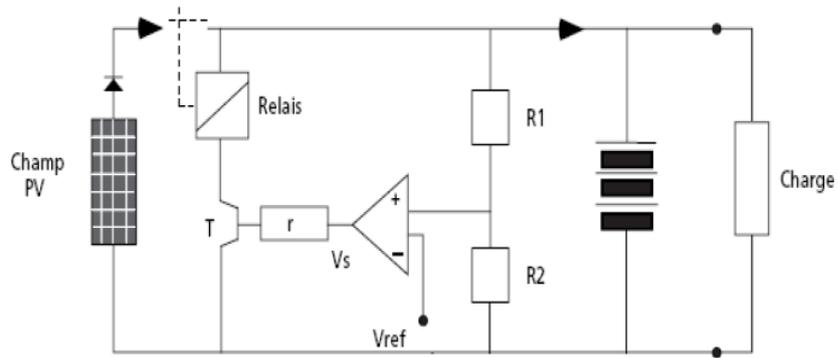


Figure (II.3) : Schéma du régulateur série

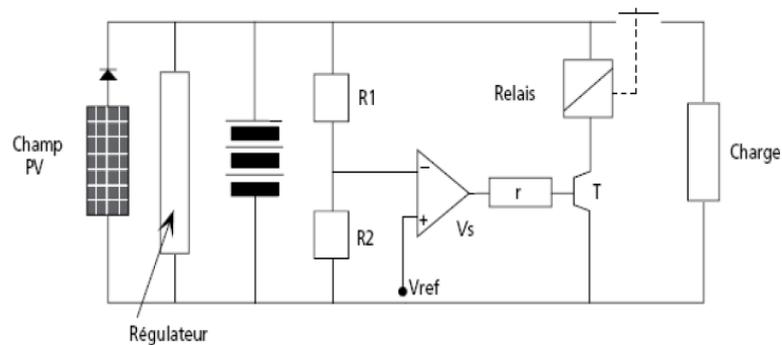
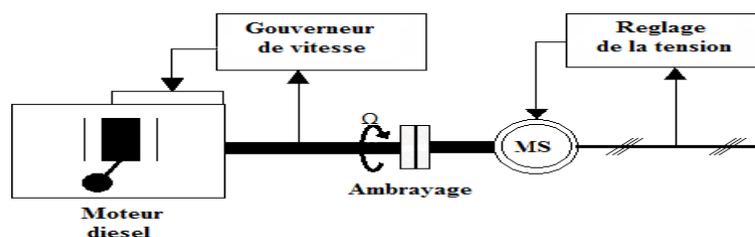


Figure (II.4) : Schéma du régulateur à sectionnement basse tension automatique

**II.2.5 Groupe électrogène [32]:**

Dans le cas d'un système d'énergie renouvelable, la production d'énergie électrique est réalisée en fonction des ressources (vent, soleil...) et non de la demande. Dans le cas des installations autonomes, Il est donc nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels.

Dans un système hybride photovoltaïque, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (figure). La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel . Le gouverneur fonctionne en ajoutant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.



Figure(II.5) : configuration du groupe électrogène

### II.3 Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides [33] :

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:

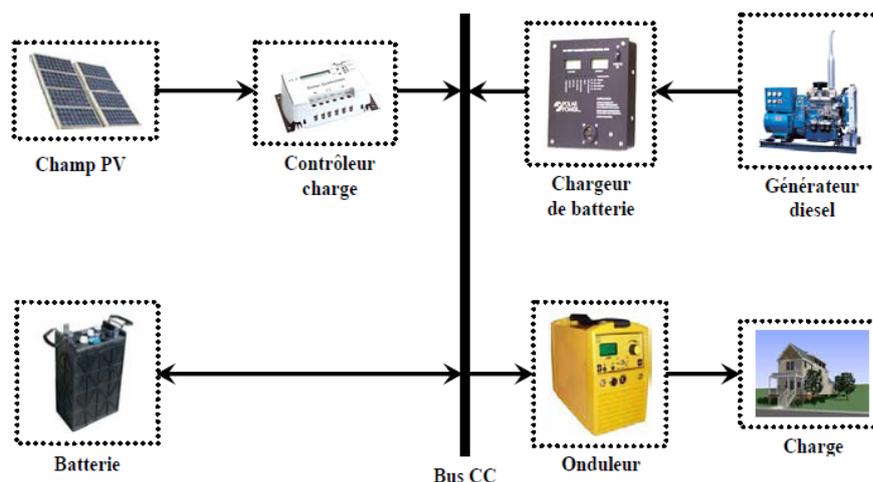
- Système hybride PV - Diesel série
- Système hybride PV - Diesel commuté
- Système hybride PV - Diesel parallèle.

Nous présenterons ci-après, les avantages et les inconvénients de chaque configuration.

#### II.3.1 Configuration série :

Dans cette configuration, l'énergie produite par le générateur diesel est d'abord redressée et puis convertie de nouveau en alternatif pour être fournie à la charge, ce qui implique des pertes de conversion significatives. Lorsque l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le diesel est débrayé. La puissance en courant continu fournie par le champ et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur.

De plus, il faut noter que dans la plupart des systèmes de ce type, le rendement du système est diminué à cause du transit d'une grande partie de l'énergie par la batterie, augmentant ainsi le nombre des cycles charge - décharge (Figure II.6)



**Figure (II.6):** Système hybride PV - Diesel série

Le régime de fonctionnement du générateur dépend d'une part de la demande d'énergie et d'autre part, de l'état de charge de la batterie et de la production du champ PV. La batterie se charge quand de l'énergie est produite en excès par le champ. Au contraire, quand l'énergie produite n'est pas suffisante, alors la batterie se décharge. Le contrôleur solaire prévient la surcharge de la batterie et sa

décharge trop profonde. On peut également faire appel à un convertisseur CC/CC (MPPT) qui permettra au champ PV de faire fonctionner le champ à son point maximum de puissance. Le système hybride peut travailler de manière automatique si on ajoute un système de mise en marche et arrêt du générateur diesel.

➤ **Les avantages :**

- La puissance du GE 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 :**

- 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.3.2 Configuration commutée :

Cette configuration est très fréquemment utilisée malgré ses limitations opérationnelles. La charge peut être alimentée soit par le générateur diesel, soit par l'onduleur alimenté par le photovoltaïque ou la batterie mais le fonctionnement en parallèle n'est pas encore possible. La batterie peut être chargée de nouveau 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. En principe, la puissance produite par le générateur est supérieure à la demande de la charge et l'excès est utilisé pour la charge de 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. 3).

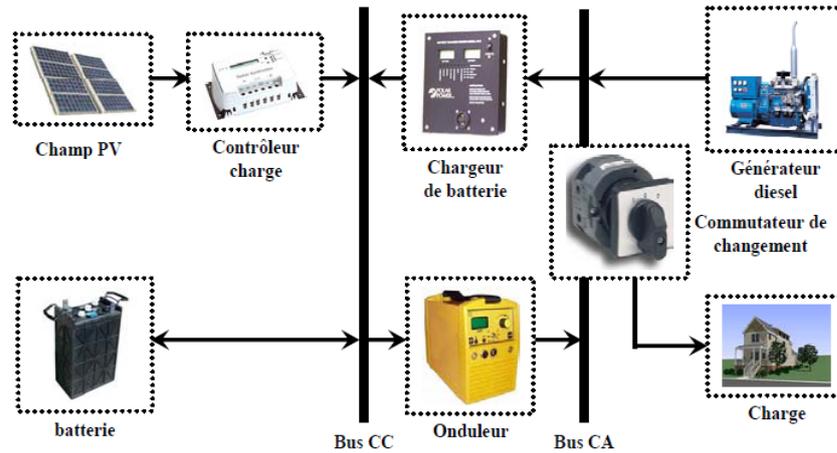


Figure (II.7): Système hybride PV - Diesel commuté

➤ **les avantages:**

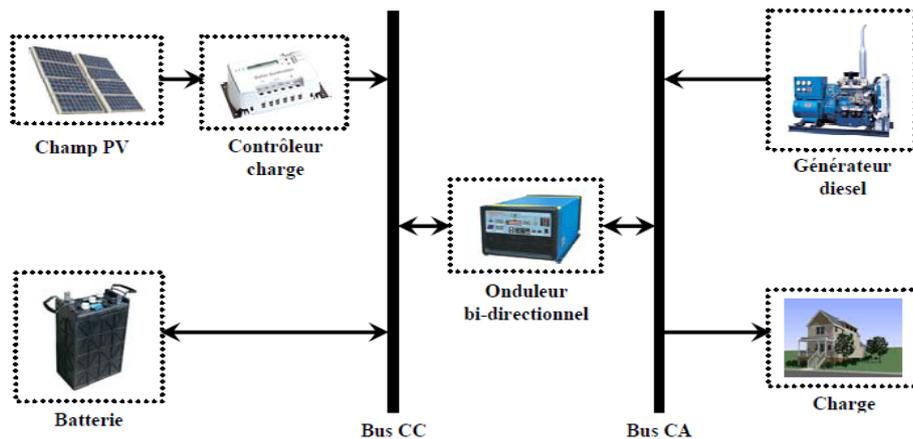
- Différentes formes du courant sont possibles, selon les besoins (sinusoïdal, signal carré).
- Le générateur peut fournir l'énergie produite directement à la charge, ce qui augmente le rendement du système et diminue la consommation de carburant.

➤ **Inconvénients :**

- 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.3.3 Configuration parallèle :

Dans la configuration parallèle, toutes les sources peuvent alimenter la charge séparément à faible et moyenne demande mais également suppléer les pointes en combinant les sources. L'onduleur bidirectionnel peut fonctionner, soit comme un redresseur lorsqu'il y a un excès d'énergie produite par le diesel pour charger la batterie, soit comme un onduleur, pour transférer l'énergie fournie par le champ photovoltaïque ou par la batterie vers la charge. Grâce à l'onduleur Bidirectionnel, le système parallèle peut alimenter une charge supérieure à la puissance nominale du générateur (Fig. 4).



**Figure (II.8):** Système hybride PV - Diesel parallèle

Ce système possède deux améliorations par rapport aux configurations série et commutée.

L'association du générateur diesel et de l'onduleur permet l'alimentation d'une charge supérieure à la charge alimentée par chaque élément seul. En principe, la capacité du système est deux fois plus grande dans cette configuration. La possibilité de synchroniser l'onduleur avec le générateur diesel permet une meilleure flexibilité du système et de plus, la puissance nominale du générateur diesel peut être diminuée, ce qui augmente la partie de l'énergie directement utilisée d'où on obtient une augmentation du rendement du système.

En utilisant un seul convertisseur comme onduleur et redresseur, on diminue le nombre des éléments dans le système. De plus, les coûts du câblage et l'installation du système peuvent être diminués par l'intégration de toutes les composantes dans une seule unité, ce qui est avantageux, mais peut empêcher l'augmentation de la taille du système par l'ajout de nouveaux composants si la demande en électricité augmente

➤ **Avantage:**

- 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.

➤ **Inconvénient:**

- 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.
- Dans ce papier, nous avons choisi d'étudier un système hybride photovoltaïque fonctionnant selon la configuration série et nous étudierons le fonctionnement de ce système

#### **II.4 Etapes de conception d'un système hybride [31]:**

1. Définir les ressources climatiques du site : ensoleillement, vent et température.
2. Estimer la charge moyenne en Ah/j.
3. Dimensionner la batterie: capacité Ah.
4. Dimensionner le champ photovoltaïque: puissance crête en Wc.
5. Choisir le système hybride qui est approprié.
6. Recalculer les caractéristiques des composants: PV, Batteries, aérogénérateurs, Génératrice, Onduleur, Chargeur.

#### **II.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants de système hybride photovoltaïque /groupe électrogène et les types de configuration.

La conception et la mise en œuvre d'un système fiable et efficace exigent une évaluation et un dimensionnement complet des différents composants du système hybride. qui seront l'objet de notre étude dans le troisième chapitre.



### III. Introduction :

Cette étude concerne le dimensionnement d'un système multi sources de production d'électricité d'origine renouvelable (PV, Diesel) ou une source d'énergie renouvelable (soleil), un générateur diesel et un composant de stockage électrolytique sont combinés pour remplir la demande d'énergie d'une charge.

Ce système doit alimenter en énergie électrique un habitat moyen (7 membre), situé dans la région de Ghardaïa.

Le dimensionnement et le fonctionnement des composantes du système hybride photovoltaïque doit tenir compte des variations de la charge et des ressources renouvelables disponibles pour optimiser leur utilisation.

Pour cela, nous allons dans ce chapitre évalué le potentiel solaire (la valeur et la durée de l'ensoleillement) dans la région de Ghardaïa, déterminer le profil de charge de l'habitat puis nous passerons au dimensionnement des différents éléments de l'installation.

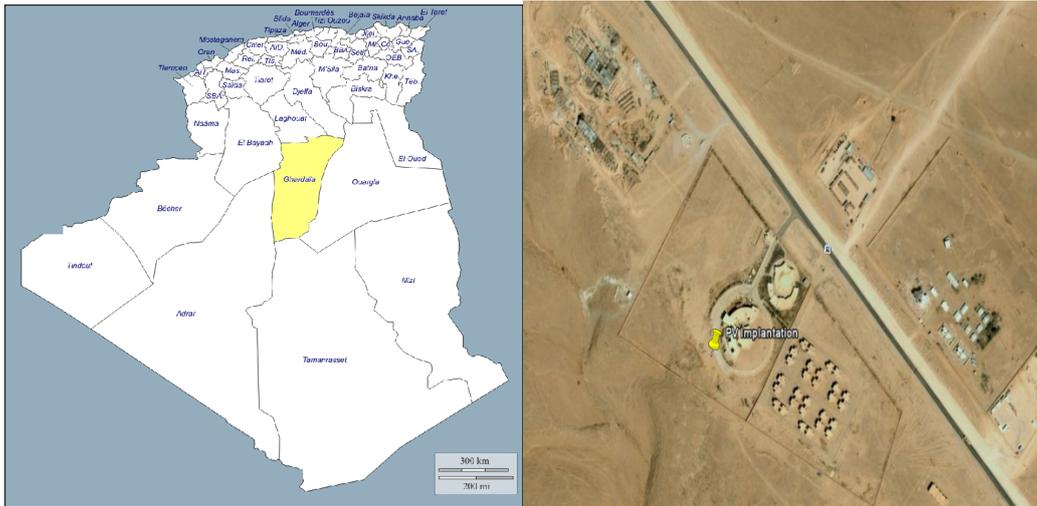
#### III. 1 Site d'implantation :

Le choix de site est basé sur la disponibilité des données météorologiques. Dans notre cas nous avons opté pour la région de Ghardaïa au cette ville dispose d'ailleurs d'une unité de recherche appliquée des énergies renouvelables. En outre son potentiel solaire favorable ou l'implantation de systèmes d'énergies hybride PV/groupe électrogène est à encourager.

Ghardaïa est situés au Nord du Sahara Algérien et possèdent un potentiel solaire important avec une moyenne mensuelle du rayonnement quotidien sur l'horizontale qui varie entre 3.29 KWh/m<sup>2</sup> /j (Décembre) et 8.37 KWh/m<sup>2</sup> /j (Juin), Sa température moyenne mensuelle maximale est de 44.33°C (juillet), tandis que la température moyenne mensuelle minimale est de 4.55C° (décembre).

#### III. 2 Cordonnées géographiques du site :

- Latitude: 32° 23' 8.7" N
- Longitude: 3° 46' 46.7" E
- Altitude: 467m



**Figure (III.1) :** Emplacement géographique du site.

### III. 3 Données météorologiques :

Avec les différents appareils que dispose l'unité de recherche appliquée des énergies renouvelables de Ghardaïa à savoir le traqueur du soleil (Sun tracker), thermomètre et les pyranomètres on a pu obtenir les différentes données météorologiques à savoir l'ensoleillement, les températures et les durées d'ensoleillements.



**Figure (III.2) :** Traqueur du soleil

#### Pyranometre :

Le pyranomètre est l'appareil le plus utile puisqu'il évalue, à l'aide d'une thermopile, l'ensemble du rayonnement solaire (direct+diffus) sur une surface donnée, sur un très large spectre, de 0,3 à 3  $\mu\text{m}$  de longueur d'onde. Son globe de verre lui confère une grande acceptation angulaire, proche de la demi-sphère (il collecte les rayons venant de toutes les directions, même les rayons rasants).

Il peut également mesurer uniquement la part diffuse du rayonnement: on masque alors le rayonnement direct avec un cache en forme d'arc qui suit la trajectoire du soleil pour éliminer la contribution directe du rayonnement.



Figure (III.3) : Pyranometre

Les données météorologiques de l'année 2008 sont présentées ci dessous :

**III. 3.1 Irradiation globale journalière moyenne sur un plan horizontal :**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
Moy [KW/m <sup>2</sup> /j]	4.06	4.68	6.03	7.07	7.60	8.37	7.53	6.88	5.57	4.36	4.34	3.29

Tableau(III.1) : Irradiation globale journalière moyenne sur un plan horizontal.

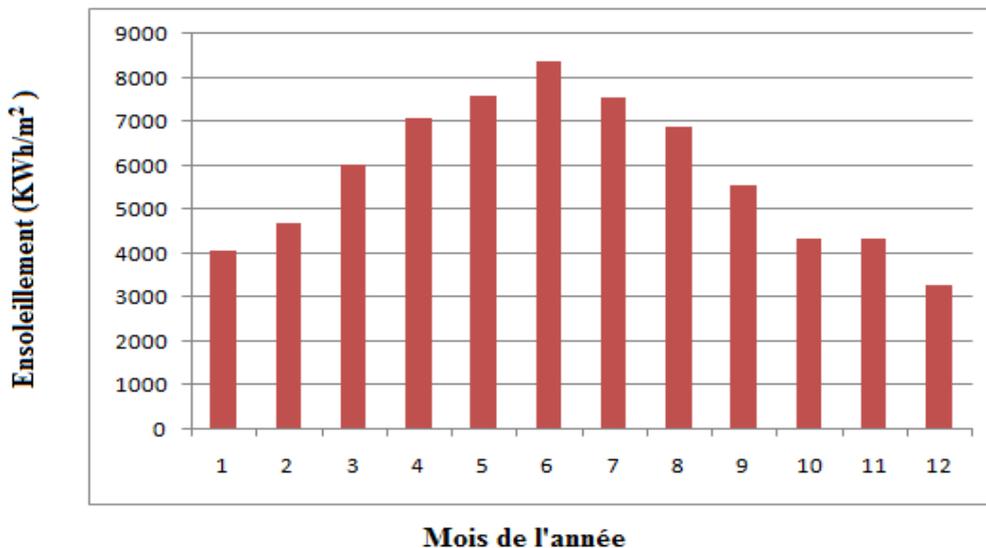


Figure (III.4) : Irradiation globale journalière moyenne sur un plan horizontal.

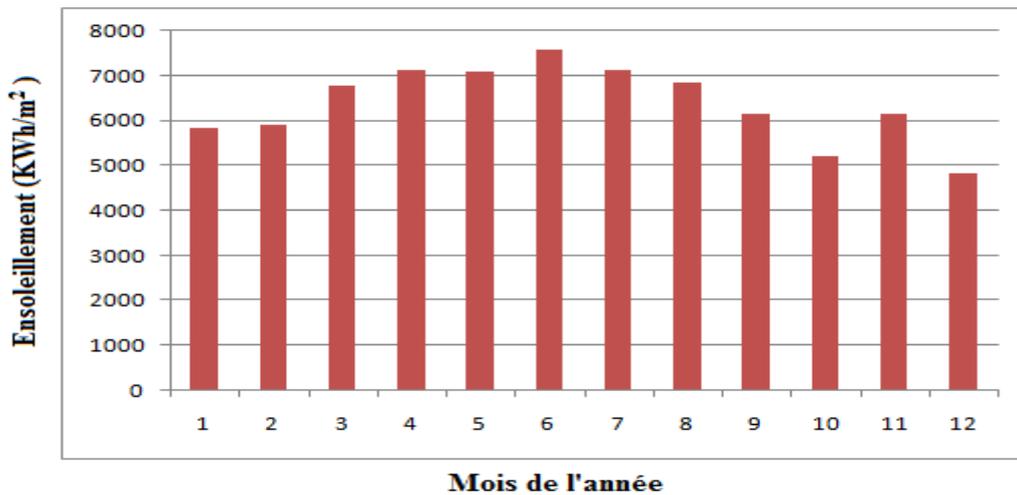
D'après la Figure (III.4) l'irradiation globale journalière moyenne sur un plan horizontal reçue sont plus importantes de mois d'Avril jusqu'au mois d'Aout c'est-à-dire la saison d'été ou elle atteint

8.37 [KW/m<sup>2</sup>/j] par contre dans la période d’hiver (mois de décembre, janvier et février) irradiances sont moins importantes, elle atteint que 3.29 [KW/m<sup>2</sup>/j] au mois de décembre.

**III. 3.2 Irradiation globale journalière moyenne sur un plan incliné (0.32°) :**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
Moy [KW/m <sup>2</sup> /j]	5.85	5.92	6.77	7.14	7.10	7.59	7.12	6.85	6.14	5.20	6.16	4.84

**Tableau(III.2) :** Irradiation globale journalière moyenne sur un plan incliné (0.32°).



**Figure (III.5) :** Irradiation globale journalière moyenne sur un plan incliné (0.32°).

Pour le plan incliné l’irradiation globale journalière moyenne reçue sont plus importantes dans la période qui s’étend de mois d’avril jusqu’au mois d’aout, ou elle atteint 7.59 [KW/m<sup>2</sup>/J] au mois de juin. Dans cette période une diminution est remarquable en comparant au plan horizontal.

Dans les autres mois de l’année l’irradiation est un peu moins importante mais avec une augmentation en comparant au plan horizontal.

**III. 3.3 Température moyenne :**

Mos	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
moy (°C)	12.01	13.74	17.83	23.34	27.04	30.91	37.04	32.63	29.2	22.13	15.11	10.23

**Tableau(III.3) :** Température moyenne.

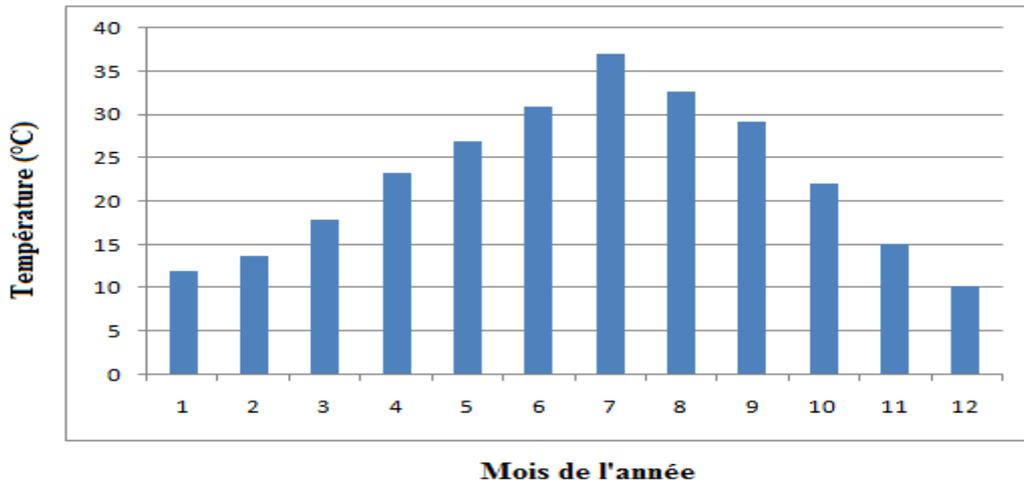


Figure (III.6) : Températures moyennes (°C).

D’après la Figure (III.6) les températures sont élevées dans les mois de mai, septembre et plus élevée dans la saison d’été. Dans les autres mois de l’année une diminution est remarquable des températures.

III. 3.4 Durée d’insolation :

Mois	J	F	F	A	M	J	J	O	S	O	N	D
Moy (h:mn)	08.23	07.49	08.55	09.17	09.17	12.14	10.14	8:52	07.43	06.32	08.56	06.54

Tableau(III.4) : Durée d’insolation.

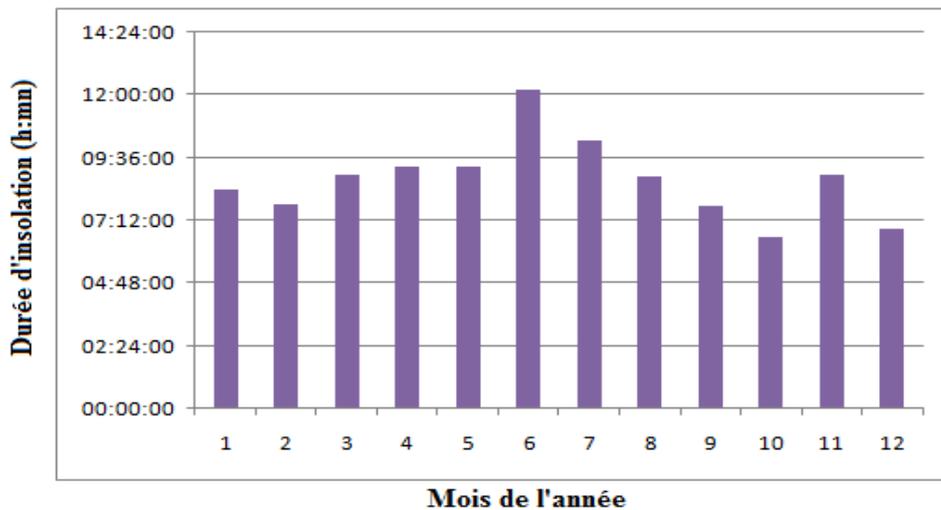


Figure (III.7) : durée d’isolation (h:mn).

### III. 4 Profil de charge :

Les données initiales dans la mise en œuvre d'un système de production à source renouvelable d'énergie comme pour tout autre système est la demande, qui va être déterminée par rapport à la charge à alimenter. Cette demande doit être estimée aussi précisément que possible tant d'un point de vue des puissances appelées que de sa répartition temporelle, même si son caractère souvent aléatoire rend cette tâche bien difficile.

L'éclairage et la production de froid représentent sans aucun doute les deux besoins essentiels d'une habitation ; l'information et les loisirs sont de nos jours indissociables d'une vie en société. Même dans les régions les plus éloignées du globe, une télévision (ou au moins une radio) fait souvent partie des appareils traditionnels d'une habitation. Le ventilateur, quant à lui, n'est sollicité que durant la période estivale. Le profil de charge est basé hypothétiquement sur une maison de sept personnes.

L'estimation de la consommation électrique dans la période d'été et d'hiver d'une habitation est représentée dans le tableau ci-dessous.

En outre l'évaluation précise des besoins en électricité consommée est primordiale pour un bon dimensionnement. Il faut alors se renseigner sur la consommation de chaque appareil utilisé et choisir les appareils dont la consommation est la plus faible possible afin de réduire ces dépenses en électricité tout en gardant un bon niveau de confort.

Pour calculer l'énergie consommée nécessaire par jour (Wh /jour), on multiplie la puissance (W) de chaque équipement (lampes, pc, ...) par le nombre d'heures de fonctionnement respectivement (h /jour), puis on somme les valeurs trouvées.

La consommation totale d'une application, est calculée en tenant compte du rendement de l'onduleur.

$$E_C = E_{DC} + \frac{E_{AC}}{\eta_{ond}} \dots \dots \dots (III.1)$$

Avec :

$E_C$  : consommation totale d'une application (Wh/jour).

$E_{DC}$  : Energie consommée par les charges DC (Wh/jour).

$E_{AC}$  : Energie consommée par les charges AC (Wh/jour).

$\eta_{ond}$  : Rendement moyen de l'onduleur : 0,95.

Equipements		Puissance (W)	Nombre	Puissance totale (W)	Durée d'utilisation (heure)	Energie journalière maximale (Wh)
Réfrigérateur(AC)		110	01	110	12/22été	1389.4/2547.3été
TV (AC)		75	01	75	05 / 07 été	394.7 / 552.6été
PC (AC)		50	01	50	03	157.8
Eclairage	Chambre d'adulte	22	01	22	04 /02été	88/44
	Chambre de Garçons	22	01	22	04 /03été	88/66
	Chambre de filles	22	01	22	04 /03été	88/66
	Cuisine	22	01	22	03	66
	Chambre de séjour	22	01	22	02 / 04 été	44/ 88 été
	Couloir	22	01	22	07 /03été	154/66été
	Toilette	22	01	22	02	44
	Salle de bain	22	01	22	03	66
Ventilateur (été)		40	03	120	04	480 été
Autres accroires		135	01	135	02	270
Total						2849.9/4513.7été

Tableau (III.5) : Estimation de la consommation électrique d'une habitation (site de Ghardaïa)

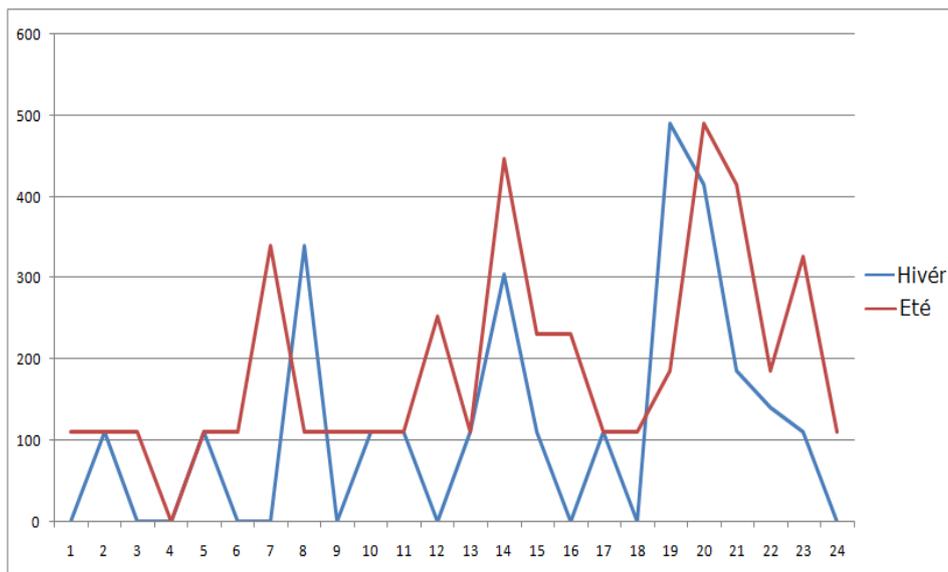


Figure (III.8) : profil de charge d'une habitation (site de Ghardaïa).

III. 5 dimensionnement des différents éléments de l'installation photovoltaïque hybride:

Dans cette section, nous allons estimer la dimension du système photovoltaïque qui nous conviendra.

**III. 5.1 Estimation de la puissance du champ photovoltaïque :**

La puissance du champ photovoltaïque à installer doit tenir compte de l'énergie journalière demandée par la charge ( $E_c$ ) de la durée d'ensoleillement, du rendement du chargeur de batteries ( $\eta_c = 0.95$ ), et de celui des batteries ( $\eta_B = 0.85$ ). Nous présentons deux méthodes de dimensionnement :

Méthode 1 :

Dans cette méthode, on considère que le panneau photovoltaïque délivre sa puissance maximale pendant la durée d'ensoleillement. En utilisant un bilan de puissance, on obtient :

$$P_1(W) * \text{durée de l'ensoleillement (h / j)} * \eta_c * \eta_B = E_c(Wh / j)$$

D'où :

$$P_1(W) = \frac{E_c(Wh / j)}{\text{durée de l'ensoleillement (h / j)} * \eta_c * \eta_B} \dots\dots\dots (III-2)$$

Cette puissance est la puissance nominale du champ photovoltaïque. Si on n'utilise pas le dispositif d'optimisation pour la recherche du maximum de puissance (MPPT), on doit tenir compte des pertes de puissance et donc majorer la puissance nominale du champ photovoltaïque (en général de 25%).

La puissance du champ photovoltaïque devient :

$$P(W) = P_1(1 + 0.25) \dots\dots\dots (III-3)$$

Le nombre de panneaux à installer se calcule par :

$$N \geq \frac{P}{P_s} \dots\dots\dots (III-4)$$

Avec :

$P_s$  : la puissance nominale d'un panneau.

Méthode 2 :

Cette méthode nécessite la connaissance de la durée et la valeur moyenne de l'ensoleillement ainsi que les différents rendements (batterie, PV, régulateur), puis on calcule la surface utile du générateur photovoltaïque  $S_{GPV}$  [34] :

$$S_{GPV} * H(KWh / m^2 / j) * \eta_{PV} * \eta_c * \eta_B = E_c(KWh / j)$$

$$S_{GPV} = \frac{E_c (Wh / j)}{H (KWh / m^2 / j) * \eta_{PV} * \eta_c * \eta_B} \dots\dots\dots(III-5)$$

$$N_{PV} \geq \frac{S_{GPV}}{S_{PV}}$$

.....(III.6)

**Application numérique :**

Pour un dimensionnement correct on partage l’année en deux périodes selon la consommation de l’énergie électrique :

- ✓ 1<sup>ere</sup> période (juin-septembre) avec une consommation de 4513.7Wh /jour.
- ✓ 2<sup>eme</sup> période (octobre-mai) avec une consommation de 2849.9Wh /jour.

**III.5.2 Dimensionnement de nombre de panneaux photovoltaïques pour la période (juin-septembre) :**

La valeur de la durée d’ensoleillement qu’on va utiliser est la plus défavorable de cette période qui est celle de septembre.

$$P_1(W) = \frac{4513.7}{7.43 * 0.95 * 0.85} = 752.31W$$

$$P(W) = 752.31 * (1 + 0.25) = 940.38W$$

Nous disposons de panneaux photovoltaïques de 130W<sub>C</sub> chacun ;

$$N_{pv} = \frac{940.38}{130}$$

$$N_{pv} = 7.23$$

Le nombre de panneaux photovoltaïques est de 08 panneaux.

**III.5.3 Dimensionnement de nombre de panneaux photovoltaïques pour la période (octobre-mai) :**

La valeur de la durée d’ensoleillement qu’on va utiliser est la plus défavorable de cette période qui est celle de Décembre.

$$P_1(W) = \frac{2849.9}{6.32 * 0.95 * 0.85} = 558.43W$$

$$P(W) = 558.43 * (1 + 0.25) = 698.03W$$

Nous disposons de panneaux photovoltaïques de 130W<sub>C</sub> chacun ;

$$N_{pv} = \frac{698.03}{130}$$

$$N_{pv} = 5.36$$

Le nombre de panneaux photovoltaïques est de 06 panneaux.

Le nombre de panneaux photovoltaïques qui peut satisfaire la charge dans les deux périodes est : 08 panneaux de 130W chacun.

**III.5.4 La capacité du système de stockage [35] :**

Pour assurer la continuité de l'alimentation pendant la nuit, et lorsque la puissance délivrée par les panneaux est insuffisante, on prévoit un système de stockage qui se compose généralement par des batteries. La capacité qui doit être installée dépend, de la tension (V<sub>B</sub>), coefficient de réduction (R<sub>T</sub>) du à l'effet de la température et de la profondeur de décharge (PDD=0.7) de la batterie, ainsi que de l'énergie demandée par la charge et le nombre de jours d'autonomie (N<sub>j</sub>). Elle est donnée par :

$$C_B (Ah) = \frac{E_c \cdot N_j}{V_B \cdot R_T \cdot PDD} \dots\dots\dots (III-7)$$

**Application numérique :**

**Capacité des batteries :**

On désire avoir une autonomie de 2 jours, et on dispose des batteries de 12V (105Ah) et en tenant compte de l'effet de la température R<sub>T</sub>=0.95, et de la profondeur de décharge PDD de 0.7, nous utilisons la relation précédente pour calculer la capacité du système de stockage [36], en prenant la consommation la plus élevé des deux périodes.

$$C_B (Ah) = \frac{4513.7 * 2}{24 * 0.95 * 0.5} = 791.87Ah$$

$$N_{Bat} = \frac{C_b(Ah)}{C_u(Ah)} \dots\dots\dots (III.8)$$

$$N_{Bat} = \frac{791.87}{105} = 7.54 ;$$

Ce qui nous a conduits donc à utiliser 08 batteries de 12V, de capacité de 105Ah, et la tension qu'on a choisi est de 24V d'où le branchement est de 04 branches en parallèles qui contient 02 batteries en série.

### III.5.5 Dimensionnement du régulateur :

Le régulateur sera dimensionné d'après les paramètres suivants : tension, courant d'entrée et courant de sortie :

- ✓ **Tension nominale** : 24V.
- ✓ **Courant d'entrée ( $I_e$ )** : c'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximale [37].
- ✓ **Courant de sortie( $I_s$ )** : l'intensité de courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Elle peut être déterminée par la formule [38] :

$$I_s = 1,5 \frac{P}{V_{ch}} \dots \dots \dots (III.9)$$

Avec :

P : puissance totale des récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au maximum de leur puissance de fonctionnement (W), donc la puissance d'un appareil fois le nombre d'appareils.

#### Application numérique :

$$I_e = 1,5 * 8 * 3,94$$

$$I_e = 47,28A$$

$$I_s = 1,5 \frac{586}{24}$$

$$I_s = 36,62A$$

### III.5.6 Dimensionnement de l'onduleur :

Lorsque l'application contient d'appareils fonctionnant en alternatif (AC), il faut convertir l'électricité continue que produisent les capteurs photovoltaïques en électricité alternative utilisable par ces appareils.

Le dimensionnement d'un onduleur se base sur la somme des puissances maximales de chaque équipement à connecter au courant alternatif, et se fait en fonction de plusieurs critères :

**Tension d'entrée :** Elle est égale à celle de la batterie ou du régulateur (24V).

**Tension de sortie :** En Algérie nous utilisons du 220 VAC, 50 Hz

**Puissance nominale :** Puissance nominale de l'onduleur (VA), définie d'après les besoins exprimés. Elle tient compte du nombre d'équipements, et de leurs puissances.

**Rendement :** on a choisi un onduleur de rendement 0,9.

### III.5.7 Le 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, on pourra se servir du calcul de la chute de tension dans un conducteur, donnée par la loi d'Ohm :

$$\Delta V = R \cdot I \dots\dots\dots(III.10)$$

$$\text{Où } R = \rho \cdot (L/s)$$

Donc :

$$S \geq \frac{\rho \cdot I \cdot L}{\Delta V} \dots\dots\dots(III.11)$$

Avec :

R : résistance ( $\Omega$ )

L : longueur (m)

S : section ( $\text{mm}^2$ ) du conducteur

$\rho$ : 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 connait le courant, la tension et la longueur du câble.

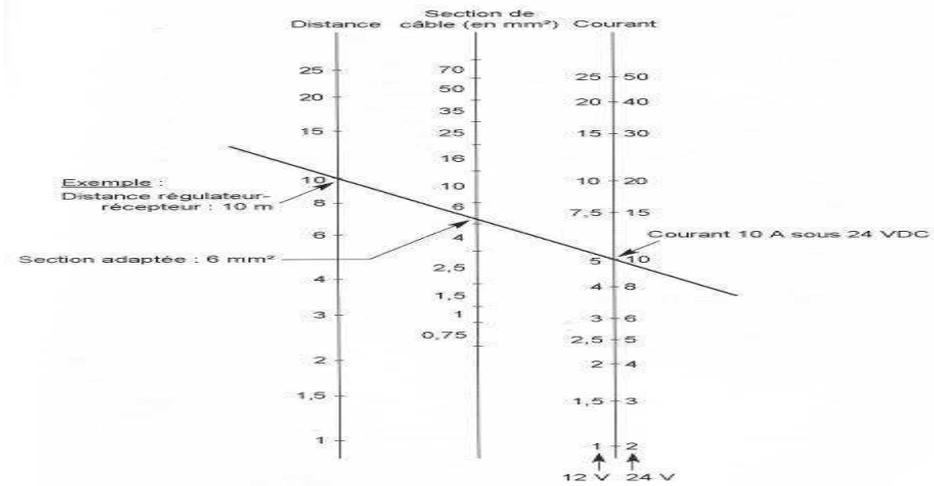


Figure (III.9) : Abaque de détermination des sections en courant continu

**III.5.8 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 un certain temps, il doit alimenter la charge pendant cette période La puissance du groupe est donnée par [39] :

Si on utilise plusieurs groupes électrogènes :

$$P_G = \frac{P_{ch}}{NG} \dots\dots\dots (III.12a)$$

Si on utilise un seul groupe :

$$P_G = P_{Ch} \dots\dots\dots (III.12b)$$

**III.5.9 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné les différents composants du système hybride photovoltaïque, à savoir les panneaux, les batteries, le groupe électrogène, l’onduleur et le régulateur ainsi que leurs câblages, et nous avons présenté le profile de charge pour deux périodes dans l’année, aussi les données météorologiques du site de Ghardaïa.

Ce dimensionnement va nous permettre d’élaborer une stratégie de contrôle pour le système hybride qui sera l’objet de notre travail dans le chapitre 4.

## IV Introduction :

La combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu'économique.

Un système hybride, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux. L'un des plus importants est sans conteste la gestion de la production. Donc dans ce chapitre nous allons aborder l'élaboration d'une stratégie de contrôle pour notre système hybride. Cette stratégie est  $\mu$ programmée, basée sur l'utilisation d'un pic. La compilation du programme de contrôle et la simulation de notre système hybride seront réalisées à l'aide du compilateur C de CCS (version PCW) et du logiciel ISIS.

### IV.1 Microcontrôleurs :

#### IV.1.1 Généralités :

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...).

#### IV.1.2 Les avantages du microcontrôleur :

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années. Nous allons voir que le nombre d'entre eux découle du simple sens.

- Tout d'abord, un microcontrôleur intègre dans un seul et même boîtier ce qui, avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé.

- Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresses et de donnée d'un composant à un autre.

- L'augmentation de la fiabilité du système puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimés diminue.

- Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux :
- Moins cher que les autres composants qu'il remplace.
- Diminuer les coûts de main d'œuvre.
- Réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.

### IV.1.3 Contenu d'un microcontrôleur :

Un circuit microcontrôleur doit contenir dans un seul boîtier tous Les éléments de bases qu'on verra par la suite. En effet, pour l'analyse des divers systèmes réalisés avant l'avènement des microcontrôleurs, les fabricants des circuits intégrés a affinées un peu la définition de ce qu'il fallait intégrer pour arriver à un schéma type analogue à la figure suivante :

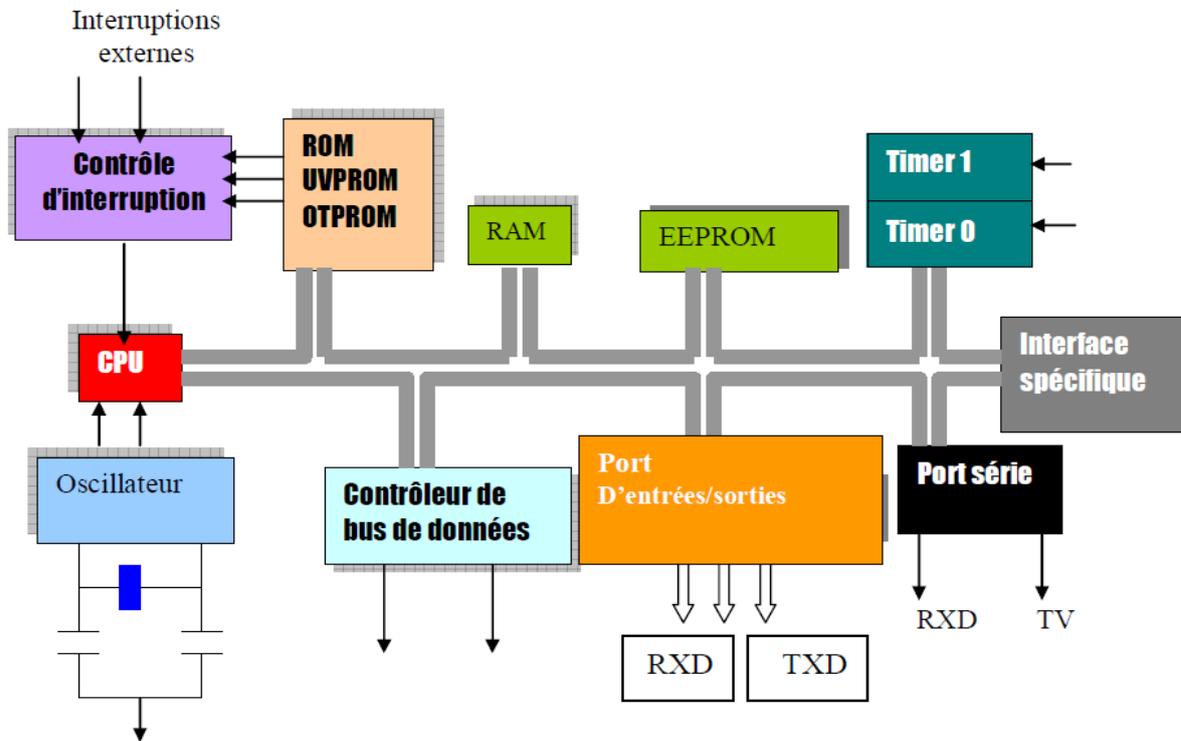


Figure (IV.1) : Structure interne d'un microcontrôleur.

## IV.2 Les PIC :

### IV.2.1 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 périphériques intégrés, tels qu'une mémoire EEPROM, un 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.

#### IV.2.2 Structure minimale d'un PIC :

La structure minimale d'un PIC est constituée des éléments ci-dessous :

- Une mémoire de programme contient le code binaire correspondant aux instructions que doit exécuter le microcontrôleur. La capacité de cette mémoire est variable selon les PIC
- Une mémoire RAM sauvegarde temporairement des données. Sa capacité est aussi variable selon les PIC
- Une Unité Arithmétique et Logique (UAL ou ALU en anglais) est chargée d'effectuer toutes les opérations arithmétiques de base (addition, soustraction, etc.) ainsi que les opérations logiques de base (ET, OU logique, etc.).
- Des ports d'entrées/sorties permettent de dialoguer avec l'extérieur du microcontrôleur, par exemple pour prendre en compte l'état d'un interrupteur (entrée logique), ou encore pour commander un relais (sortie logique).
- Un registre compteur de programme (CP ou PC en anglais), est chargé de pointer l'adresse mémoire courante contenant l'instruction à réaliser par le microcontrôleur. Le contenu du registre PC évolue selon le pas de programme.
- Un registre pointeur de pile (PP ou SP en anglais) est essentiellement utilisé lorsque l'on réalise un sous-programme. Le pointeur de pile est chargé de mémoriser l'adresse courante que contient le compteur de programme avant le saut à l'adresse du sous-programme. Lorsque le sous-programme est terminé, le pointeur restitue l'adresse sauvegardée vers le compteur de programme.
- Un registre d'instruction contient tous les codes binaires correspondant aux instructions à réaliser par le microcontrôleur.
  - Un registre d'état est en relation avec l'UAL et permet de tester le résultat de la dernière opération effectuée par le microcontrôleur. Selon la dernière opération effectuée, des bits sont positionnés dans le registre d'état et ceux-ci peuvent être testés à l'aide d'une instruction de branchement pour effectuer des sauts conditionnels.
  - Une horloge système permet de cadencer tous les échanges internes ou externes au microcontrôleur.

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.2.3 Identification d'un PIC :

Pour identifier un PIC, nous utilisons simplement son numéro : les 2 premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC, **16** indique un PIC Mid-Range, **18** indique PIC high-Range.

Vient ensuite parfois une lettre **L** : Celle-ci indique que le PIC peut fonctionner avec une plage de tension beaucoup plus tolérante. Ensuite, nous trouvons : **C** indique que la mémoire programme est une EPROM ou plus rarement une EEPROM, **CR** pour indiquer une mémoire de type ROM ou **F** pour indiquer une mémoire de type FLASH.

À ce niveau, on rappelle que seule une mémoire FLASH ou EEPROM est susceptible d'être effacée.

Finalement nous trouvons sur les boîtiers le suffixe « -XX » dans lequel XX représente la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir. Par exemple -04 pour un 4MHz.

Notons dès à présent que les PICs sont des composants STATIQUES, c'est à dire que la fréquence d'horloge peut être abaissée jusqu'à l'arrêt complet sans perte de données et sans dysfonctionnement.

### IV.2.4 Le microcontrôleur PIC 18F4550 :

Le PIC18F4550 est un microcontrôleur 8bit de la famille PIC18. La famille PIC18F est basée sur une architecture de jeu d'instructions à 16bit.

Le PIC18F4550 se compose de 32 KB de mémoire flash, 2 Ko de mémoire SRAM et de mémoire EEPROM 256 octets.

Il s'agit d'un microcontrôleur PIC à 40 broches composé de 5 ports E/S (Port A, PORT B, PORT C, PORT D et PORT E). PORTB et PORTD ont 8 broches pour recevoir/transmettre des données 8bit, Les ports restants ont des nombres différents de broches pour les communications de données E/S.

Le PIC18F4550 peut travailler sur différentes sources d'horloge interne et externe. Il peut fonctionner sur une gamme variée de la fréquence de 31 KHz à 48 KHz. .

Il existe différents périphériques encastrables comme ADC, comparateurs etc.

Le PIC18F4550 est un microcontrôleur de pointe qui est équipé avec les protocoles de communication améliorés, tels que EUSART, SPI, I<sup>2</sup>C, USB, etc.

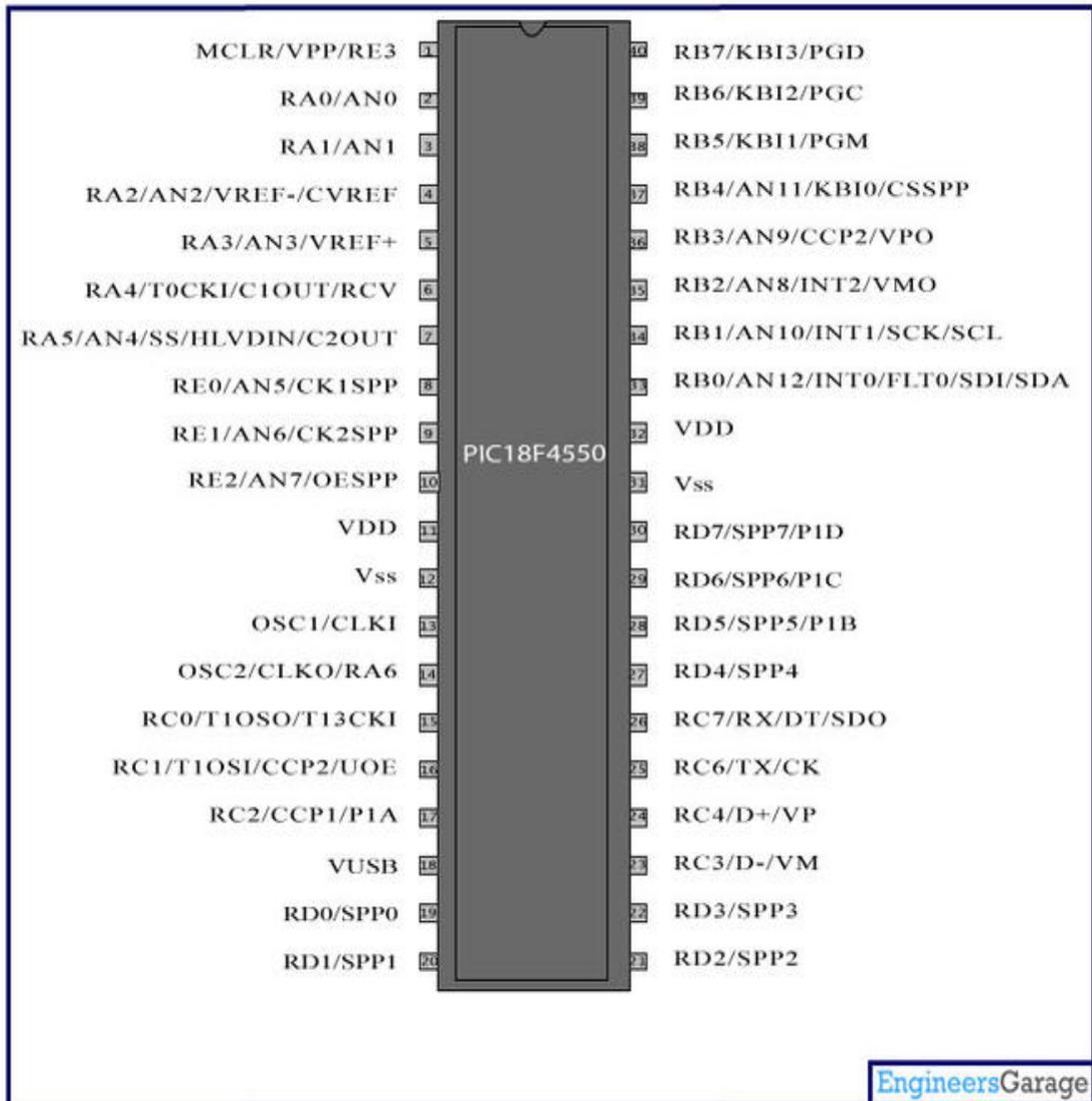
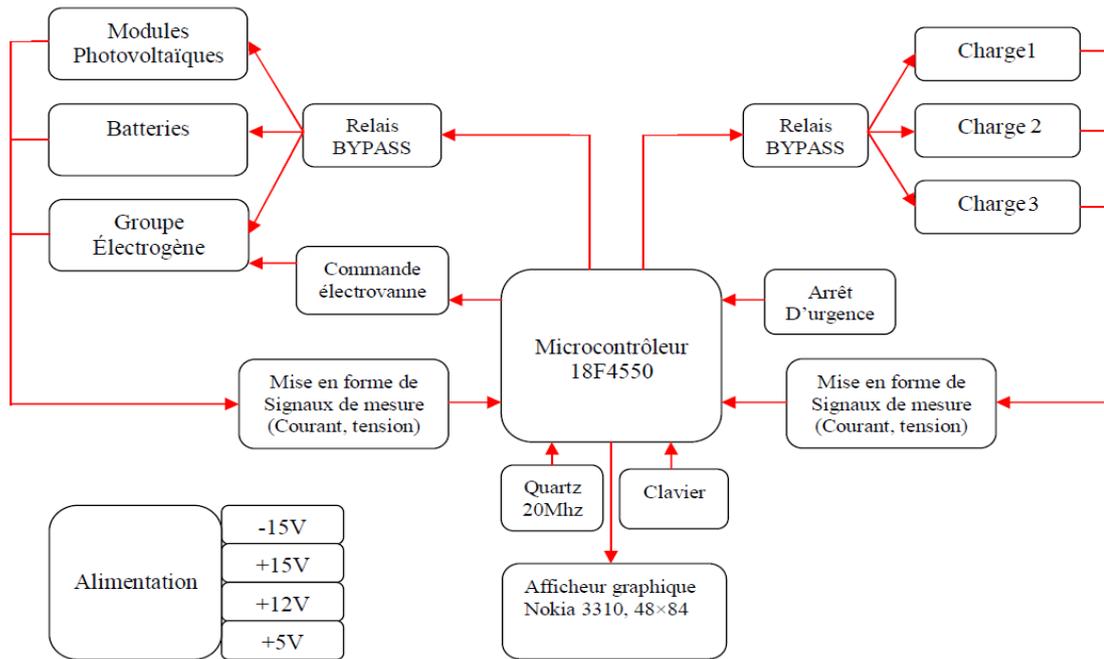


Figure (IV.2) : brochage de pic 18F4550.

### IV.3 Architecture de système énergétique hybride :

Dans ce travail, une nouvelle architecture de système énergétique hybride panneaux photovoltaïque /groupe électrogène a été proposée. Son schéma synoptique est donné à la figure.

Les différents composants de système énergétique hybride sont connectés à un module électronique de contrôle (microcontrôleur PIC 18F4550), qui assure la gestion automatique de l'énergie produite, ainsi que la protection du système.



**Figure (IV.3) :** schéma synoptique globale du système énergétique hybride panneaux photovoltaïques /groupe électrogène.

#### IV.4 Elaboration de stratégie de contrôle pour le système hybride :

La stratégie de fonctionnement est un algorithme qui permet au système de supervision d'un système hybride photovoltaïque de décider combien et quels générateurs il faut mettre en marche, quelles charges sont connectées et comment utiliser le stockage, si disponible.

##### IV.4.1 Le cahier de charge :

Le cahier de charge du module électronique de contrôle (microcontrôleur 18F4550) est le suivant :

- ✓ Protéger la batterie contre les surcharges ;
- ✓ Protéger la batterie contre les décharges profondes ;
- ✓ Démarrer et arrêter automatiquement le générateur de secours au besoin ;
- ✓ Brancher et débrancher automatiquement les charges par ordre de priorité ;
- ✓ Eviter au maximum les interruptions d'alimentation en énergie électrique ;
- ✓ Permettre la charge de la batterie par le groupe électrogène lorsque celui-ci a fonctionné ;

##### IV.4.2 Stratégie de contrôle :

Nous avons présenté le système énergétique hybride (solaire /groupe électrogène) comme étant un système composé principalement de panneaux solaire, groupe électrogène et de batteries de stockage.

La stratégie de contrôle consiste à gérer l'énergie électrique produite par l'ensemble des sources de ce système de manière à satisfaire le cahier de charge.

Pour les PV, la source d'énergie étant gratuite Un système hybride doit donc permettre d'utiliser au maximum les ressources solaires et obtenir un taux important d'énergie renouvelable de ce fait :

-Si l'ensoleillement est supérieure à l'ensoleillement minimale ( $E_C > E_{min}$ ) les panneaux sont connectes afin d'exploiter cette énergie solaire pour alimenter la charge dans le cas ou le courant produit par les panneaux est supérieure au courant demandé par la charge, et charger les batteries de stockages pour emmagasiner le surplus d'énergie si le niveau de charge est inferieur a 98%(niveau de charge maximale) si non les batteries sont déconnectées pour les protéger de la surcharge.

-Dans le cas ou le courant produit par les panneaux photovoltaïques ne satisfait pas le courant demandé par la charge les batteries délivrèrent un courant qui va s'ajouter au courant produit par les panneaux photovoltaïques pour satisfaire la charge si le niveaux de charge est supérieur a 70%.

-Dans le cas contraire ou le niveaux de charge est inferieur a 70% le groupe sera connecté et mis en marche, dans ce cas la charge sera alimenter et les batteries chargées, pour protéger le système le groupe électrogène seras mis a l'arrêt s'il atteint 2h de fonctionnement ou le niveau de charge des batteries atteint son maximum et la le système de stockage alimenteras la charge ainsi on réduit é le nombre de cycles démarrage/arrêt du groupe électrogène pour une meilleur protection de ce dernier et la minimisation de la consommation de carburant.

-Si le groupe électrogène ne démarre pas (niveau de carburant inférieur à 5% ou groupe défaillant) La stratégie de contrôle utilise les charges pour faire varier la demande d'énergie. Ainsi, les charges sont connectées et déconnectées par ordre de priorité en fonction du dépassement de certains seuils fixes.

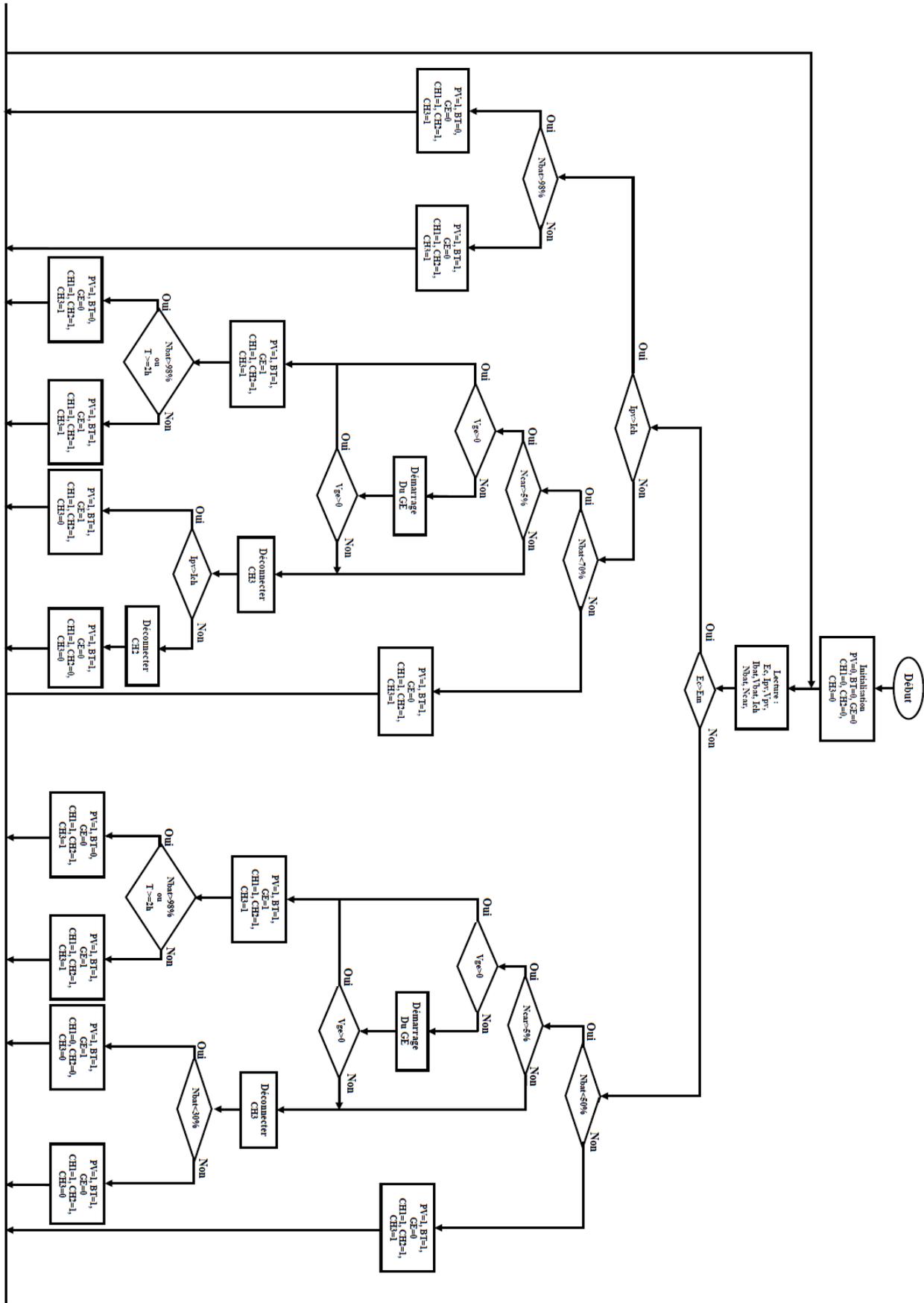
Les charges différées et optionnelles ont en général une priorité réduite. Elles doivent être connectées seulement quand leur régime de priorité est élevé, Dans le cas du pompage de l'eau, quand le niveau de l'eau dans le bassin est bas, la pompe acquiert une priorité élevée et elle doit démarrer et puisque son utilisation est occasionnelle sa connexion et sa déconnection se fait manuellement par l'utilisateur et s'il le faut il déconnecte les autres charges selon leurs ordres de priorité en fonction de l'énergie électrique disponible.

-Si l'ensoleillement est inferieur à l'ensoleillement minimale ( $E_C < E_{min}$ ) le système de stockage va alimenter la charge si son niveau de charge est supérieur a 50% et va se décharger jusque 50%(niveau spécifié par le constructeur pour protéger les batteries de la décharge profonde).

-Puis le groupe sera connecté et mis en marche, la charge sera alimenter et les batteries chargées, le groupe électrogène seras mis a l'arrêt si la mise en marche atteint 2h de marche ou le niveaux de charge des batteries atteint son maximum comme on l'a spécifié avant et la le système de stockage alimenteras la charge.

-Si le groupe électrogène ne démarre pas, le système de stockage à 50% de son niveau maximal va alimenter les charges tout en déconnectant celles-ci par ordre de priorité jusque au niveau 30% ou les batteries seront déconnectées pour éviter la détérioration de celles-ci et tout le système sera mis à l'arrêt.

#### **IV.4.3 Algorithme de la stratégie de contrôle:**



Figure(IV.4) : algorithme de la stratégie de contrôle.

#### IV.5 Programmation et compilation :

La programmation des PIC se fait par le langage assembleur qui est un langage de bas niveau qui représente le langage machine sous une forme lisible par un humain. Les combinaisons de bits du langage machine sont représentées par des symboles dits « mnémoniques » (du grec mnêmonikos, relatif à la mémoire), c'est-à-dire faciles à retenir.

Le programme assembleur convertit ces mnémoniques en langage machine en vue de créer par exemple un fichier exécutable.

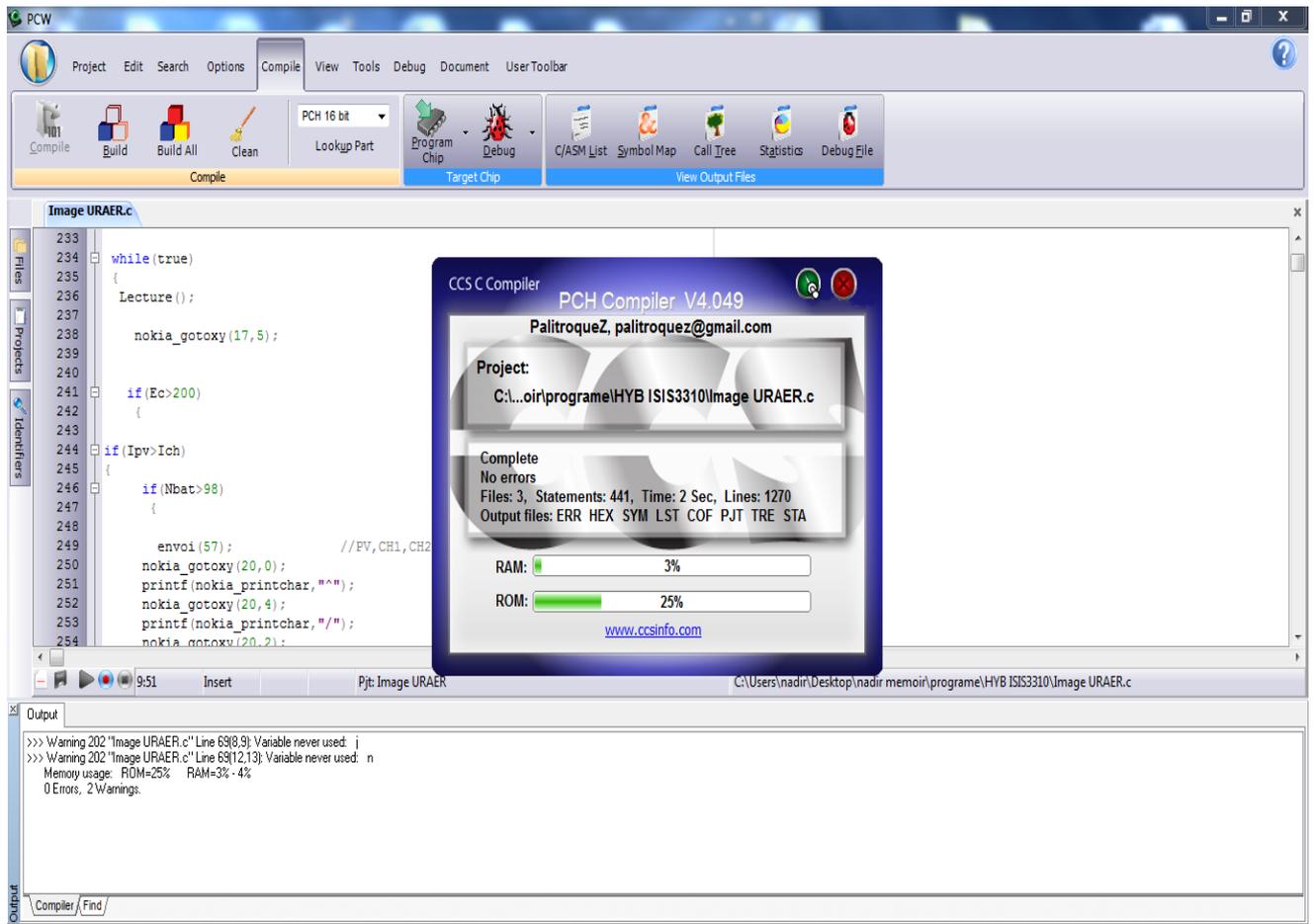
Le développement des environnements de programmation , a permis de voir naitre de nouveaux compilateurs qui permettent de programmer avec les langages haut niveau tels que le C , PASCAL,BASIC etc..

Dans notre travail pour programmer notre PIC, nous avons optés pour le langage C. Ce choix est à la fois un choix personnel et un choix technologique. D'une part le langage C est utilisé dans différents systèmes et domaines de développement, ce qui facilite une évolution future, d'autre part le langage C est l'un des langages les plus puissants.

Il y a plusieurs compilateurs C qui peuvent être utilisés pour l'élaboration de programmes de microcontrôleur. Ceux fournis par Microchip, Hitech, et CCS sont parmi les compilateurs de C les plus performants.

Nous avons choisi le compilateur C de CCS, dans sa version PCW, qui est la plus complète et la plus performante, puisqu'elle supporte toutes les familles de PIC et dispose d'un environnement de programmation et de développement intégré.

Dans ce qui suit nous allons présenter l'interface de logiciel CCS C Compiler (version PCW).



**Figure (IV.5) :** interface de logiciel CCS C Compiler (version PCW).

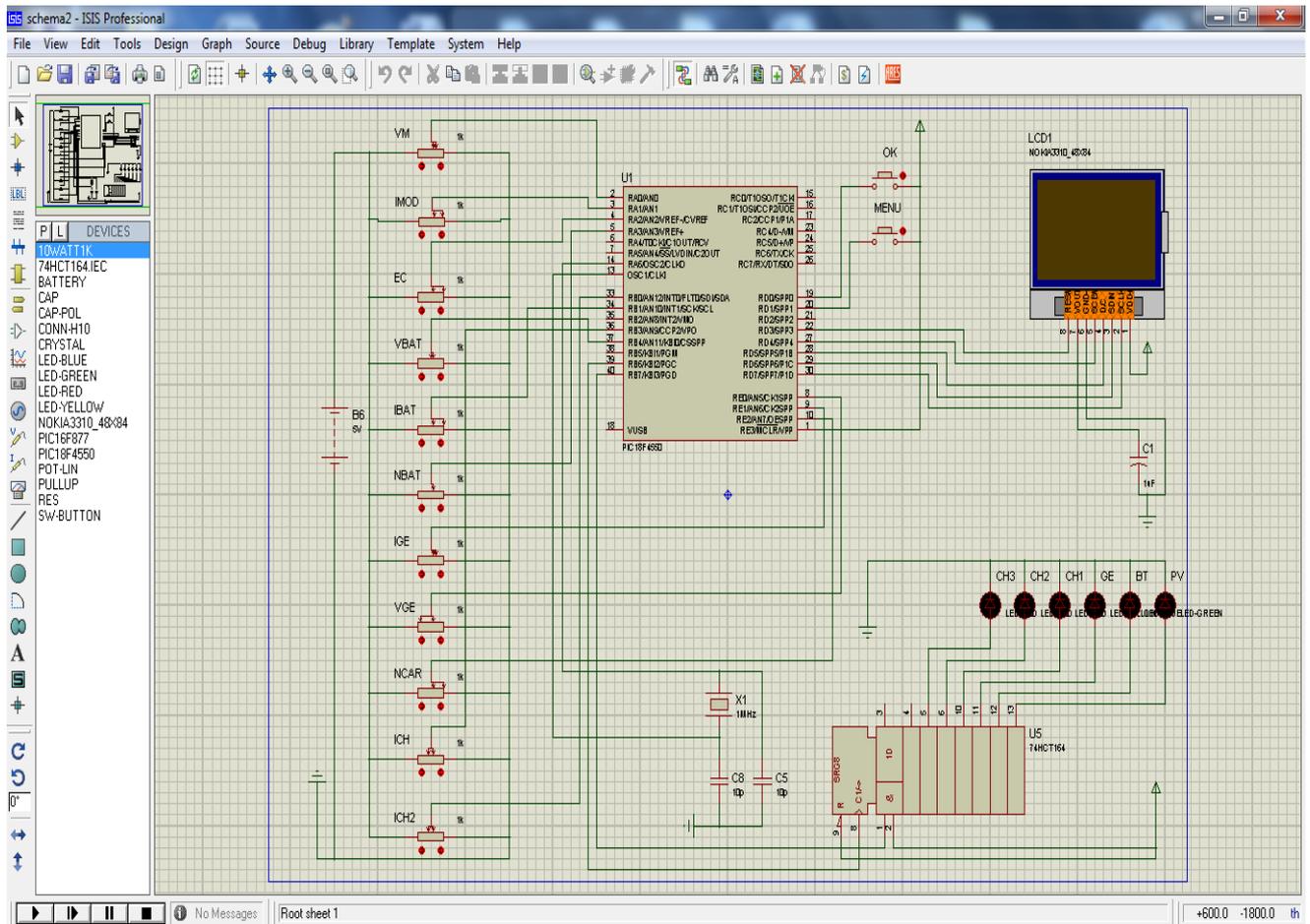
#### IV.6 Simulation :

Pour tester notre système nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du système. Pour cela nous utilisons 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 des courbes.

La simulation permet d'ajuster et de modifier le circuit comme si on manipulait un montage réel. Ceci permet d'accélérer le prototypage et de réduire son coût.

Il faut toujours prendre en considération que les résultats obtenus à la simulation sont légèrement différents de ceux du monde réel, et ce la dépend de la précision des modèles utilisés pour les composants et de la complication du montage.



Figure(IV.6) : fenêtre du logiciel de simulation Proteus ISIS.

**IV.7 Résultats de simulation :**

**IV.7.1 Fonctionnement du système :**

Pour nous renseigner du bon fonctionnement du système on a utilise des led pour indiquer l'état fonctionnelle de générateur photovoltaïque, le système de stockage, le groupe électrogène ainsi que les charges.

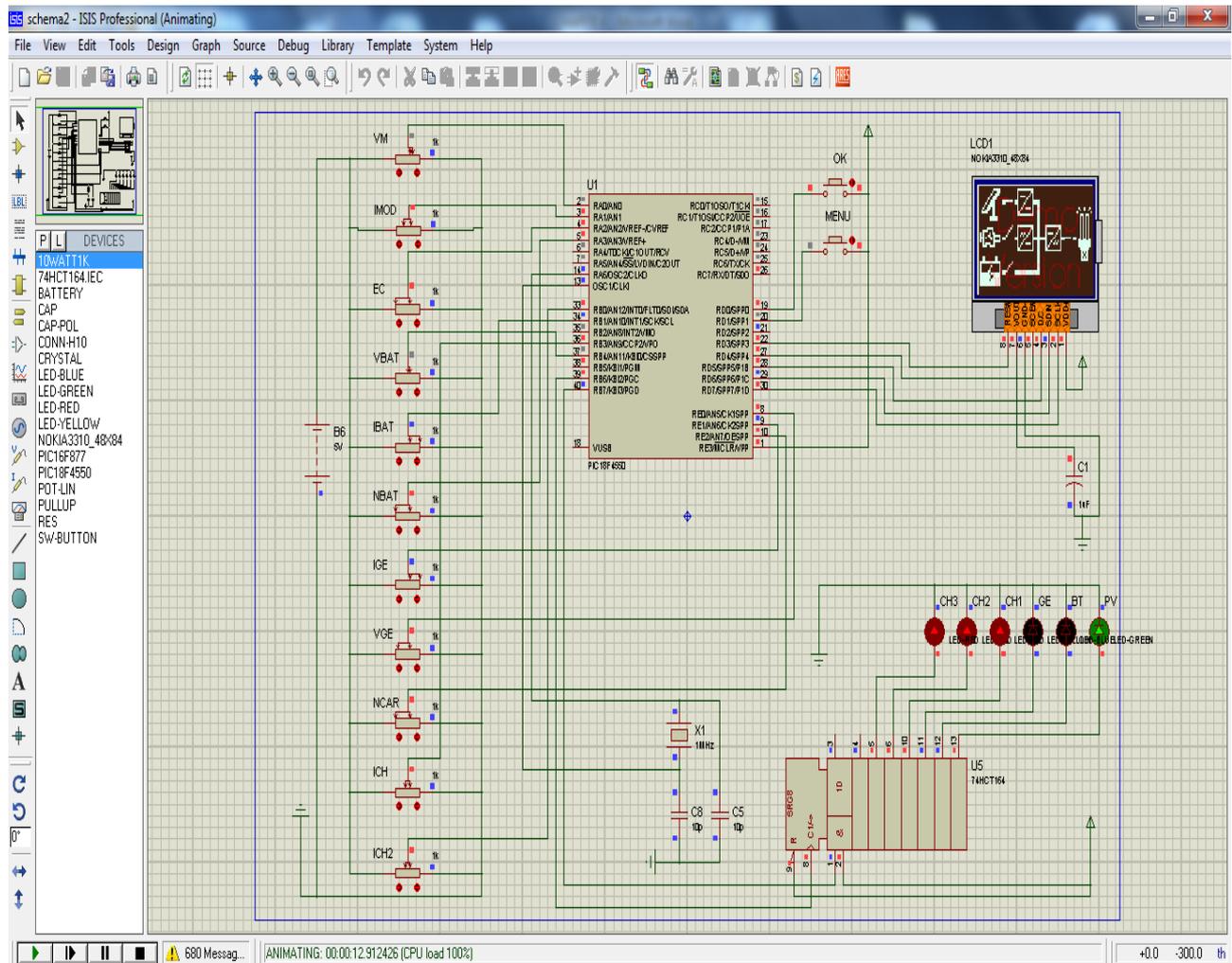
Après la simulation nous avons effectué des teste de vérification de bon fonctionnement du système en faisant varier les différents paramètres à savoir : le courant et la tension du générateur PV, du groupe électrogène et des batteries, l'ensoleillement, le niveau de charge des batteries, le niveau de carburant dans le groupe électrogène à l'aide des potentiomètres de circuit électronique.

Et dans ce qui suit, on va présenter quelques scenarios de fonctionnements de notre système et les résultats de simulations :

Cas 1 :

Nous avons fait en sorte que la valeur de l'ensoleillement soit supérieure à celle de l'ensoleillement minimale ( $E_C > E_{min}$ ) et le courant produit par les panneaux soit supérieure au courant demandé par la charge, et que le niveau de charger des batteries soit supérieur à 98%(niveau de charge maximale).

La figure suivante monte le résultat de fonctionnement :



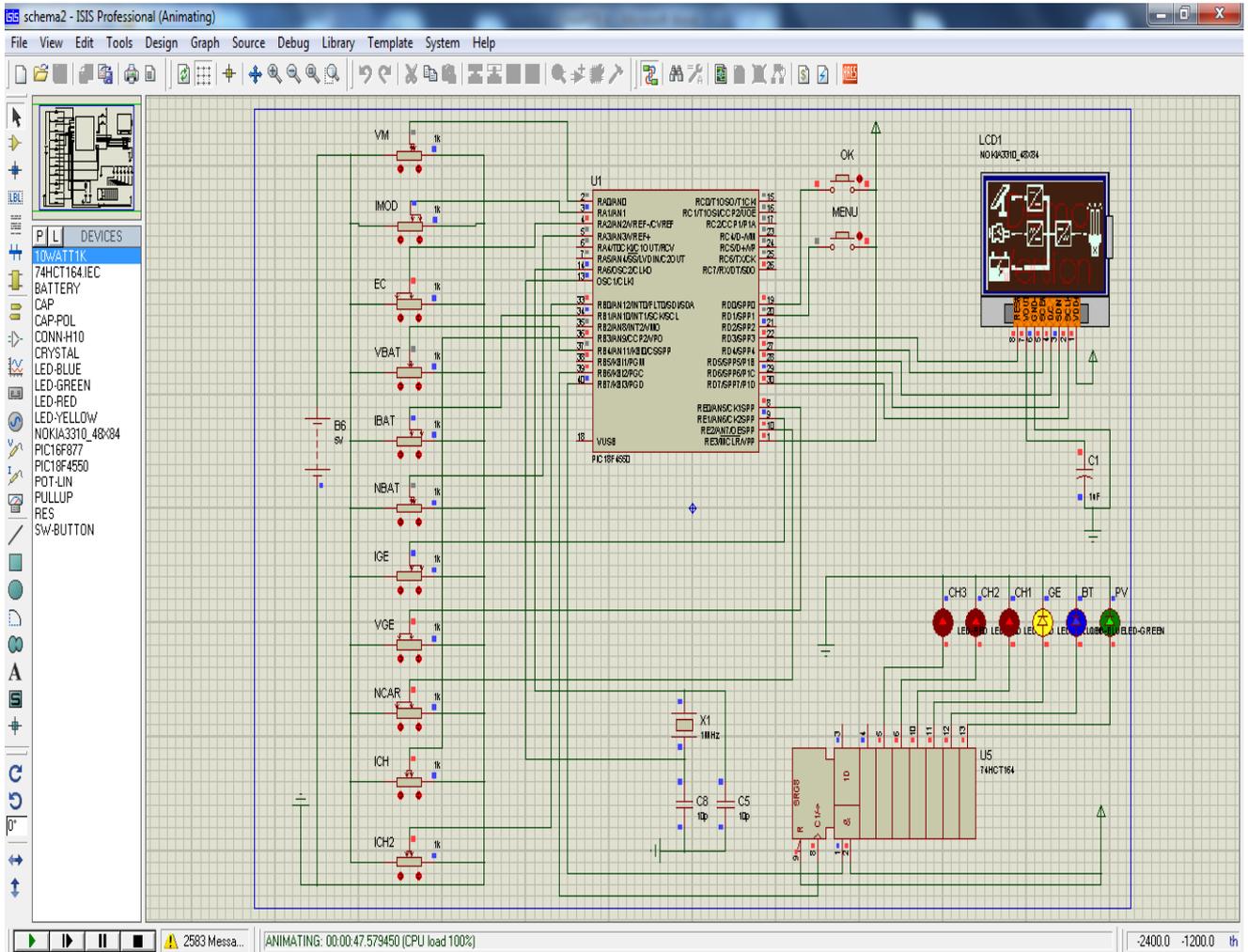
Figure(IV.7) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 1)

Le générateur photovoltaïque alimente les charges, le groupe électrogène est mis à l'arrêt et les batteries de stockage sont déconnectées afin de les protéger de la surcharge.

Cas 2 :

Dans ce cas nous avons fait en sorte que la valeur de l'ensoleillement soit supérieure à celle de l'ensoleillement minimale ( $E_C > E_{min}$ ) et le courant produit par les panneaux soit inférieure au courant demandé par la charge, et que le niveau de charge des batteries soit inférieur à 70%, de ce fait le groupe électrogène devras démarrer pour compenser le manque d'énergie pour satisfaire les charges et charger les batteries d'après la stratégie élaborer puisque nous avons mis un niveau de carburant supérieur à 5% en éliminant le cas de défaillance de groupe électrogène.

La figure suivante monte le résultat de fonctionnement :



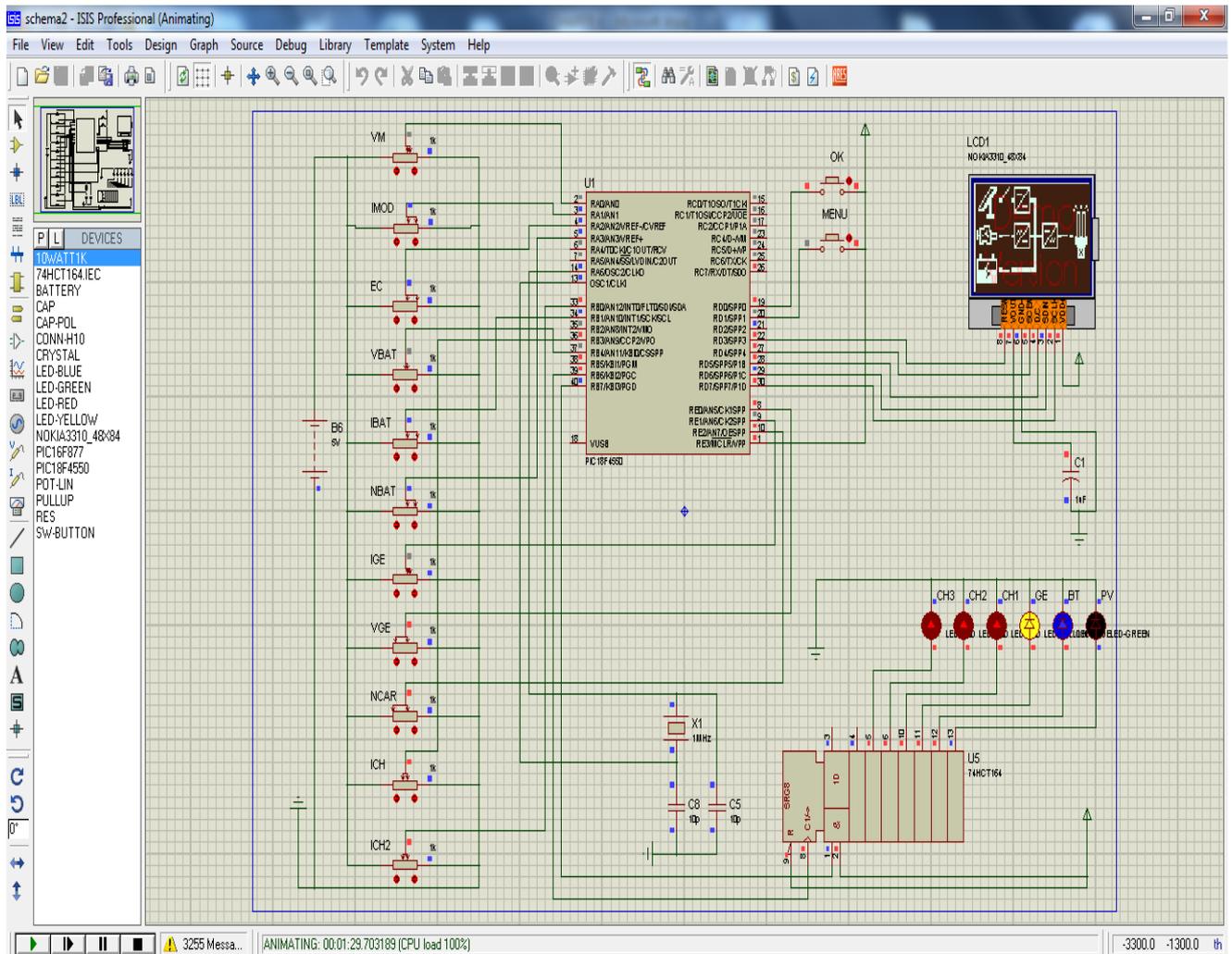
Figure(IV.8) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 2)

Le générateur photovoltaïque et le groupe électrogène alimente les charges et charge le système de stockage

Cas 3 :

Nous avons choisi dans ce cas de vérifier le fonctionnement du système en l'absence d'ensoleillement(ciel nuageux ou nuit) en ajoutant la contrainte d'un niveau de charge des batteries inferieur à 50%, et comme dans le cas précédent le niveau de carburant est supérieur à 5% et le cas de défaillance du groupe électrogène est éliminé.

La figure suivante monte le résultat de fonctionnement :

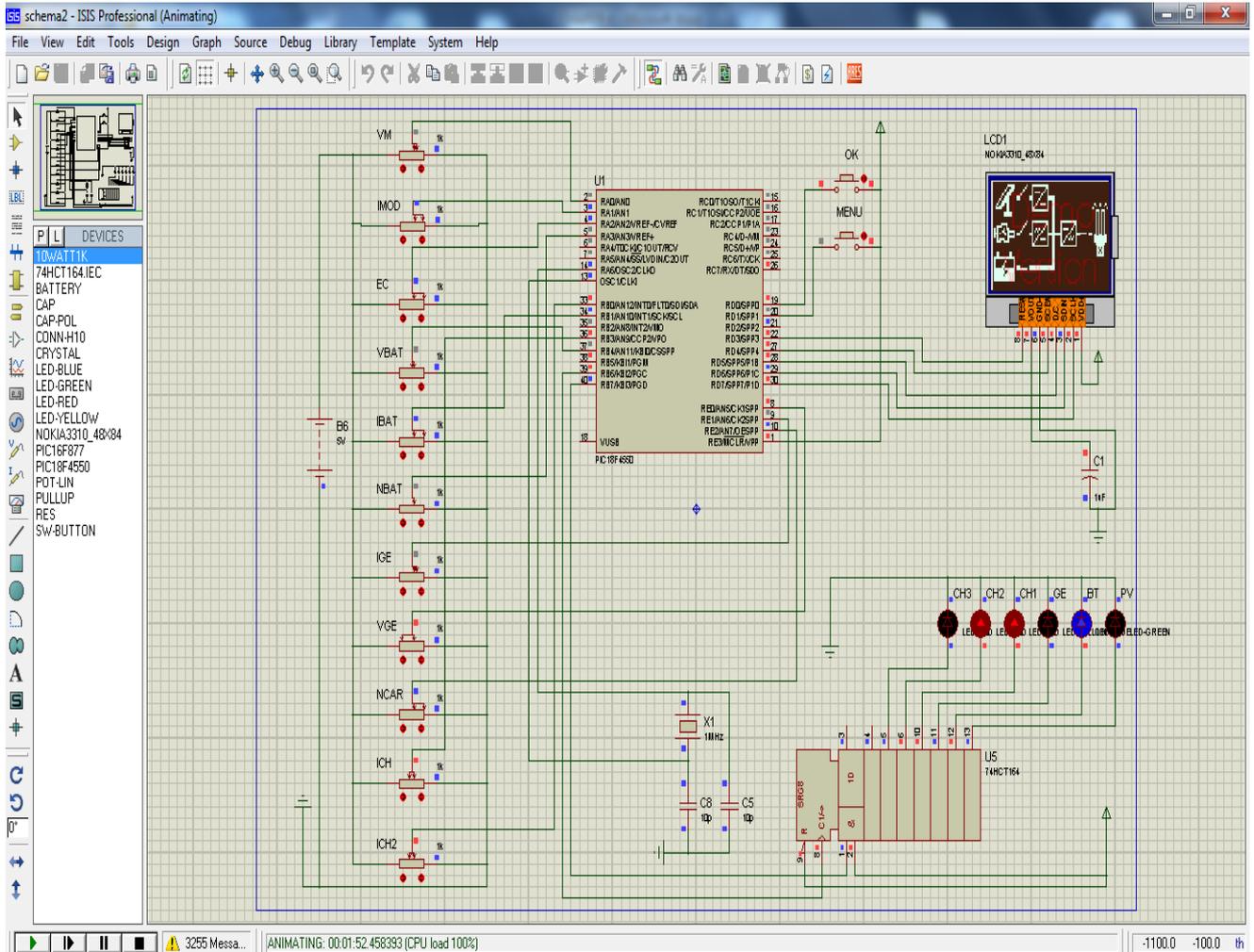


Figure(IV.9) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 3).

Le groupe électrogène alimente les charges et charge le système de stockage, Le générateur photovoltaïque est déconnecté.

Cas 4 :

Le dernier cas que nous allons vérifier présente toutes les contraintes : absence d'ensoleillement, niveau de charge des batteries inférieur à 50%(le niveau choisi est supérieur à 30%) et niveau de carburant est inférieur à 5% dans ce cas la d'après notre stratégie le système de stockage à 50% de son niveau maximal devras alimenter les charges tout en déconnectant celles-ci par ordre de priorité.

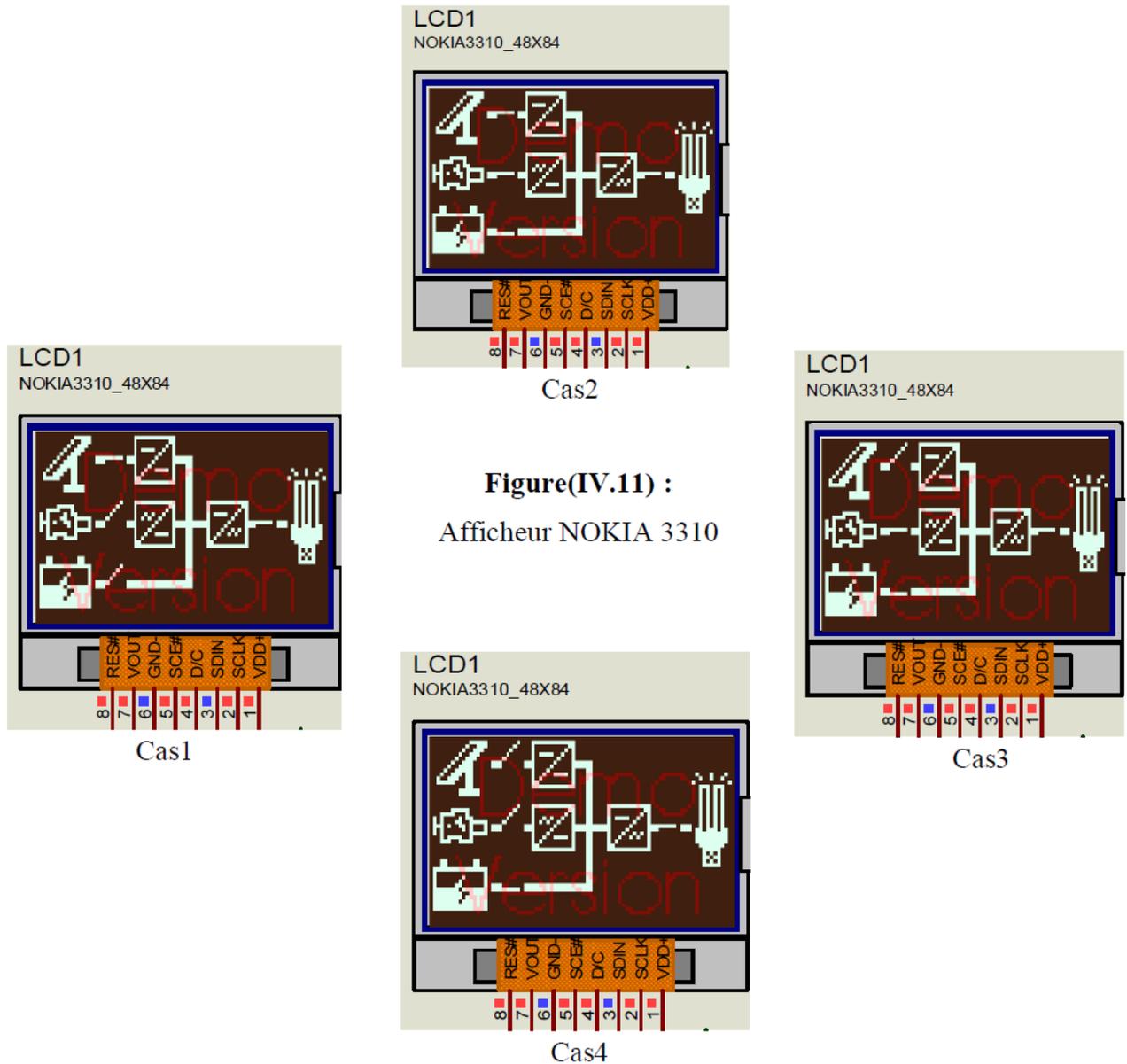


Figure(IV.10) : le logiciel ISIS en mode simulation du système (cas 4).

Le système de stockage alimente la charge 1 et 2 le système de stockage, le groupe électrogène et la charge3 sont déconnecter.

**IV.7.2 Affichage :**

On a muni notre système d'un afficheur (Nokia 3310-48×84) qui a une importance capitale pour l'utilisateur dans le cas ou le système est réalisé afin d'avoir un suivi de fonctionnement du système, et voici quelques exemple de résultats obtenu sur l'afficheur Nokia3310 pour les cas précédents :



**Figure(IV.11) :**  
Afficheur NOKIA 3310

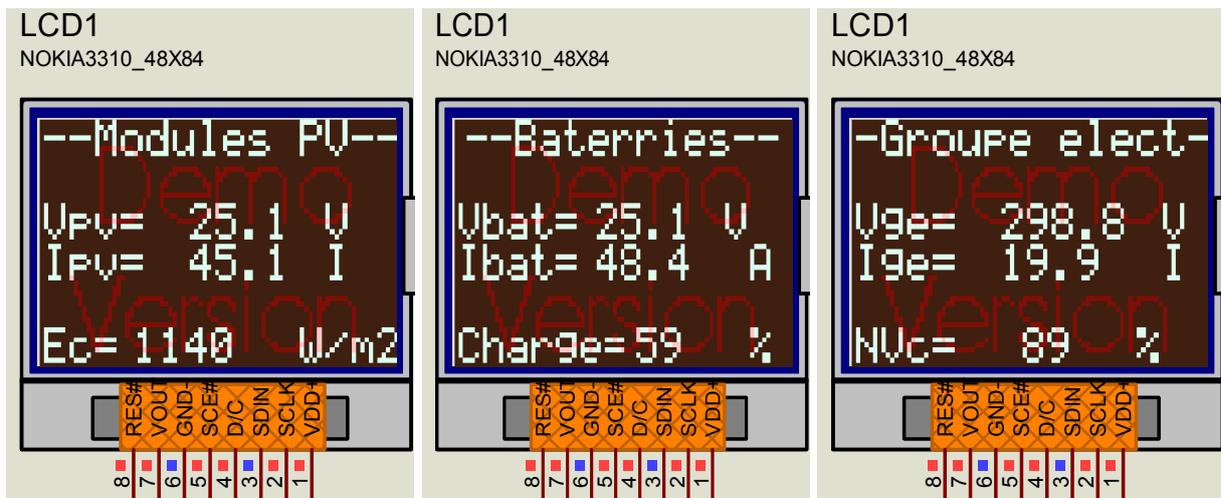
**IV.7.3 Menu :**

Pour plus d'information sur le fonctionnement du système nous avons aussi programmé un menu. En actionnant le bouton menu, il s'affiche sur l'afficheur Nokia3310 le menu principale comme ci-dessous :



Figure(IV.12) : afficheur NOKIA 3310 (menu)

Avec le même bouton on choisi le sous menu voulu : Module PV, Batteries ou Groupe électrogène et avec le bouton OK ce sous menu s'affiche sur l'afficheur comme suit on donnant le courant et la tension des modules PV, des batteries et du groupe électrogène, l'ensoleillement, le niveaux de charge des batteries et le niveaux de carburant dans le groupe électrogène.



Figure(IV.13) : afficheur NOKIA 3310 (sous-menu)

#### IV.8 Conclusion :

Dans ce chapitre partant de l'architecture du système énergétique proposé, ainsi que du cahier de charge, d'élaborer une stratégie de contrôle pour le système énergétique hybride photovoltaïque/groupe électrogène qu'on a programmé sur le compilateur C de CCS dans sa version PCW puis on a simulé le système sur le logiciel électronique ISIS.

L'exploitation de cette stratégie permet d'apporter une amélioration significative de la gestion de l'énergie dans les systèmes énergétiques hybrides déconnectés du réseau.

### Conclusion générale :

Des améliorations dans la conception et le fonctionnement des systèmes hybrides sont toujours nécessaires pour rendre plus compétitive l'intégration des sources d'énergies hybride dans le bilan des systèmes globaux de production d'énergie. Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire est une contribution à l'analyse du comportement et à la maîtrise des performances d'un système hybride photovoltaïque/groupe électrogène.

Dans ce mémoire, notre démarche a été développée en quatre étapes pour atteindre ces objectifs :

- Des généralités sur les énergies renouvelables photovoltaïques.
- Présentation du système hybride photovoltaïque/groupe électrogène.
- Dimensionnement de système hybride photovoltaïque/groupe électrogène..
- Elaboration de la stratégie de contrôle pour système hybride photovoltaïque/groupe électrogène implémente sur le pic 18F4550.
- Simulation de système hybride photovoltaïque/groupe.

Après avoir présenté des généralités sur l'énergie photovoltaïque à savoir l'énergie solaire et le système photovoltaïque on s'est intéressé aux systèmes hybride photovoltaïque/groupe électrogène en présentant les différents composants qui le constituent ainsi que les différentes configurations de ce système.

Le site choisi pour cette étude est le site de Ghardaïa. après avoir obtenu le gisement solaire du site par l'unité de recherche applique des énergies renouvelables on a pu effectué le dimensionnement et le choix de fonctionnement de composants du système en tenant compte de la charge et la disponibilité de l'énergie solaire.

En dernier lieu on a simulé le système énergétique hybride sur le logiciel de simulation ISIS en programmant la stratégie de contrôle sur le pic 18F4550.

Cette étude ne prétend pas avoir répondu à toutes les questions. Au contraire elle ouvre la porte à des études plus précises et plus profondes. Nous espérons de ce mémoire que les résultats présentés dans ce document susciteront suffisamment d'intérêt pour ouvrir la voie à d'autres recherches et qu'ils inciteront, dans un proche avenir des décideurs à investir dans l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les sites isolés de l'Algérie.

Notre souhait est de parvenir à valider les résultats théoriques par des résultats expérimentaux.

## Bibliographie

- [1] Belhadj Mohammed, «Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome», Centre Universitaire De Bechar Institut des Sciences Exactes, thèse de Magister, année 2008.
- [2] Ferrai Ahmed, «Dimensionnement des infrastructures utilisant diverses sources énergétiques renouvelables potentielles pour l'alimentation électrique d'un village», Ecole Nationale Polytechnique, année 2008
- [3] : M<sup>f</sup> Cédric CABAL, thèse doctorat, dans l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, année 2008 <<Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque>>.
- [4] : Site internet **www.mem-algeria.org**
- [5]: R.P. Mukund, « Wind and solar Power Systems »,Ph.D,P.e U.S merchant Marine Academy,Kings Point, New York, CRC Press LLC 1999.
- [6] : M. Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome », mémoire de magister, option physique énergétique 2007.
- [7] : Mrs :(Anne Labouret, Michel Villosz), Livre 3ème édition DUNOD, Décembre 2007, Energie solaire photovoltaïque.
- [8]: A.Ricaud « Photopiles solaire de la physique de conversion photovoltaïque aux filières, matériaux et procédés ».presses polytechniques et universitaires romandes 1997.
- [9]: C.Delerome « Revue internationale d'héliotechnique »année 1997.
- [10] : Jimmy Royer. Thomas Djiako .Eric Schiller.Bocar Sada Sy.Sous la direction de Eric Schiller (Le pompage photovoltaïque : manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens).Comprend des réf. bibliogr.Publ. En collab. Avec : IEPF, Université d'Ottawa, EIER, CREPA.ISBN 2-89481-006-7 1998
- [11] : Belhadj Mohammed «Modélisation d'un système de Captage photovoltaïque autonome », thèse de magister, Centre Universitaire De Bechar, Institut des Sciences Exactes, année 2007/2008.

[12] D-L. King, S. Igari, W. Watrta, "Solar efficiency Tables, version 19", Progress in photovoltaics Research and applications, Vol. 10, pp. 55-61, 2002.

[13] M. Angel Cid Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques", Laboratoire d'Analyse et d'Architectures des Systèmes (LAAS-CNRS).

[14] : M. Angel ; Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïque électroniques ».thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, année 2006. ECOLE DOCTORALE : GEET LABORATOIRE : Laboratoire d'Analyse et d'Architectures des Systèmes (LAAS-CNRS)

[15]:B.Equeur,"Energie solaire photovoltaïque"Volume 1,1993.

[16]:J.A.Roger.C.Maguin, «Solar pannel simulation including dynamical thermal effect». Solar energy vol.29 n°3 pp 245-256,1980.

[17] M.A. de Blas, J.L. Torres, E. Prieto, A. Garcya, Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices. Renewable Energy, N°. 25 371-380, (2002).

[18] I. Hadj Mahammed, Modélisation du générateur photovoltaïque. Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, (Novembre 2002).

[19] A. Hoque, K.A. Wahid, New mathematical model of a photovoltaic generator (pvg). Journal of Electrical Engineering Vol. EE 28, No. 1, (June 2000).

[20] R. Gottschalg, M. Rommel, D.G. Ineld, H. Ryssel, Comparison of different methods for the parameter determination of the solar cells double exponential equation. In 14th European Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Barcelona,Spain, 1997.

[21]:Mr. M.NIKOZ, H.DEHBONEI, C.NAHER (A DSP-Controlled photovoltaic system with MPPT) Revue electric all energy and information technology ITEE, pp: 1-6 Australia 2003.

[22]: Outdoor testing of photovoltaic arrays in the Saharan region. Mohammed Sadok, Ahmed Mehdaoui. Research Unit of Renewable Energy in Saharan Middle (URER/MS), B.P. 478, Adrar 01000, Algeria. (Renewable Energy, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/renene](http://www.elsevier.com/locate/renene))

[23] Rapport de stage projet de fin d'études Ingénieur Technique Industrielle, Septembre 2006, Réalisation de Technique MPPT numérique, par Alain Bilbao Learreta, Université Virgile.

[24] Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie, UNIVERSITÉ - PAUL SABATIER - TOULOUSE III, Décembre 2003

[25] : T. Fogelman, « Système photovoltaïque pour les pays en déventement, manuel d'installation et d'utilisation, Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie,(AFME) .

[26] C. Bernard, J.Chauvin, D. Lebrun, J.F Muraz, P. Stassi « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger ».2006

[27] A. Guen, « contribution à l'étude des systèmes de télécommunications mobiles Alimentés par énergie solaire », thèse de magister, Université de Tlemcen, février 1992.

[28] S. Diaf , M. Haddadi et M. Belhamel, «Analyse technico économique d'un système hybride (photovoltaïque/éolien) autonome pour le site d'Adrar», Revue des Energies Renouvelables Vol. 9, N°3 (2006) 127 – 134

[29] Vaughn C. Nelson, Ken L. Starcher, Robert E. Foster, R. Nolon Clark, Deon Raubenheimer, "Wind hybrid systems technology characterization", West Texas AM University - AEI, New Mexico State University - SWTDI, USDA - ARS Bushland, Vista University, May 2002.

[30] E. Ian Baring-Gould, L. Flowers, P. Lundsager, "Worldwide status of wind-diesel applications", Pre-Workshop Wind-Diesel 101, 2004, Anchorage, Alaska.

[31] Amusorn Saengprajak 'Efficiency of demand side management measures in small village electrification systems', Doctorate thesis Kassel University 2006

[32] I. Kamwa, B. Saulier, "Modélisation, simulation et régulation d'un réseau éolien/diesel autonome", Rapport N°IREQ4340, Varennes, Canada, 1989.

[33] B. Wickert, C.V. Nayar and W.B. Lawrance, '*Photovoltaic-Diesel Hybrid Energy Systems for Off-Grid Rural Electrification*', International Journal of Renewable Energy Engineering, Vol. 1, N°1, pp. 7 - 17,1999.

[34] T.Ramdani "Mise au point d'un convertisseur DC/AC pour système photovoltaïque de moyenne puissance", thèse de magister en électronique appliquée, USTHB, Alger 1998.

[35] O.Amrani, «Etude, simulation et réalisation d'une centrale hybride (Solaire Diesel) », université de Bejaia, année 2006

[36] A.Labouret, M.Villoz "Energie solaire photovoltaïque" ; édition Dunod, France 2003.

[37] M.J.T.NKouimi, «Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Mémoire Online 2000-2010.

[38] A.Labouret, M.Villoz, «Energie solaire photovoltaïque», 3<sup>e</sup> édition Dunod.

[39] P.Pouria "Groupe électrogène de secours", Techniques de l'Ingénieur, D 505, édition 2001.

[40] [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

**Résumé** - La production décentralisée d'énergie électrique, bénéficie actuellement d'un essor très important. Plusieurs sources d'énergie renouvelables et gratuites, telles que le vent (éoliennes), le soleil (thermiques ou photovoltaïques), sont de plus en plus utilisées pour produire l'énergie électrique localement sur des sites isolés. A cause de l'inconstance de la lumière, la gestion de l'énergie constitue l'un des défis majeurs, dans les systèmes photovoltaïque-diesel. A cet effet le travail proposé consiste à dimensionner, élaborer une stratégie de contrôle et simuler un système de production d'électricité issu de combinaisons de dispositifs de conversion d'énergie renouvelable (solaire) avec un générateur Diesel pour l'alimentation électrique d'un foyer situé sur une zone de l'Algérie à Ghardaïa . La compilation et la simulation se font en utilisant les logiciels: CCS C Compiler et ISIS.

Le premier chapitre est consacré aux généralités et notions de bases de l'énergie solaire photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons des généralités sur les batteries ainsi que les différentes configurations de système hybride panneaux photovoltaïque / groupe électrogène.

Dans le troisième chapitre, nous présentons le dimensionnement de système hybride (PV / groupe électrogène).

Dans le quatrième chapitre, nous présentons des généralités sur les pics ainsi que les résultats de simulation.