



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1  
FACULTE DE TECHNOLOGIE

## MEMOIRE

Présenté au DEPARTEMENT des ENERGIES RENOUVELABLES

Par : BOURKIKI Rabah

Pour l'obtention du diplôme de :

### MASTER EN ENERGIES RENOUVELABLES

OPTION : Conversion Photovoltaïque

THEME :

**Maison isolée indépendante énergétiquement  
(Partie électrique)**

Soutenu le : 20 juin 2017

Devant le jury composé de :

Dr H.MAZOUZ	MCB	USDB1	Présidente
Mr O.AIT SAHAD	MAB	USDB1	Examinateur
Mr H.KAHLANE	MAB	USDB1	Examinateur
Dr F.CHEKIRED	MRB	UDES	Promotrice
Mme N.SUILAMAS	Ingénieur d'étude	ETB/IFEG	Co-promotrice

2016 – 2017

## **REMERCIEMENTS**

*Mon premier remerciement va à ALLAH soubhanou wa taala.*

*Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en énergie renouvelables, PHOTOVOLTAÏQUE au Département des énergies renouvelables de l'université Saad Dahlab de Blida 1, sous la direction du Mme.CHEKIRED et Mme.SUILAMAS que je remercie vivement pour toute l'aide qu'elles m'ont apportées durant toute la durée de préparation du présent mémoire.*

*Tout comme je remercie le directeur du ETB /IFEG (Sonelgaz), de m'avoir accepté en tant que stagiaire pour préparer le mémoire du Master, je remercie également l'ensemble du personnel du laboratoire des énergies renouvelables pour l'aide qu'ils ont apportée durant la préparation du présent travail.*

*Je tiens également à remercier Mr.SOUKAL ; pour les conseils et leur soutien technique.*

*Mes plus vifs remerciements vont à Mme.MAAZOUZ ; pour m'avoir fait l'honneur de présider la jurée de soutenance du présent mémoire.*

*Je remercie vivement Mr.AIT SAHED et Mr.KAHLEN ; pour l'honneur qu'ils m'ont fait en participant au jury en qualité d'examineurs.*

*Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'ensemble des enseignants personnes qui ont largement contribué à son aboutissement.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragement. Ce travail est le fruit de leurs sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A mes deux frères Samir, Abd el hak et ma sœur allah yechfiha.*

*A Souad spécialement qui me soutient et m'encourage beaucoup.*

*A mes chers amis Abd Errezak, Abd elMoumen, Islem, Mohamed et Faycal.*

*A Mr.Zerrouk Farid, à ces précieuses aides.*

*A tous mes camarades et mes amis en particulier Maroeun, Abd el Wahab, Abd Allah, Abd Errahman, Oussama, Amine, Romaïssa et Lydia.*

*A ma famille et toutes les personnes que j'aime.*

***BOURKIKI Rabah***

# Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction générale ..... 01

## Chapitre I : Généralités

I.1. Introduction ..... 03

I.2.1. Gisement solaire ..... 03

I.2.1.2. Durée d'insolation ..... 06

I.2.1.3. Rayonnement solaire en Algérie ..... 07

I.2.1.4. Repérage d'un site sur la surface terrestre ..... 07

I.2.1.5. Rappels de quelques éléments de géométrie ..... 08

I.2.2. La cellule solaire ..... 10

I.2.2.1. Historique ..... 10

I.2.2.2. Définition d'une cellule solaire ..... 11

I.2.2.3. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire ..... 11

I.2.2.4. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque ..... 12

I.2.2.5. Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque ..... 13

I.2.2.6. Association des cellules solaires photovoltaïques ..... 14

I.2.2.7. Facteurs influents sur le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque ..... 15

I.2.2.8. Les différents types des cellules solaires ..... 17

I.2.2.9. Comparatif des différentes technologies ..... 18

I.3. Etat de l'art ..... 19

I.4. Conclusion ..... 20

## **Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome**

II.1. Introduction .....	21
II.2. Les types de systèmes PV .....	21
II.3. Composants d'un système PV autonome .....	24
II.3.1. Les modules photovoltaïques .....	24
II.3.1.1. Caractéristiques d'un module .....	25
II.3.1.2. Constitution d'un générateur PV .....	26
II.3.1.3. Installation du générateur PV .....	27
II.3.1.3.1. Orientation et inclinaison du générateur PV .....	27
II.3.1.3.2. Mise en place des panneaux PV .....	28
II.3.2. Régulateurs .....	29
II.3.2.1. Recherche du point de puissance maximum (MPPT) .....	30
II.3.3. L'onduleur .....	31
II.3.3.1. les différents types d'onduleurs PV .....	31
II.3.3.2. Le choix de l'onduleur .....	32
II.3.4. Les batteries d'accumulation .....	32
II.3.4.1. Les différents types de batteries .....	35
II.3.4.2. Les caractéristiques principales d'un accumulateur .....	36
II.3.4.3. Installation des batteries de stockage .....	37
II.3.5. Charge (utilisateurs) .....	37
II.3.6. Les câbles électriques .....	38
II.4. Protection et sécurité .....	38
II.5. Dimensionnement du système PV photovoltaïque .....	39
II.6. Avantages et inconvénients d'une installation PV .....	42
II.7. Conclusion .....	43

## **Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST**

III.1. Introduction .....	44
III.2. présentation du logiciel .....	44
III.3. Situation géographique de la maison .....	44

III.4. Architecture de la maison .....	45
III.5. Profile de charge .....	45
III.6. Démarches .....	48
A. Pré-dimensionnement .....	48
B.1. Dimensionnement .....	53
B.2. Résultat de simulation et discussion .....	60
B.2.1. Paramètre de simulation .....	60
B.2.2. Besoins de l'utilisateur .....	62
B.2.3. Résultats principaux .....	63
B.2.4. Diagramme des pertes .....	66
B.2.5. Evaluation économique .....	67
III.7. Conclusion .....	68
Conclusion générale .....	69

Références bibliographiques

Présentation d'Institut de Formation en Électricité et Gaz (IFEG)

## ملخص:

الكهرباء الشمسية تعتبر مصدر للطاقة المتجددة مع النضج التقني الذي تم الوصول إليه. مميزاتا صنعت منها منبعا ذو أهمية كبيرة في العديد من مناطق كوكبنا وبالأخص في بلادنا الجد مشمسة. البعد عن الاتصالات الكهربائية في بعض هذه المناطق (معزولة)، دفعنا إلى الإهتمام بتطبيق كهروضوئي مستقل و الذي كان موضوع دراستنا, " تحجيم منزل منعزل مستقل الطاقة (الجزء الكهربائي) باستخدام برنامج « PVSYST » .

**كلمات المفتاح :** الكهروضوئية, مستقل, تحجيم , برنامج « PVsyst » .

## Résumé :

L'électricité solaire photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable ayant atteint la maturité technique. Ses caractéristiques en font une ressource de grand intérêt dans les nombreuses régions de notre planète notamment dans notre pays très ensoleillé. L'éloignement du réseau électrique dans certaines de ces régions (isolées), nous ont poussé à nous intéresser de près à une application photovoltaïque autonome qui a fait l'objet de notre étude « dimensionnement d'une maison isolée indépendante énergétiquement (Partie électrique) à l'aide du logiciel, « PVSYST ».

**Mots clés :** Photovoltaïque, autonome, dimensionnement, logiciel «PVsyst».

## Abstract :

Photovoltaic solar electricity is a renewable energy source that has reached technical maturity. Its characteristics make it a resource of great interest in the many regions of our planet especially in our country very sunny. Remoteness of the electricity network in some of these regions (isolated), have prompted us to take a close interest in a stand-alone photovoltaic application that was the subject of our study, "sizing of an insulated house independent energetically (electric side) using the software « PVsyst ».

**Keywords :** Photovoltaic, Autonomous, sizing, software «PVsyst».

## Liste des figures

### Chapitre I : Généralités

<b>Figure I.1.</b> Spectre solaire .....	04
<b>Figure I.2.</b> Schéma représentant les conditions AM0, AM1, AM1,5 .....	05
<b>Figure I.3.</b> Composante du rayonnement global sur un plan horizontal .....	06
<b>Figure I.4.</b> Irradiation global reçue sur surface horizontale de l'Algérie .....	07
<b>Figure I.5.</b> Coordonnées terrestre .....	08
<b>Figure I.6.</b> le mouvement de la terre autour de soleil. ....	08
<b>Figure I.7.</b> Position du soleil .....	10
<b>Figure I.8.</b> Schéma de principe de la conversion photoélectrique .....	11
<b>Figure I.9.</b> Type de semi-conducteur dopée .....	12
<b>Figure I.10.</b> Type de semi-conducteur dopée .....	13
<b>Figure I.11.</b> Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension .....	14
<b>Figure I.12.</b> Caractéristique résultantes d'un groupement de ns cellules en série .....	15
<b>Figure I.13.</b> Caractéristique résultante d'un groupement de np cellules en parallèle .....	15
<b>Figure I.14.</b> Influence de l'ensoleillement sur les cellules photovoltaïques .....	16
<b>Figure I.15.</b> Influence de la température sur les cellules photovoltaïque .....	16
<b>Figure I.16.</b> Cellule en silicium monocristallin .....	17
<b>Figure I.17.</b> Cellule en silicium multi cristallin .....	17
<b>Figure I.18.</b> Cellule en silicium amorphe .....	17

### Chapitre II :Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

<b>Figure II.1.</b> Système de pompage .....	22
<b>Figure II.2.</b> Installation autonome .....	22
<b>Figure II.3.</b> Installation hybride .....	23

<b>Figure II.4.</b> Installation connectée au réseau .....	23
<b>Figure II.5.</b> Représentation synoptique d'installation photovoltaïque autonome .....	24
<b>Figure II.6. a-</b> Module photovoltaïque .....	25
<b>Figure II.6. b-</b> champ photovoltaïque .....	25
<b>Figure II.7.</b> Boîte de dérivation .....	25
<b>Figure II.8.</b> Schéma synoptique d'un générateur PV en série-parallèle .....	26
<b>Figure II.9.</b> Inclinaison de 90°par rapport aux rayons du soleil (au centre)=production optimale .....	27
<b>Figure II.10.</b> Toiture plate .....	28
<b>Figure II.11.</b> Installation en toitures inclinées .....	28
<b>Figure II.12.</b> Installation en intégration sur toitures inclinées .....	29
<b>Figure II.13.</b> Schéma synoptique d'une batterie .....	33
<b>Figure II.14.</b> batterie de démarrage .....	34
<b>Figure II.15.</b> Batterie de traction .....	34
<b>Figure II.16.</b> Batterie de stationnaires .....	35
<b>Figure II.17.</b> Protection intérieure .....	39

### **Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST**

<b>Figure III.1.</b> Maison autonome .....	44
<b>Figure III.2.</b> Plan de maison avant le projet .....	45
<b>Figure III.3.</b> Profil de consommation élaboré de la maison pendant une journée en hiver et une autre en été .....	48
<b>Figure III.4.</b> Etape 1 de pré-dimensionnement .....	48
<b>Figure III.5.</b> Etape 1 de pré-dimensionnement .....	49
<b>Figure III.6.</b> Etape 2 de pré-dimensionnement .....	49
<b>Figure III.7.</b> Etape 2 de pré-dimensionnement .....	50

<b>Figure III.8.</b> Etape 5 de pré-dimensionnement .....	50
<b>Figure III.9.</b> Etape 5 de pré-dimensionnement .....	51
<b>Figure III.10.</b> Etape 6 de pré-dimensionnement .....	51
<b>Figure III.11.</b> Etape 7 de pré-dimensionnement .....	52
<b>Figure III.12.</b> Etape 1 de dimensionnement .....	53
<b>Figure III.13.</b> Etape 1 de dimensionnement .....	53
<b>Figure III.14.</b> Etape 2 de dimensionnement .....	54
<b>Figure III.15.</b> Etape 3 de dimensionnement .....	54
<b>Figure III.16.</b> Etape 4 de dimensionnement .....	55
<b>Figure III.17.</b> Etape 5 de dimensionnement .....	56
<b>Figure III.18.</b> Etape 6 de dimensionnement .....	57
<b>Figure III.19.</b> Etape 7 de dimensionnement .....	58
<b>Figure III.20.</b> Etape 8 de dimensionnement .....	58
<b>Figure III.21.</b> Etape 9 de dimensionnement .....	59
<b>Figure III.22.</b> Etape 9 de dimensionnement .....	59
<b>Figure III.23.</b> Etape 10 de dimensionnement.....	60
<b>Figure III.24.</b> Paramètres de simulation .....	61
<b>Figure III.25.</b> Besoins de l'utilisateur .....	62
<b>Figure III.26.</b> Les Résultats principaux .....	63
<b>Figure III.27.</b> Indice de performance et la fraction solaire de l'installation PV .....	65
<b>Figure III.28.</b> Energie utile produite par l'installation PV .....	65
<b>Figure III.29.</b> Diagramme des pertes .....	66
<b>Figure III.30.</b> Evaluation économique .....	67

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Généralités

<b>Tableau .I.1.</b> Comparaison des différentes technologies .....	18
---------------------------------------------------------------------	----

### Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

<b>Tableau II.1.</b> Les avantages et les inconvénients d'une Installation en toitures plate .....	28
<b>Tableau II.2.</b> Les avantages et les inconvénients d'une Installation en toitures inclinées ....	29
<b>Tableau II.3.</b> Les avantages d'une Installation en intégration sur toitures inclinées .....	29
<b>Tableau II.4.</b> Les différents types d'onduleurs photovoltaïques .....	31
<b>Tableau II.5.</b> Comparaison des types de batterie .....	36

### Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

<b>Tableau III.1.</b> Estimation des consommations d'appareils disponible dans la maison .....	45
<b>Tableau III.2.</b> Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en été .....	46
<b>Tableau.III.3.</b> Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en hiver .....	47
<b>Tableau III.4.</b> Principaux résultats de simulation .....	64

## Nomenclature

Symbole	définition	Unité
$h$	la constante de planck	Sans dimension
$\nu$	fréquence	Hz
$\lambda$	longueur d'onde	m
$c$	vitesse de la lumière	m/s
AM	Air masse	Sans dimension
$\Phi$	latitude	°
L	longitude	°
$\delta$	déclinaison	°
N	nombre de jours de l'année	°
$\omega$	angle horaire du soleil	°
a	azimut	°
h	hauteur angulaire	°
$V_{co}$	Tension à vide	V
$I_{cc}$	Courant de court-circuit	A
$V_m$	Tension maximale	V
$I_m$	Courant maximal	A
PC	puissance-crête	Wc
$\alpha$	angle d'incidence	°
$I_r$	l'irradiation journalière	Wh /m <sup>2</sup> /j
$\eta_{batt}$	rendement énergétique des batteries	Sans dimension
$\eta_{ond}$	rendement énergétique de l'onduleur (si besoins en alternatives)	Sans dimension

$\eta_{elec}$	rendement énergétique des autres composants électroniques	Sans dimension
C	capacité des batteries	Ah
R	Résistance	$\Omega$
$\rho$	Résistivité	$\Omega m$
L	longueur du câble	M
S	Section du câble	$m^2$
$P_m$	puissance maximale de panneau solaire	W
FF	facteur de forme	Sans dimension
$\eta$	rendement énergétique de cellule PV	Sans dimension
$P_i$	la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur le module PV.	W
S	La surface de ce module	$m^2$
E	L'éclairement	W / $m^2$
CC	Courant continu	A
CA	courant alternatif	A

# **Introduction générale**

# Introduction générale

---

## Introduction générale

La grande partie de l'énergie consommée par l'homme provient des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel...etc.) dont l'utilisation massive conduit à l'épuisement de ses réserves et suppose une menace réelle à l'environnement, qui se manifeste, principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre. D'autre part, il y a inégalité extrême de la distribution de la consommation de l'énergie. Beaucoup de populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie notamment l'éloignement du réseau électrique.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) de part ses caractéristiques de modularité qui permet de l'adapter à des besoins énergétiques divers (autonomie, fiabilité et viabilité) sur le plan économique, permet d'apporter de réelles solutions telles que l'éclairage public et domestique, le pompage d'eau pour la consommation et l'irrigation, le balisage, ...etc.

La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants d'utilisation de l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable et de durée de vie relativement élevée, permettant une maintenance réduite.

Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante pour notre pays, d'où l'élaboration du programme national des énergies renouvelables, dans le cadre de porter une aide à la réalisation de ce programme par ce modeste travail qui consiste à dimensionner un modèle de maison isolée indépendante énergétiquement (Partie électrique) en traitant l'aspect technique et financier de cette dernière.

Ce travail a été organisé de façon à permettre une lecture à différents niveaux. Il est ainsi structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre est divisé en deux parties, une partie consiste à introduire l'énergie solaire et définir le gisement solaire et la conversion photovoltaïque et une autre partie présente un résumé des travaux effectués sur le sujet de notre travail.

Le deuxième chapitre présente d'une manière globale les systèmes photovoltaïques autonomes et leurs composants, ainsi que l'installation des générateurs PV et les différents

## Introduction générale

---

types des batteries de stockage, puis les différentes étapes de dimensionnement de ce système. Enfin on a mis en valeur les avantages et les inconvénients d'utilisation de ces systèmes.

Enfin, le troisième chapitre est consacré à la présentation de notre méthodologie de travail qu'est le dimensionnement du système PV autonome réalisé grâce au logiciel de calcul PVsyst, ainsi que l'interprétation des résultats obtenus.

Enfin, nous terminerons avec une conclusion générale regroupant les différents aspects étudiés.

# **Chapitre I :**

# **Généralités**

## I.1. Introduction :

Comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire à l'étude des systèmes photovoltaïques.

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable, produite par les rayonnements du Soleil. La production de cette énergie peut se faire grâce aux cellules photovoltaïques, composant électrique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité en quantité proportionnelle à la puissance lumineuse incidente.

La production d'électricité photovoltaïque dépend de l'ensoleillement du lieu et de la température, donc de sa localisation géographique, de la saison et de l'heure de la journée.

Dans ce chapitre nous présentons premièrement la définition de l'énergie solaire et ses caractéristiques suivie les coordonnées terrestres et quelques éléments de géométrie. Puis nous intéressons à présenter la construction des cellules photovoltaïques et le principe de fonctionnement et nous abordons les différents types des cellules photovoltaïques.

En fin nos donneras un résumé sur l'état de l'art dans le thème.

### I.2.1. Gisement solaire:

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc /m<sup>2</sup>) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. [2]

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un site donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale.

Le rayonnement solaire reçue au sommet de l'atmosphère dans un plan perpendiculaire au rayons solaires et pour une distance terre-soleil égale à sa valeur moyenne, est appelé la constante solaire et vaut 1367 w/m<sup>2</sup>. [5]

Les théories actuelles présentent le rayonnement solaire comme une émission de particules. Ce flux de particules, appelées photons, atteint la terre avec différentes longueurs d'ondes à la quelle correspond une énergie spécifique décrite par la relation :

$$E [J] = h\nu = h .c/\lambda \quad (I.1)$$

# Chapitre I : Généralités

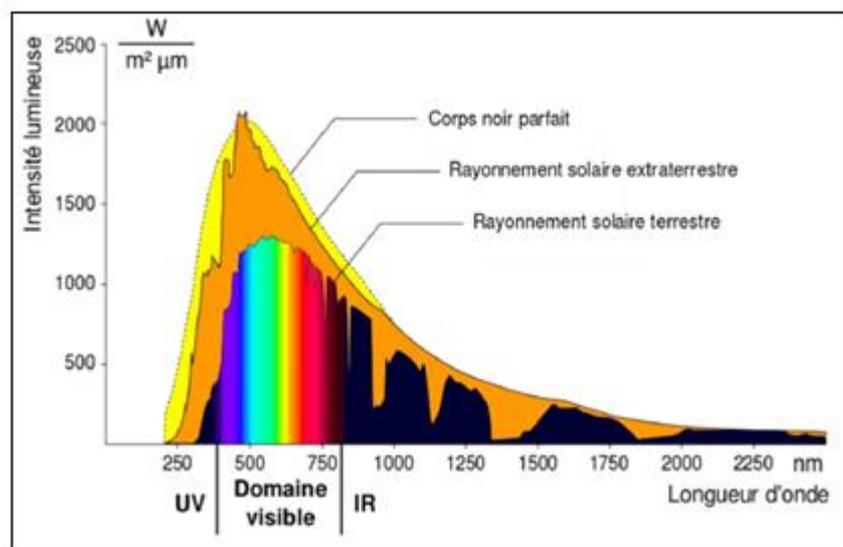
Avec :

- $h$  : la constante de planck,
- $\nu$ : fréquence [Hz].
- $\lambda$  : longueur d'onde [m].
- $c$  : vitesse de la lumière [m/s].

La répartition énergétique des différentes longueurs d'ondes du rayonnement électromagnétique du Soleil est appelé spectre solaire.

La lumière visible représente 46 % de l'énergie totale émise par le soleil. 49 % du rayonnement énergétique émis par le soleil se situe au-delà du rouge visible, dans l'infrarouge. C'est ce rayonnement que nous ressentons comme une onde de chaleur.

Le reste du rayonnement solaire, l'ultraviolet, représente l'ensemble des radiations de longueur d'onde inférieure à celle de l'extrémité violette du spectre visible. [9]



**Figure I.1.** spectre solaire. [9]

Les couches atmosphériques modifient profondément la distribution spectrale du rayonnement solaire. Il subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite des phénomènes complexes d'absorption et de diffusion par les poussières et les aérosols (les poussières des cendres, des micros cristaux, des micros gouttelette, des fumées de pollution industrielle dont la taille varie de 0.5 à 10  $\mu m$ ).

Ainsi la couche d'ozone absorbe la majeure partie du rayonnement ultraviolet, tandis que la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge.

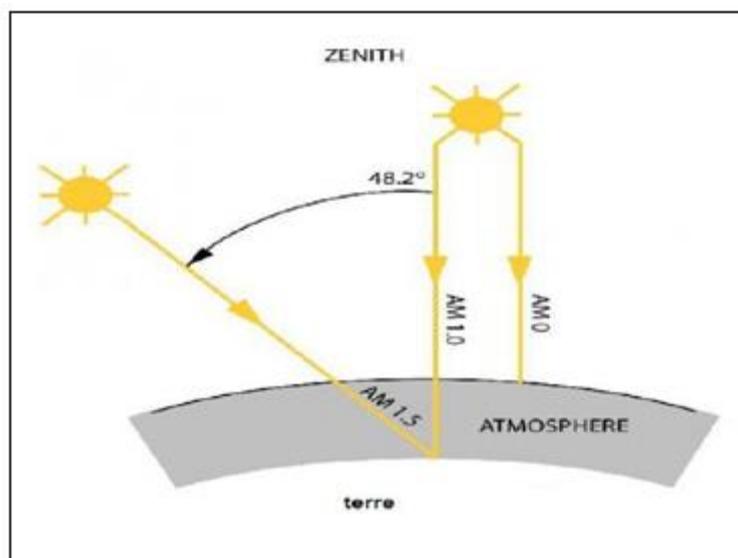
## Chapitre I : Généralités

Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus son rayonnement est modifié. On appelle « masse d'air »,  $m$ , la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à une traversé vertical au niveau de la mer. [3]

La masse d'air notée, est le trajet parcouru par le rayonnement solaire dans l'atmosphère (AMx) terrestre, elle est définie par :

$$x = \frac{1}{\sin \theta} \quad (I.2)$$

$\theta$  : étant l'angle entre l'incidence des rayons lumineux et l'horizontale de la terre.



**Figure I.2.**schéma représentant les conditions AM0, AM1, AM1,5.

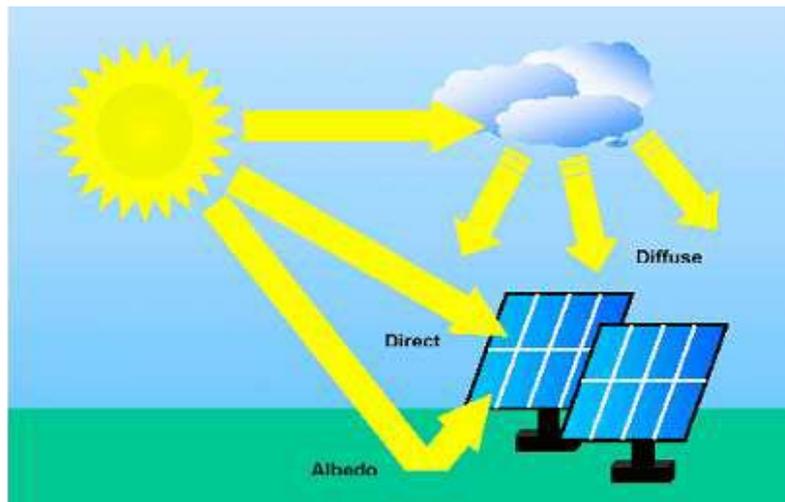
La masse d'air AM0 correspond à une masse d'air nulle pour la lumière arrivant au-dessus de la couche atmosphérique à incidence normale. La AM1 correspond au cas où cette lumière arrive à la surface de la terre. La AM1.5 désigne la masse d'air rencontrée à la lumière arrivant sur la surface de la terre avec un angle de 48,2°, soit une lumière plus faible du fait de l'épaisseur de la couche atmosphérique traversée. La AM1.5 est le standard utilisé pour caractériser les cellules solaires. [7]

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol on distingue plusieurs composantes :

- **Le rayonnement direct** est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

## Chapitre I : Généralités

- **Le rayonnement diffus** est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.
- **Le rayonnement solaire réfléchi** ou **l'albédo** du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).
- **Le rayonnement global** : est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran. Les stations météorologiques généralement mesurer le rayonnement global horizontal par un Pyranomètre placé horizontalement à l'endroit requis. [6]



**Figure I.3.** Composante du rayonnement global sur un plan horizontal. [6]

### I.2.1.1. Durée d'insolation :

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.

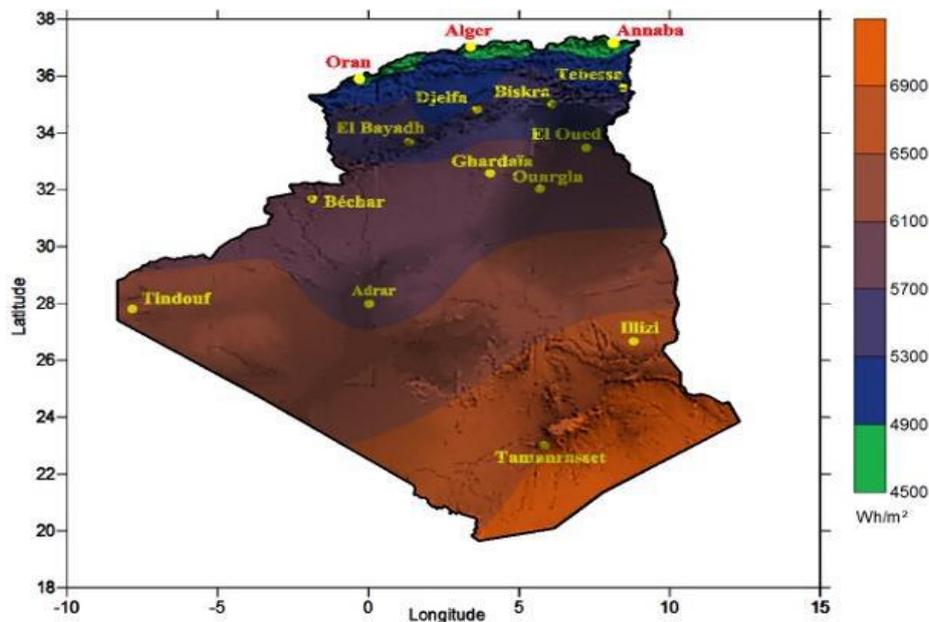
## Chapitre I : Généralités

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. [6]

### I.2.1.2. Rayonnement solaire en Algérie :

L'Algérie est l'un des pays qui ont une diversité de cotes dus à son grand secteur, environ 2,4 millions du kilomètre carré limité par la mer au Nord et par le Sahara au Sud. Le rayonnement de la région près de la mer est influencé par les saisons. Les zones du Nord de l'Algérie sont à ciel - couvert plus que ceux du Sud. Les régions Sahariennes reçoivent une quantité plus grande d'énergie mais sont caractérisées par une température plus élevée.

La figure au-dessous représente Irradiation global reçue sur surface horizontale de l'Algérie dans la période 1992-2002.



### I.2.1.3. Repérage d'un site sur la surface terrestre :

Tout point de la surface terrestre est repérée par ces coordonnées :

- La latitude ( $\varphi$ ) :** L'angle que fait la direction d'un site avec le plan équatorial. Elle se mesure de  $0^\circ$  à  $+90^\circ$  vers le nord et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  vers le sud. [9]
- La longitude (L) :** L'angle formé par le méridien du lieu avec le méridien de référence 'Greenwich'. Elle se mesure de  $0^\circ$  à  $-180^\circ$  vers l'ouest et de  $0^\circ$  à  $+180^\circ$  vers l'est à partir de Greenwich. [9]

# Chapitre I : Généralités

- c) **L'altitude** : L'altitude est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de la mer, mesurée en mètre (m). [2]

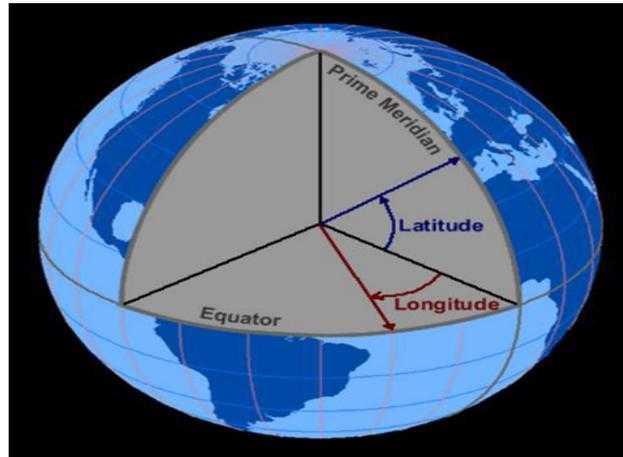


Figure I.5. Coordonnées terrestre. [9]

## I.2.1.4. Rappels de quelques éléments de géométrie :

La trajectoire de la terre autour du soleil s'appelle « l'elliptique ». La distance terre soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à sa valeur moyenne qui est de 1,49675 108km.

Cette distance est minimale au début de janvier et maximale au début de juillet. [3]

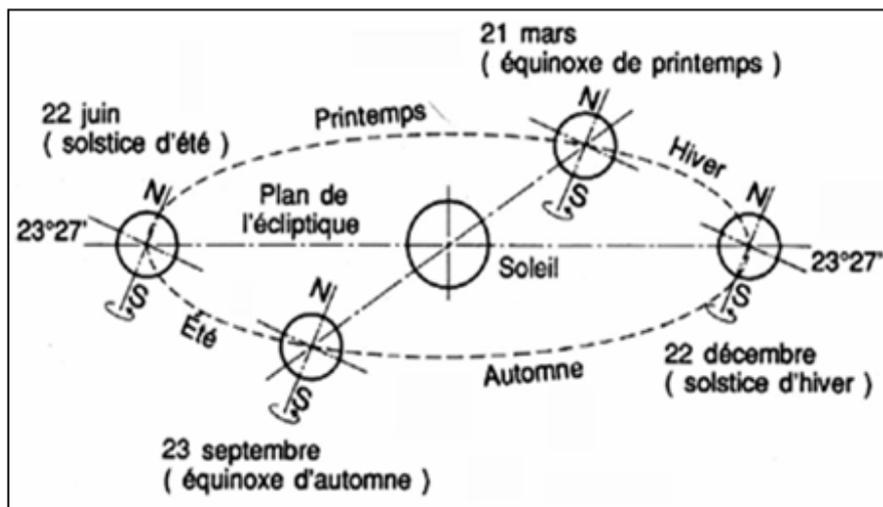


Figure I.6. le mouvement de la terre autour de soleil. [3]

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de  $23^{\circ}27'$  par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre).

### a. Déclinaison solaire ( $\delta$ ) :

C'est l'angle que fait l'axe solaire terre avec le plan équatorial terrestre. Elle varie à la cour de l'année de  $23^{\circ}27'$  à  $(-23^{\circ}27')$  vaut donc  $+23^{\circ}27'$  au solstice d'été,  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes.

## Chapitre I : Généralités

---

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360 (284 + N)}{365} \right] \quad (\text{I.3})$$

N : le nombre des jours de l'année.

Cette déclinaison est responsable des saisons, car dans l'hémisphère Nord, les rayons nous parviennent avec un angle plus élevé en été, et plus bas sur l'horizon en hiver (c'est le contraire dans l'hémisphère sud). Elle explique aussi que les différences saisonnières soient plus marquées vers les hautes latitudes. [5]

### b. L'angle horaire ( $\omega$ ):

L'angle horaire du soleil est le déplacement du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local, la position apparent du soleil est déterminée par ses coordonnées angulaires par rapport à au plan horizontal, l'azimut et la hauteur angulaire. [8]

La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de  $15^\circ$  par heure (donc un tour de  $360^\circ$  en 24 heures). [2]

L'angle horaire en degré est exprimé par la relation suivante : [8]

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.4})$$

TSV : Temps Solaire Vrai.

### c. Position du soleil :

La direction du soleil dans le ciel est repérée par l'intermédiaire de deux angles :

- **hauteur angulaire (h) :** La hauteur de soleil représente la hauteur angulaire du soleil au-dessus de l'horizon. C'est en fait l'angle formé par la direction de soleil et le plan équatorial terrestre.

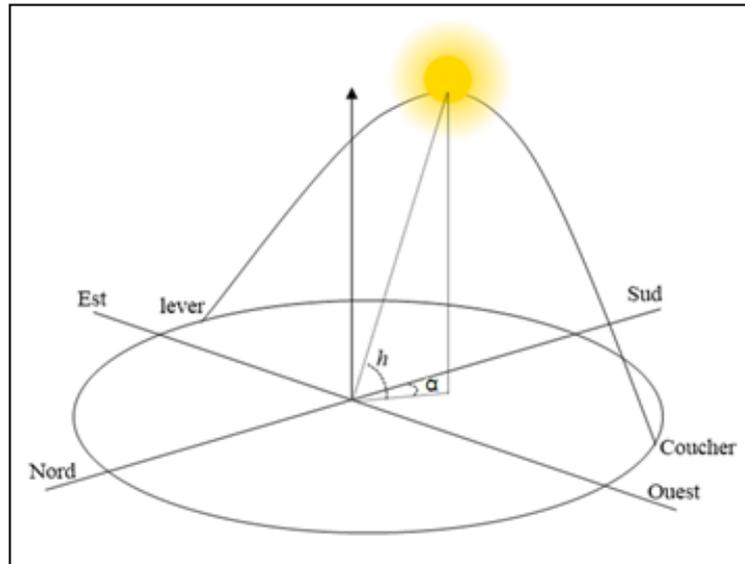
La hauteur angulaire du soleil au-dessus de l'horizon s'exprime par :

$$\sin(h) = \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varphi) \sin(\delta) \quad (\text{I.5})$$

- **azimut (a) :** L'azimut est l'angle formé par projection de la direction du soleil et la direction du Sud. Il est compté positif à l'Ouest (le matin) et négatif à l'Est (le soir). Sa valeur est obtenue lorsque le soleil se couche.

Il est donné par l'équation suivante : [8]

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I.6})$$



**Figure I.7.** *Position du soleil.* [2]

### I.2.2. La cellule solaire :

#### I.2.2.1. Historique :

Il est important de citer les dates les plus importantes dans l'histoire du photovoltaïque qui noté :

- **1839:** Le physicien français [edmond becquerel] découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. c'est l'effet photovoltaïque.
- **1875:** Werner von siemens expose devant l'académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- **1954:** Trois chercheurs américains, chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
- **1958:** Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- **1973:** La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de delaware.
- **1983:** La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000km en Australie.
- En **2001**, Schmidt-Mende réalisèrent une cellule solaire auto-assemblée à base de cristaux liquides de hexabenzocoronene et pérylène, et quelques années plus tard, les avancées

## Chapitre I : Généralités

scientifiques et technologiques sont telles qu'en **2008**, l'entreprise Fuji Kura (fabriquant de composés électroniques) est parvenue à faire fonctionner une cellule photovoltaïque organique de type DSSC (Dye-SensitizedSolarCell ou cellule Gratzel) en continu à une température et à un taux d'humidité de 85% pendant 1000 heures. [6]

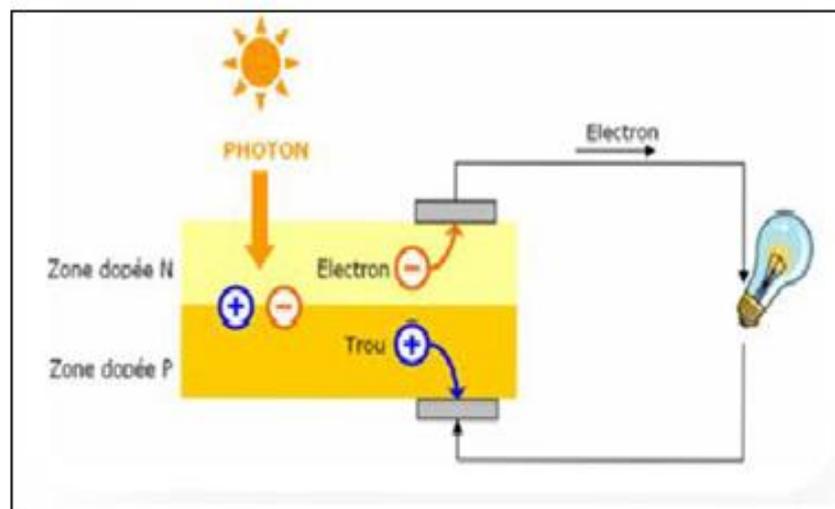
### I.2.2.2. Définition d'une cellule solaire :

Une cellule solaire (ou cellule photovoltaïque ou photoélectrique) est un dispositif électronique qui convertit l'énergie lumineuse en électricité grâce à l'effet photovoltaïque.

### I.2.2.3. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire :

L'effet Photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement) en énergie électrique de type continu utilisable. Les cellules photovoltaïques sont donc capables à la fois de permettre le transfert d'énergie du photon absorbé à un électron et la collecte de cet électron de plus haute énergie par un circuit extérieur.

Les photopiles sont des composants électroniques à semi-conducteur, lorsque ces photopiles sont éclairées par un rayonnement solaire, ces dernières développent une force électromotrice capable de débiter un courant dans un circuit extérieur. [6]



**Figure I.8.**Schéma de principe de la conversion photoélectrique. [6]

La méthode utilisée pour créer ce champ est celle du "dopage" par des impuretés. Deux types de dopage sont possibles pour le silicium:

- **Le silicium de type N :** On réalise un *dopage* de type N en injectant dans le cristal de silicium des atomes possédant cinq électrons de valence (en utilise par ex ; le phosphore ou l'arsenic). Quatre électrons de valence de chaque atome Pentavalent servent à établir

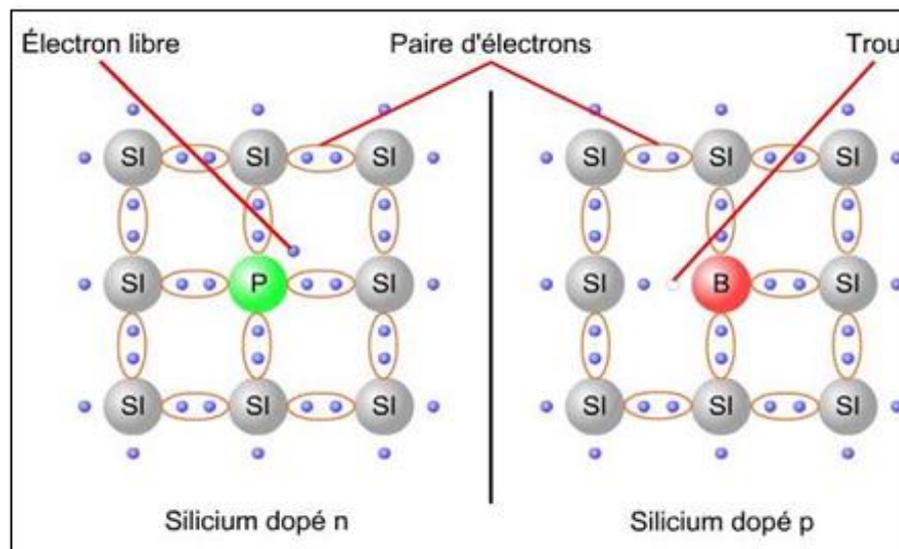
## Chapitre I : Généralités

des liaisons covalentes avec les atomes de silicium voisins; le cinquième électron qui est un électron libre est rejeté dans la bande de conduction et laisse derrière lui un ion positif (atome étranger ayant perdu un électron) et c'est cet électron libre qui participe au phénomène de transport électrique dans le semi-conducteur dopé N.

A chaque atome d'impureté correspond donc : – Une charge positive fixe

– Une charge négative mobile,

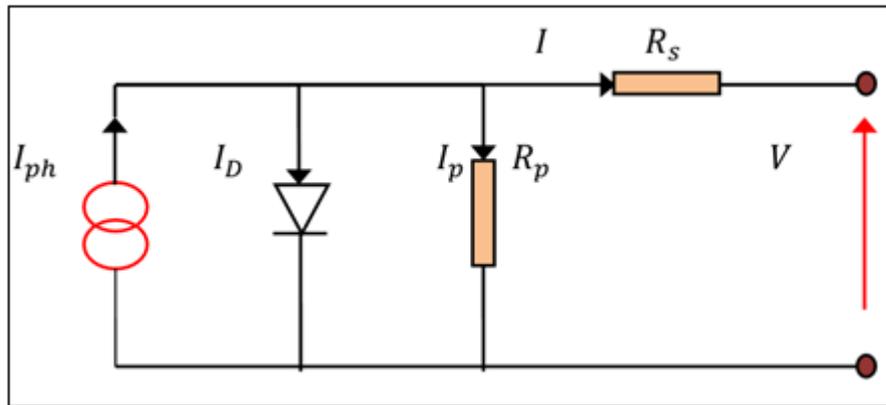
- **Le silicium de type P :** Le *dopage* de type P s'obtient en injectant dans le cristal de silicium des atomes étrangers possédant trois électrons périphériques soit donc des trivalents (en utilise par exemple ; le Bore ou l'indium). Chacun de ces atomes doit capturer un électron du réseau cristallin pour établir des liaisons de valence avec les quatre atomes de silicium qui l'entourent. Cela transforme l'atome étranger en un ion négatif et fait apparaître un trou dans le réseau cristallin le transport électrique se fait alors par le mouvement des trous libres. [6]



**Figure I.9.**Type de semi-conducteur dopée. [1]

### I.2.2.4. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque :

L'analogie entre le fonctionnement de la cellule photovoltaïque sous éclairage et celui d'un générateur de courant produisant un courant  $I_{ph}$  auquel se soustrait le courant de la polarisation de la diode en polarisation directe, n'est qu'une représentation simplifiée du fonctionnement de la cellule. [5]



**Figure I.10.**Type de semi-conducteur dopée. [5]

Les différents paramètres de ce modèle sont :

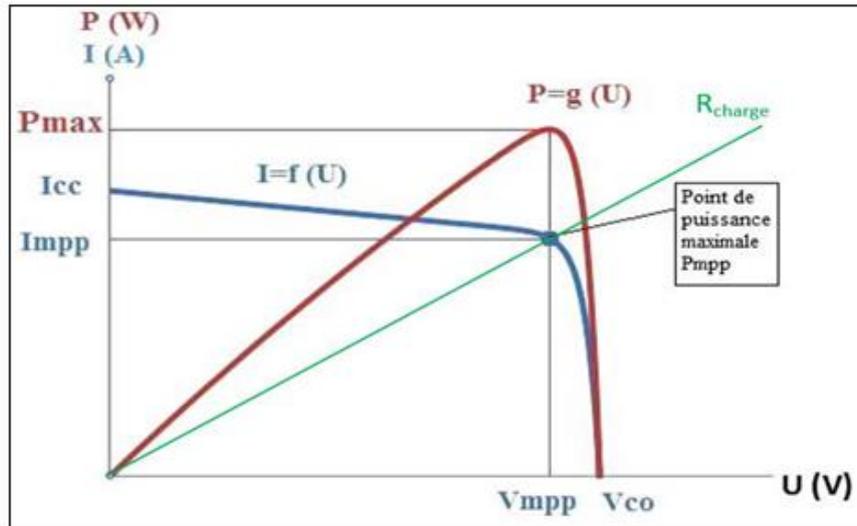
- Le générateur de courant : il délivre le courant  $I_{ph}$  correspondant au courant photo généré.
- La résistance série  $R_s$  : elle prend en compte la résistivité propre aux contacts entre les différentes régions constitutives de la cellule. Ce terme doit idéalement être le plus faible possible pour limiter son influence sur le courant de la cellule.
- La résistance  $R_p$  : également connue sous le nom de court circuit, elle peut être due à un court circuit sur les bords de la cellule. On l'appelle aussi résistance de fuite.
- La diode : modélise la diffusion des porteurs dans la base de l'émetteur. [5]

### I.2.2.5. Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque :

On appelle caractéristique courant tension  $I(V)$ , la courbe représentant la variation du courant  $I$  en fonction de la tension  $V$  aux bornes de la cellule.

Les grandeurs caractéristiques suivantes peuvent être extraites de ce graphe :

- Le courant de court circuit  $I_{cc}$ .
- La tension de circuit ouvert  $V_{co}$ .
- Le courant  $I_m$  et la tension  $V_m$  tels que le produit des deux soit maximal comme représenter sur la figure (Fig. I.11).



**Figure I.11.** Puissance maximale sur une caractéristique courant-tension. [9]

STC (1000W/m<sup>2</sup>, AM1.5 et 25°C)

Nous constatons que plus la courbe est carrée, plus la puissance maximale est élevée. On mesure cette propriété par le facteur de forme définie comme suit :

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (I.7)$$

Le rendement énergétique est défini quant à lui comme le rapport entre cette puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur le module photovoltaïque.

Si S est la surface de ce module, E l'éclairement en W/m<sup>2</sup>, le rendement énergétique s'écrit :

$$\eta = \frac{P_m}{P_i} = \frac{V_{co} \times I_{cc} \times FF}{E \times S} \quad (I.8)$$

Ce rendement est souvent mesuré dans les conditions de référence, c'est-à-dire sous l'ensoleillement 1000 W/m<sup>2</sup>, à la température de 25°C et sous un spectre AM1.5. Ces conditions normalisées sont dites STC pour Stand Test Conditions. [5]

### I.2.2.6. Association des cellules solaires photovoltaïques :

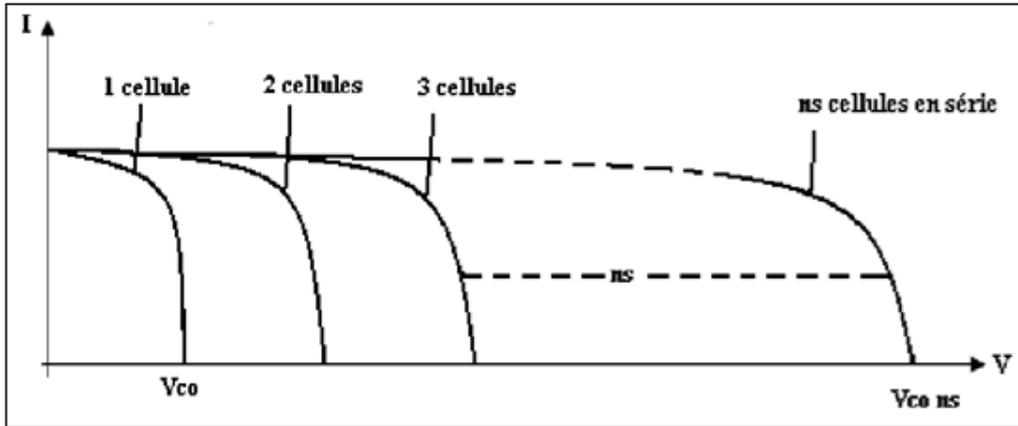
La cellule photovoltaïque ne produit qu'une très faible puissance électrique de l'ordre de 1 à 3 watt avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module photovoltaïque.

Une association de ns cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque, les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique

résultant du groupement série et obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. [5]

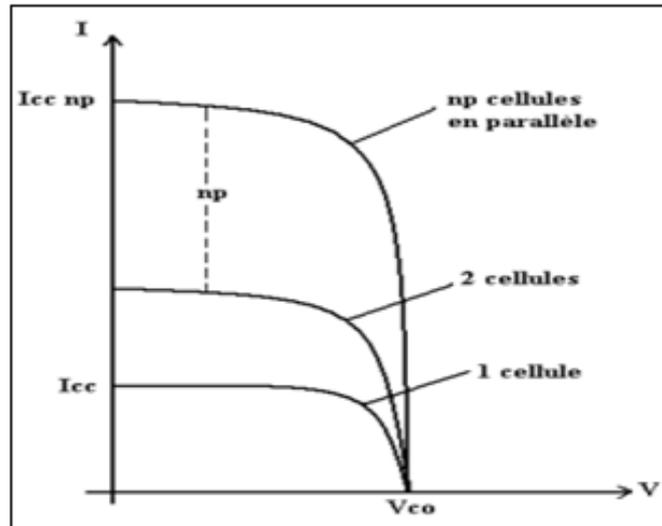
$$V_{co_{ns}} = n_s \times V_{co}$$

avec :  $I_{cc} = I_{cc_{ns}}$



**Figure I.12.** Caractéristique résultantes d'un groupement de  $n_s$  cellules en série. [5]

D'autre part une association parallèle de  $n_p$  cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur. Dans le groupement parallèle les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. [5]



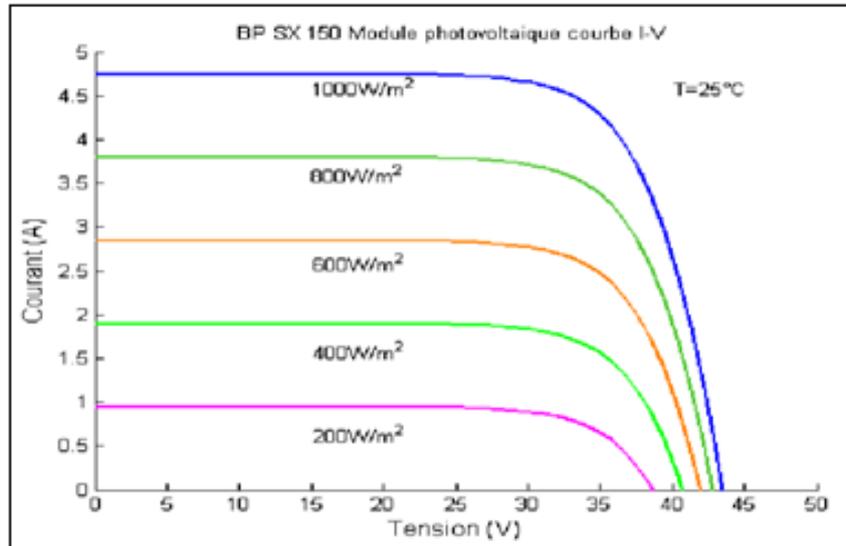
**Figure I.13.** Caractéristique résultante d'un groupement de  $n_p$  cellules en parallèle. [5]

## I.2.2.7. Facteurs influents sur le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

- Influence de l'ensoleillement :** L'apport d'énergie permettant la séparation électrons-trous étant assuré par l'énergie lumineuse, il est donc normal que l'augmentation de

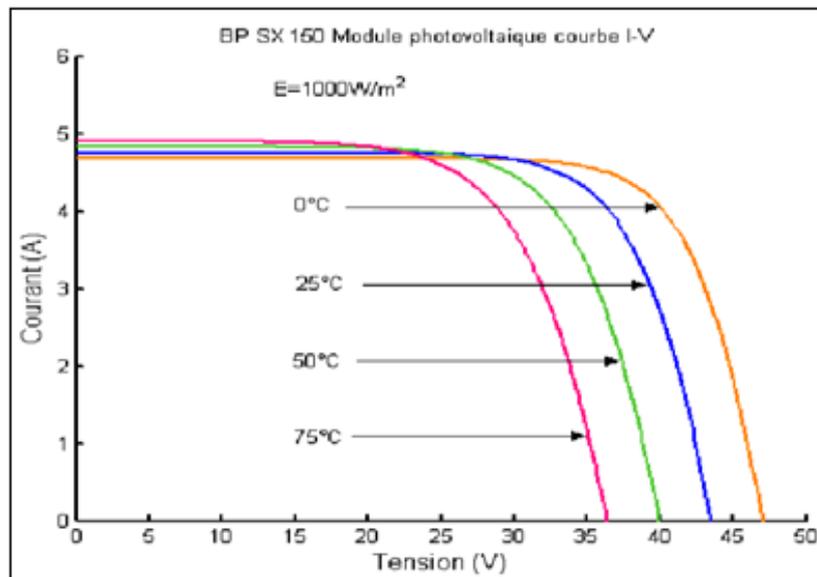
## Chapitre I : Généralités

l'ensoleillement  $E$  entraîne automatiquement l'augmentation des paires électrons-trous. Le courant débité est proportionnelle à l'ensoleillement  $E$ .



**Figure I.14.**Influence de l'ensoleillement sur les cellules photovoltaïques. [5]

**b. Influence de la température :** La température à une influence notable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque, nous remarquons que le courant de court circuit varie peu avec la température tandis que la tension à vide est beaucoup plus influencée. La température a donc une influence non négligeable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque (perte de puissance de l'ordre de 9-15% pour une augmentation de 30°C. Pour le même éclairement les courbes  $I(V)$  changent avec la température des cellules. [5]



**Figure I.15.**Influence de la température sur les cellules photovoltaïques. [5]

### I.2.2.8. Les différents types des cellules solaires :

Il existe trois types principaux de cellules :

#### a. Cellule en silicium monocristallin :

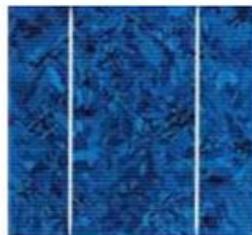
Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal (mono cristallin) de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches ce cristal permet de planquer des cellules solaires qui sont en général d'un bleu uniforme. [8]



**Figure I.16.**Cellule en silicium monocristallin. [4]

#### b. Cellule en silicium multi cristallin (poly-cristallin) :

Une cellule photovoltaïque à base de silicium multi cristallin s'obtient pendant le refroidissement du silicium, ou il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme. On distingue des motifs créés par les différents cristaux.[8]



**Figure I.17.**Cellule en silicium multi cristallin. [4]

#### c. Cellule en silicium amorphe :

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaire". [8]



**Figure I.18.**Cellule en silicium amorphe. [8]

## Chapitre I : Généralités

### I.2.2.9. Comparatif des différentes technologies :

Type de cellules	Silicium Mono Cristallin	Silicium Poly Cristallin	Silicium Amorphe (couche mince)
<b>Rendement industriel</b>	12-20%	10-15%	5-10%
<b>Part de marché</b>	85%		5%
<b>Garantie de puissance</b>	90% de la puissance initiale pendant 10 ans 80% pendant 20 ans environ (selon le constructeur)		
<b>Durée de vie</b>	25-30 ans	25-30 ans	environ 10 ans
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Technologie connue et maîtrisée</li> <li>•Bon rendement</li> <li>•Durée de vie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Technologie connue et maîtrisée</li> <li>•Bon rendement</li> <li>•Durée de vie</li> <li>•Moins cher que la technologie mono-cristalline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Meilleur marché</li> <li>•Rendement moins affecté par un faible éclairage</li> <li>•Plus souples</li> <li>•Installation plus facile</li> <li>•Moins énergivore</li> <li>•Meilleure résistance à la température</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Coûteuse</li> <li>•Rendement faible sous un faible éclairage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rendement faible sous un faible éclairage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rendement</li> <li>•Durée de vie</li> <li>•Processus industriel pas encore optimal</li> <li>•Moins écologique que le cristallin</li> </ul>

*Tableau .I.1.* Comparaison des différentes technologies. [9]

## I.3. Etat de l'art :

Des travaux ont été effectués sur l'installation photovoltaïque autonome :

- **H. Belmili et all.** Ont fait une étude sur une technique de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes optimisée et implanté dans un logiciel. Les résultats de dimensionnement sont validés pour des différentes réalisations (éclairage et pompage) et avec d'autres logiciels de dimensionnements mondiaux tels que PVSyst4.1.
- **Mme. MERAD Souheyla**, a fait un travail sur une application photovoltaïque autonome à un lieu peu fréquenté, il s'agit d'un dimensionnement d'un cabanon solaire au site de Tlemcen et plus précisément à la plage de « Marsat Ben M'Hidi ». Comme les besoins de leur application ne sont plus énormes il suffit d'utiliser 04 panneaux solaires de 100 Wc chacun pour satisfaire totalement ces besoins.  
A fin de bénéficier d'un usage nocturne, selon l'étude effectuée, une seule batterie solaire de 12V/220Ah pourra stocker de l'énergie électrique.
- **Conrad H.S. YOTTO**, a fait un travail d'étude et conception d'une mini centrale photovoltaïque pour l'alimentation d'une partie de l'installation électrique de la présidence de la république du Bénin. Ce travail a permis de dimensionner cette installation, quatre (04) systèmes photovoltaïques dont : un pour alimenter le circuit de l'éclairage extérieur, un pour alimenter les pompes sur presseur d'eau, un pour alimenter les relais de télécommunication et un pour le pompage d'eau d'arrosage des espaces verts.
- **Salaheddine MANSOUR**, a fait un travail d'étude de Dimensionnement optimal d'une station solaire photovoltaïque autonome en site isolé, ce qui a consisté à déterminer le nombre de panneaux et la capacité optimale en prenant en considération le critère économique.
- **Derrouiche Romaiissa et Ayas Fatima Zohra**, ont fait un travail consiste en étude de l'électrification d'un site avec l'énergie solaire photovoltaïque (PV). Cette étude a porté sur la modélisation de l'irradiation solaire, du générateur PV et du stockage, permettant un dimensionnement d'installations PV autonomes en fonction des besoins. Pour atteindre ce but, elles ont déterminées la capacité du générateur et celle du stockage, avec le choix du module PV et de l'élément batterie convenables à un bon dimensionnement.

## **I.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur le domaine photovoltaïque.

Nous avons commencé par présenter les différentes notions qui entrent dans l'énergie solaire en rappelant des définitions générales sur le rayonnement solaire (caractéristique des rayonnements solaires et les différents types de rayonnement), les coordonnées terrestres et quelques éléments de géométrie.

Ensuite Nous avons présenté brièvement la structure, le principe de fonctionnement et les caractéristiques courant-tension de la cellule solaire, puis l'influence de la température et de l'éclairement sur les caractéristiques courant-tension ainsi que les différentes cellules solaires conçues jusqu'à présent.

L'état de l'art et l'étude bibliographique présentés dans cette partie ont permis d'identifier les enjeux, les objectifs et les caractéristiques d'une installation photovoltaïque autonome.

# **Chapitre II :**

## **Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome**

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

### II.1. Introduction :

Le but d'un système photovoltaïque (PV) est d'utiliser la conversion directe de l'énergie solaire par effet photovoltaïque pour subvenir aux besoins en énergie électrique de l'utilisation.

Le coût élevé de l'extension du réseau électrique vers les clients isolés a fait que de nombreuses communautés, propriétés et ménages du monde entier s'appuient désormais sur des systèmes utilisant le diesel, l'essence ou même les énergies renouvelables pour subvenir à leurs besoins en termes d'électricité. Ceci peut s'appliquer particulièrement aux pays où il y a de grandes zones reculées et des terrains où l'implantation de lignes électriques est très difficile. Les systèmes photovoltaïques autonomes offrent une option très intéressante dans ce domaine et peuvent aussi servir de complément aux technologies plus anciennes (par exemple le diesel). Ils sont largement utilisés dans des petites installations, et sont de plus en plus utilisés dans de grandes installations. [8]

Dans ce présent chapitre, on va présenter d'une manière globale les systèmes photovoltaïques et plus particulièrement un système autonome et leurs composants, ainsi que l'installation des générateurs PV et les différents types des batteries de stockage; par la suite on va citer les différentes étapes de dimensionnement de ce système. Enfin on va mettre en valeur les avantages et les inconvénients d'utilisation de ces systèmes.

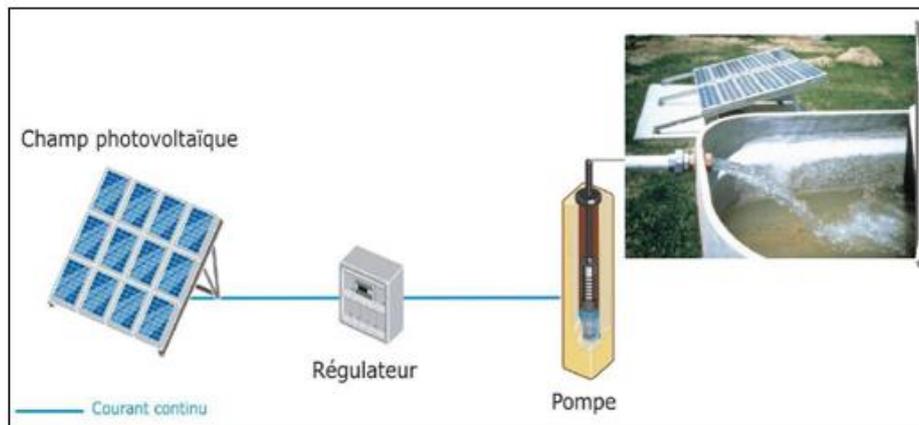
### II.2. Les types de systèmes PV :

#### a. Installation d'alimentation directe :

Cette configuration est plutôt adaptée à une application fonctionnant au fil du soleil, aucune Batterie n'est nécessaire. Il est sans doute le système le moins chère dans les applications solaire PV

Exemple : Le système de pompage.

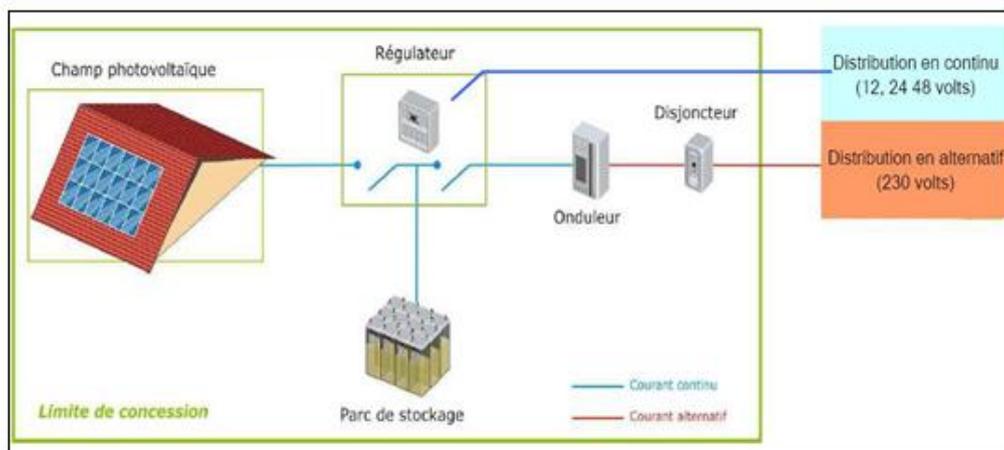
## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome



**Figure II.1.** *Système de pompage.* [12]

Ce système est composé d'une pompe solaire et d'un ou plusieurs panneaux PV, il fonctionne au fil du soleil (uniquement dans la journée en présence du soleil). Dans ce cas, le système sert à stocker de l'eau dans des baches à eau au lieu de stocker de l'énergie électrique dans les batteries. [12]

### **b. Systèmes autonomes :**



**Figure II.2.** *Installation autonome.* [12]

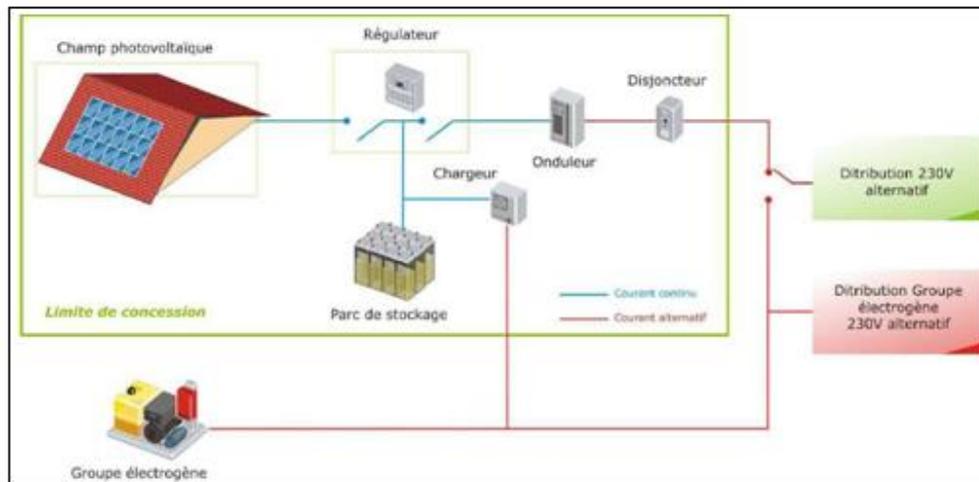
Ce sont des systèmes photovoltaïques complètement indépendants d'autre source d'énergie et qui alimentent l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, les systèmes autonomes exigent des batteries pour stocker l'énergie.

Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau.

En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique.

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

### c. Systèmes hybrides :

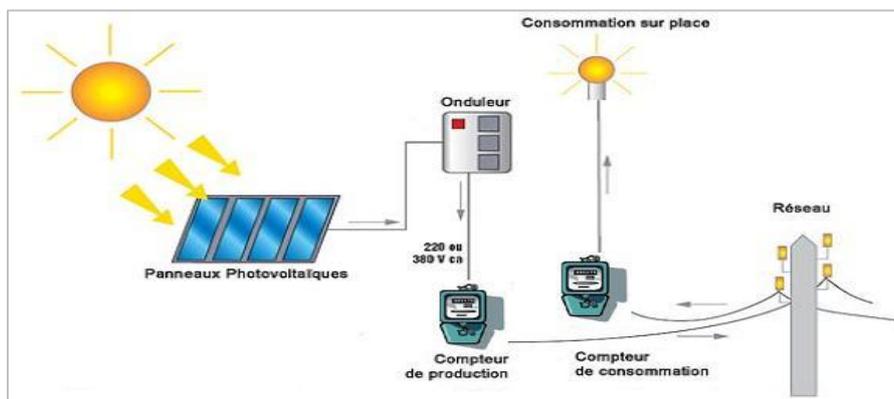


**Figure II.3.** Installation hybride. [12]

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois avec des accumulateurs de stockage de l'énergie. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.

Un système hybride photovoltaïque optimise l'utilisation combinée de plusieurs sources d'énergies renouvelables et, ou fossiles et des moyens de stockage associés.

### d. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau :



**Figure II.4.** Installation connectée au réseau. [12]

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu- courant alternatif (CC-CA).

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

Étant donné que l'énergie est directement distribuée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité.

L'énergie produite est consommée sur place le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil. [4]

### II.3. Composants d'un système PV autonome :

Généralement une installation photovoltaïque autonome est constituée du générateur PV, du stockage, de la charge, du régulateur et éventuellement des interfaces de conversion continu-alternatif. [11]

La figure suivante représente le schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome. (Fig. II.5)[10]

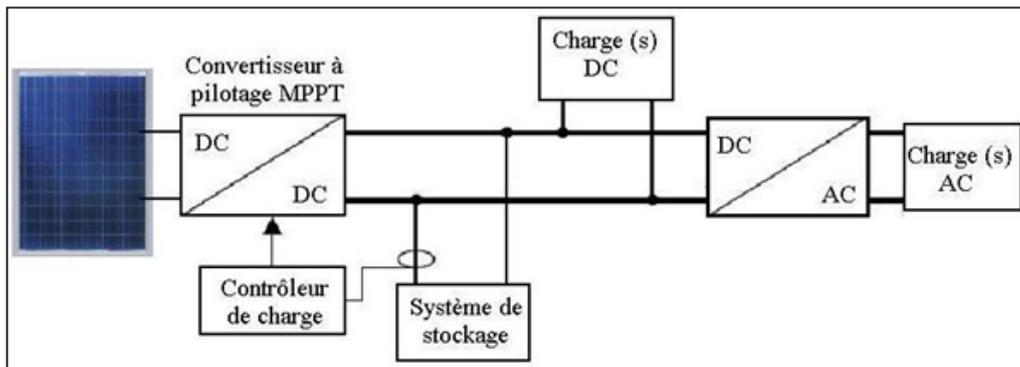


Figure II.5. Représentation synoptique d'installation photovoltaïque autonome. [10]

#### II.3.1. Les modules photovoltaïques :

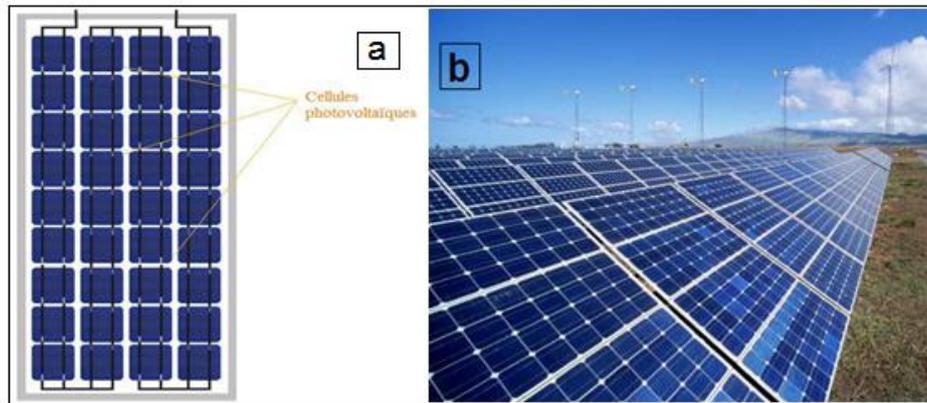
Dans un système photovoltaïque autonome, les modules PV sont généralement utilisés pour charger des batteries d'accumulateurs. La majorité des modules commercialisés comportent 36 cellules en silicium cristallin. [8]

Plusieurs cellules sont associées dans un module qui est la plus petite surface de captation transformable, les modules sont associés en série (augmenter la tension) et en parallèle (augmenter le courant) pour obtenir des puissances importantes et la tension voulue.

Le courant de sortie, et la puissance de ces modules sont proportionnels à la surface du module. Ces panneaux ont une efficacité de conversion (énergie électrique produite/énergie solaire incidente) de l'ordre de 10 à 20%. [8]

Les modules sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins énergétiques.

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome



**Figure II.6. a-** Module photovoltaïque. [5]

**b-** champ photovoltaïque. [2]

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 connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie. [2]



**Figure II.7.**Boite de dérivation. [2]

### II.3.1.1. Caractéristiques d'un module :

Voici la description des paramètres d'un module:

- La puissance de crête  $P_c$  : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m<sup>2</sup>).
- La caractéristique  $I=f(V)$  : Courbe représentant le courant  $I$  débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- Tension à vide,  $V_{co}$  : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- Courant de court-circuit,  $I_{cc}$  : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

- Point de fonctionnement optimum,  $P_m (V_m, I_m)$  : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil,  $P_m = V_m \cdot I_m$
- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale  $P_m$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule :  $V_{co} \cdot I_{cc}$ . [6]

### II.3.1.2. Constitution d'un générateur PV :

Actuellement la puissance d'un module est de quelques watts crêtes à quelques dizaines de watts crêtes. Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série-parallèle des modules pour avoir un générateur PV. Pour des déséquilibres importants dus à l'occultation d'une ou plusieurs cellules, les modules peuvent être amenés à travailler en récepteur. Pour remédier à ces problèmes, des diodes peuvent être placées en parallèle et en série avec les modules. [11]

Les associations série-parallèle des modules et des diodes sont présentées sur la figure ci-dessous.

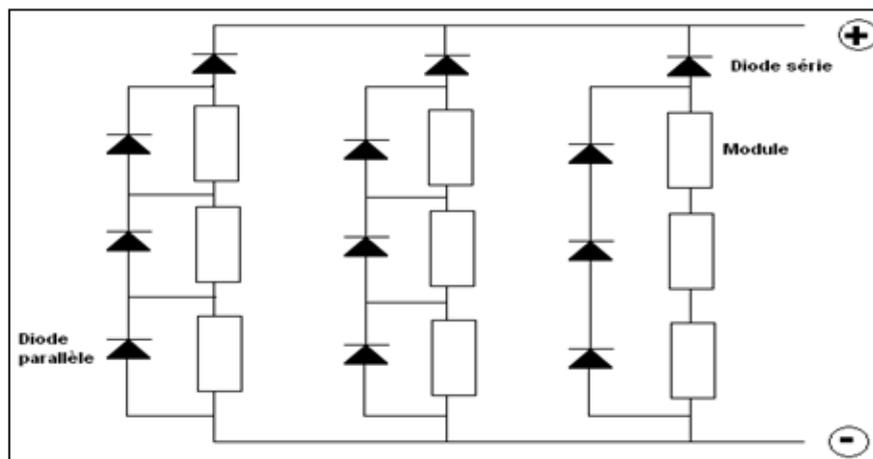


Figure II.8. Schéma synoptique d'un générateur PV en série-parallèle. [13]

- **Les diodes en série :**

Pour empêcher la batterie de se décharger la nuit dans les cellules PV ou pour empêcher une série de modules contenant un module défaillant ou masqué de devenir réceptrice du courant fourni par les autres séries, qui ont alors une tension plus élevée qu'elle, une diode est intégrée dans chaque série. On l'appelle aussi diode anti-retour et elle est située en série avec les modules.

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

- **Les diodes en parallèles :**

Au sein d'une série un module qui ne peut plus produire d'énergie (masque, défaillance), doit être protégé pour ne pas devenir récepteur et s'endommager irrémédiablement ; des diodes sont donc placées en parallèle sur chacun des modules du générateur. Elles permettent de dévier le courant produit par les autres modules de la série et sont placées en parallèle avec les modules. [11]

### II.3.1.3. Installation du générateur PV :

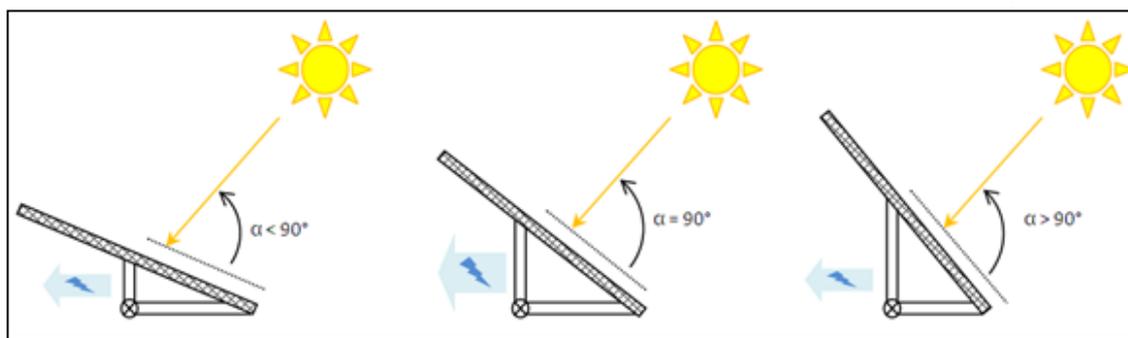
#### II.3.1.3.1. Orientation et inclinaison du générateur PV :

Il est important que les modules soient orientés plein sud pour capter l'énergie quotidienne maximale, quelle que soit la saison. Pour cela, le sud magnétique peut être déterminé à l'aide d'une boussole.

L'inclinaison est le second paramètre important. Elle est principalement choisie en fonction du profil de consommation tout au long de l'année.

Une inclinaison faible par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'été.

Une inclinaison importante par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'hiver et par-là permet de diminuer les variations énergétiques entre l'hiver et l'été. Par contre, cette inclinaison oblige à dimensionner le générateur sur les apports d'hiver et elle conduit généralement à une surproduction d'énergie électrique en été. [11]



**Figure II.9.** Inclinaison de  $90^\circ$  par rapport aux rayons du soleil (au centre) = production optimale. [9]

L'angle formé par les rayons du soleil et le panneau solaire est appelé angle d'incidence (noté  $\alpha$ ). La production est maximale si les rayons du soleil atteignent la surface du panneau perpendiculairement à midi (heure solaire). [9]

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

### II.3.1.3.2. Mise en place des panneaux PV :

#### a- Installation en toitures plate :

Sur une toiture plate, les modules solaires sont généralement placés dans un cadre métallique correctement incliné et orienté (Fig. II.6).

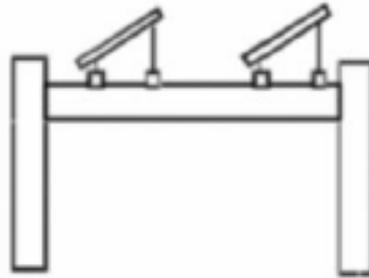


Figure II.10. Toiture plate. [9]

😊 <b>Avantages</b>	☹️ <b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Facilité de pose.</li><li>- Orientation et inclinaison optimales.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Prise au vent.</li><li>- Si lestage, vérifier la résistance de la structure portante de la toiture (pois).</li></ul>

Tableau II.1. Les avantages et les inconvénients d'une Installation en toitures plate.

[9]

#### b- Installation en toitures inclinées :

Les panneaux sont posés sur une structure fixée à la toiture à l'aide de rails, avec un écart d'environ dix centimètres.

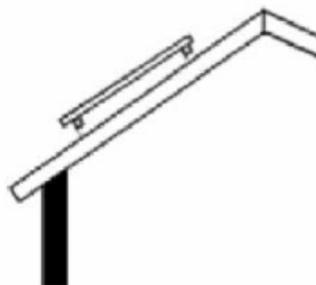


Figure II.11. Installation en toitures inclinées. [9]

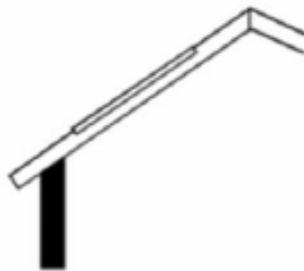
## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

 <b>Avantages</b>	 <b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de pose sur toiture existante.</li> <li>- Permet une bonne ventilation des modules.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de pattes sous les tuiles pour la fixation.</li> <li>- 5-10 cm au dessus de la toiture.</li> </ul>

**Tableau II.2.** Les avantages et les inconvénients d'une Installation en toitures inclinées. [9]

### c- Installation en intégration sur toitures inclinées :

Les panneaux sont intégrés sur la toiture.



**Figure II.12.** Installation en intégration sur toitures inclinées. [9]

 <b>Avantages</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégration architecturale parfaite.</li> <li>- Le système photovoltaïque remplace les tuiles, ardoises.</li> </ul>

**Tableau II.3.** Les avantages d'une Installation en intégration sur toitures inclinées. [9]

### II.3.2. Régulateurs :

Le régulateur est le cœur du système photovoltaïque: il contrôle les flux d'énergie. Il doit protéger la batterie contre les surcharges (solaires) et décharges profondes (utilisateur). Il doit également assurer la surveillance et la sécurité de l'installation (alarmes, fusibles, inversions de polarité). Dans les systèmes plus élaborés, il peut aussi commander la recharge par d'autres sources d'énergie (génératrice d'appoint). Dans certains cas, il peut réaliser un conditionnement de puissance (recherche du point de puissance maximum, MPT).

La fonction première du régulateur est le contrôle de la charge de la batterie par le générateur solaire. Il doit transférer la puissance du champ PV disponible tant que l'état de

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

charge de la batterie le permet, puis l'interrompte (progressivement ou brutalement) lorsqu'elle est pleine.

Pour assurer la longévité de la batterie, il est nécessaire de la protéger contre les décharges profondes. La limite de décharge doit être fixée à 15 - 30% de la charge nominale selon la technologie des batteries. Et même beaucoup plus au-dessous de zéro degré, lorsqu'il y a risque de gel de l'électrolyte.

Accessoirement, il affichera des indications concernant l'état de charge des batteries et les paramètres de fonctionnement du système.

Les régulateurs de charge de systèmes PV autonomes peuvent se caractériser en trois groupes principaux :

- Les **régulateurs série**, qui incorporent un interrupteur entre le générateur et l'accumulateur pour arrêter la charge.
- Les **régulateurs shunt**, dont l'interrupteur court-circuite le générateur solaire en fin de charge.
- Les régulateurs à recherche de point de puissance maximum ("**Maximum Power Tracker**", **MPT**), qui utilisent un circuit électronique spécial permettant d'utiliser en permanence le champ de capteurs au point de puissance maximale.

A ces trois types de circuits, on ajoute en général un régulateur de décharge pour empêcher les décharges profondes de la batterie. [14]

### II.3.2.1. Recherche du point de puissance maximum (MPPT):

Dans certains cas, il peut être intéressant d'insérer un dispositif de conditionnement de puissance, qui adapte en permanence la tension du champ PV de manière à se trouver proche du point de puissance maximum (appareil appelé " Maximum Power Point Tracker ", soit MPPT en anglais), et restitue cette puissance d'entrée à la tension fixée par la batterie ou l'utilisateur.

L'emploi d'un convertisseur MPT peut être envisagé dans les cas suivants :

- Excursion de température très élevée au cours de l'utilisation (grandes différences été-hiver, ou matin-après-midi).
- Tension d'utilisation très variable, (par exemple, une batterie fortement cyclée). Exemple concret: une installation de réfrigération du lait, faisant passer la batterie de 28 à 22V chaque jour.

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

- Adaptation à la tension utilisateur. Par exemple: le couplage direct d'une pompe, sans batterie-tampon. [14]

### II.3.3. L'onduleur :

La tension produite par les modules photovoltaïques est continue et celle fournie par les batteries pour l'alimentation des charges est aussi de nature continue. Dans ces conditions, il faudra intégrer obligatoirement un onduleur au système PV destiné à alimenter des charges alternatives. L'onduleur est un convertisseur DC/AC, c'est-à-dire convertir la sortie continue (DC) du champ de module ou des batteries en électricité alternative (AC) standard comme celle fournie par la Sonelgaz.

#### II.3.3.1. les différents types d'onduleurs PV :

Type	Description	Paramètres	Avantages	Image
<b>Onduleur centralisé</b>	- un onduleur pour la totalité du générateur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pour les montages combinant branchement en série et en parallèle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• faibles tolérances de puissance entre les modules.</li> </ul>	
<b>Onduleurs « String »</b>	• un onduleur pour chaque string.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rangées branchées au réseau via son onduleur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPP Tracking personnalisé pour chaque rangée.</li> </ul>	
<b>Onduleurs « Multi string »</b>	• association d'onduleurs centralisés et « string ».	<ul style="list-style-type: none"> <li>• types de modules différents.</li> <li>• nombre de modules différents par rangée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• meilleur rendement que pour un onduleur centralisé grâce à la possibilité d'un MPPT pour chaque rangée.</li> </ul>	
<b>Onduleur modulaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• branchement direct des modules sur le réseau.</li> <li>• un onduleur pour chaque module.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pour les installations de petite puissance.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• un module ombragé n'influe pas sur le reste de l'installation.</li> </ul>	

*Tableau II.4. Les différents types d'onduleurs photovoltaïques. [12]*

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

### II.3.3.2. Le choix de l'onduleur :

Se fera suivant les critères suivants :

- **La puissance nominale** : c'est la puissance exprimée en VA que le convertisseur est capable de délivrer en fonctionnement permanent. Théoriquement, le choix de la puissance à délivrer doit être la somme des puissances des équipements installés ou à installer, mais en pratique, il est rare que tous les appareils fonctionnent en même temps et le choix de la puissance nominale résultera de la valeur maximale du profil moyen de la consommation.
- **Le rendement** : c'est un critère très important, car il influe sur le dimensionnement du champ PV et de la batterie. Celui-ci varie en fonction du taux de charge (rapport de la puissance de sortie à la puissance nominale), ainsi que la variation de ce rendement varie d'un onduleur à un autre. Le rendement de l'onduleur est aussi donné par le rapport entre l'énergie consommée par la charge et l'énergie fournie par la source continue.
- **La consommation à vide** : Une consommation importante à vide va réduire l'énergie emmagasinée par la batterie (cas de la nuit). Pour cette raison, il est important de limiter les pertes à un faible pourcentage de la puissance nominale

(1 à 5%). Pureté de la tension de sortie par rapport à une tension sinusoïdale pure (220V-50HZ).

La plus ou moins grande pureté de la tension de sortie est obtenue grâce à :

- Un système de régulation qui tend à maintenir la tension et la fréquence aux valeurs nominales, quelle que soit la tension d'entrée.
- Un filtrage en sortie de l'onduleur, qui tend à lisser la forme de la tension donc à réduire le taux d'harmoniques. [4]

### II.3.4. Les batteries d'accumulation :

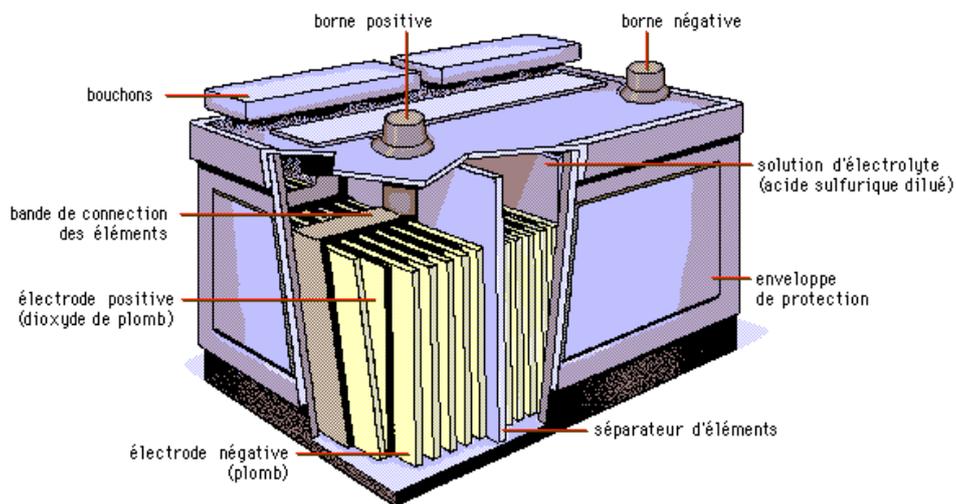
La production d'énergie par les systèmes photovoltaïque est très fluctuante et dépend énormément des conditions météorologiques. C'est pourquoi, il faudra penser à stocker cette énergie pour la restituer pendant la nuit et les jours sans soleil et pour mieux adapter le générateur PV en fixant la tension du système. Le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. [4]

Ces batteries spécifiques sont appelées "batterie à décharge lente" (ou pour simplifier batterie solaire).

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

Ces batteries sont conçues pour restituer un courant stable pendant de longues périodes en conservant leurs aptitudes à la recharge, et ceci à un grand nombre de reprises (cycles), on parle de batteries stationnaires ou à décharge lente.

Une batterie solaire comporte des électrodes positives et négatives composées d'alliages dissemblables plongées dans un électrolyte (acide). L'ensemble est encapsulé dans un bac scellé ou muni d'un bouchon de remplissage et d'un évent. Les réactions d'oxydoréduction, qui gouvernent le fonctionnement d'une batterie sont réversibles, dans la mesure où celle-ci n'a pas été longtemps ni complètement déchargée, ni trop surchargée. Un fonctionnement prolongé dans l'un ou l'autre de ces états aboutirait à la destruction des capacités de la batterie. [12]



**Figure II.13.**schéma synoptique d'une batterie. [17].

On associe plusieurs batteries en série pour obtenir une tension adaptée à l'utilisation et on les associe en parallèle pour avoir la capacité et la puissance nécessaire à l'autonomie désirée.

Les tensions des batteries seront déterminées par rapport à celle aux bornes des récepteurs à courant continu et la tension des modules. [13]

Il existe des batteries solaires fonctionnant en 2 Volts, 6 Volts ou 12 Volts (tension nominale), dont la capacité (en Ampères heure) est inversement proportionnelle à la tension : les batteries ayant la capacité de stockage la plus élevée sont les batteries 2V.

Ces batteries sont différenciées par la géométrie des plaques positives (planes ou tubulaires) et par la forme de l'électrolyte (liquide, gel). [12]

Il existe 3 principales catégories définies par leur domaine d'application :

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

### a) Domaine du démarrage :



**Figure II.14.** Batterie de démarrage. [12]

- **Applications:** démarrage des moteurs à combustion, petits systèmes autonomes
- **Caractéristiques:** faible résistance interne pour fournir un fort courant instantané, peu coûteux
- **Technologie:** plaques fines connectées dans un espace restreint (faible résistance interne), peu de réserve d'électrolyte
- **Deux types:** ouverte et étanche (VRLA) Valve Regulated Lead ; Acid.

### b) Domaine de la traction :



**Figure II.15.** Batterie de traction. [12]

- **Applications:** les véhicules électriques (chariot élévateur, transpalette)
- **Caractéristiques:** la batterie fournit à elle seule toute la Puissance Demandée. Quand elle est déchargée, elle est connectée Rapidement à une source de courant continu. Ces batteries Sont utilisées en cyclage avec des périodes de décharge de 6 à 9 Heures.
- **Technologie:** Plaque tubulaire, grille à fort taux d'antimoine (>8%)

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

### c) Domaine des applications stationnaires :



*Figure. II.16. Batterie de stationnaires. [12]*

- **Applications:** les alimentations de secours. Elles peuvent répondre à des besoins ponctuels pour fournir une puissance importante sur un temps donné.
- **Caractéristiques:** Ces accumulateurs peuvent subir de longues périodes de maintien de charge avec un faible courant de «Floating» et présentent des durées de vie importantes.
- **Technologie:** plaques planes et plaques tubulaires.
- **Deux types:** ouverte et étanche (électrolyte absorbé ou gélifié). [12]

#### II.3.4.1. Les différents types de batteries :

Il existe plusieurs types de stockage :

##### a- Les batteries au plomb (très utilisées):

Une batterie au plomb acide est un ensemble d'éléments de 2 volts connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée.

La tension varie entre 1.7 Volts et 2.4 Volts par élément suivant l'état de charge en conditions normales de fonctionnement. Ces accumulateurs ont un rendement énergétique de l'ordre 70 à 85 %. En raison de leur maintenance nécessaire, ils sont réservés aux systèmes photovoltaïques de puissance. [4]

##### b- Les batteries en Cadmium-Nickel (NiCd):

La tension de ce type d'accumulateurs varie entre 1.15 et 1.45 Volts par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%.

- En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :
- Très bonne résistance mécanique.
  - possibilité de supporter des décharges profondes.

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

- Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel. [4]

### c- Les batteries en Nickel métal-hydrure(NiMH) :

L'emploi de ces accumulateurs étant plus fréquent dans les applications haut de gamme, ou de très petite taille (<2Ah).

### d- Les batteries au Lithium :

Ces nouveaux accumulateurs utilisent un électrolyte liquide organique, leur intérêt réside dans une forte capacité par unité de masse, une très bonne étanchéité et une stabilité importante vis-à-vis de la température. Leur développement est subordonné à une augmentation du nombre de cycles qu'ils peuvent accepter. [4]

Le tableau II.5 représente une comparaison entre les différentes types des batteries :

Type	Energie massique	Tension d'un élément	Durée de vie (nombre de recharges)	Auto-décharge par mois
<b>Plomb</b>	30-50 Wh/kg	2 V	200-300	5%
<b>Ni-Cd</b>	48-80 Wh/kg	1,25 V	1500	20%
<b>Ni-Mh</b>	60-120 Wh/kg	1,25 V	300-500	30%
<b>Lithium</b>	110-160 Wh/kg	3,7 V	500-1000	10%

**Tableau II.5.** Comparaison des types de batterie. [17]

### II.3.4.2. Les caractéristiques principales d'un accumulateur :

- La tension d'utilisation: c'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.
- La capacité : c'est la quantité maximale d'énergie électrique restituable par l'accumulateur ou plus pratiquement c'est le nombre d'ampères-heures que peut débiter un accumulateur pour un courant et une tension définie. Elle s'exprime en ampères heures ou en Watts heures.
- le rendement : c'est le rapport entre l'énergie restituée par l'accumulateur et l'énergie électrique fournie à l'accumulateur.

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

- La durée de vie : un accumulateur peut être chargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quelque soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il a une durée de vie totale exprimé en années (ou en nombre de cycles).
- Le taux d'autodécharge : l'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné. Le nombre de jours consécutifs sans ensoleillement (nombre autonomie) dépend du lieu de l'installation PV.
- Le profondeur de décharge : la batterie doit être maintenue en bon état une très longue durée. Pour cela nous ne devons pas la décharger à plus de 60% de sa capacité normale, même pendant le mois le plus défavorable de l'année. [4]

### **II.3.4.3. Installation des batteries de stockage :**

Les accumulateurs, de par leurs constituants, sont des éléments présentant un certain nombre de dangers (toxicité, risque d'explosion). Ainsi que leur rendement est lié directement à leur température de fonctionnement (Il faut qu'ils soient aérées). Une attention particulière doit donc être portée au local où sont entreposés les accumulateurs et à leur installation dans ce local.

Il doit assurer les fonctions suivantes :

- Isoler les accumulateurs des intempéries et des éléments extérieurs (pluie, neige, soleil...) ;
- Permettre une inspection périodique commode des accumulateurs ;
- Être correctement ventilé, les accumulateurs dégageant des gaz qui peuvent former un mélange explosif ;
- Maintenir une température ambiante la plus proche possible de 20 °C et en tout cas compris entre 0 et 45 °C. [11]

### **II.3.5. Charge (utilisateurs) :**

Il existe deux types d'appareils alimentés par le système, celles qui fonctionnent en courant continu comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, et celles en courant alternatif dans les cas d'usage domestique, ce cas nécessite un onduleur.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être pensée en termes d'économie de l'énergie. Il est donc plus avantageux de chercher des consommateurs fonctionnant en courant continu plutôt que d'ajouter un onduleur et un consommateur en 220 Vac. [5]

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

### II.3.6. Les câbles électriques :

Les câbles relient électriquement tous les composants du système PV. Le câblage est un point critique de toute installation PV. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant très fort dans les câbles même pour de petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions. Le choix des câbles dont l'enveloppe est adaptée aux conditions d'utilisation est nécessaire. [13]

### II.4. Protection et sécurité :

Un générateur photovoltaïque est par définition, une installation électrique extérieure qui doit être protégée contre les effets des intempéries telles que la pluie, le vent, la foudre, etc.

D'autre part elle doit présenter toutes les conditions de sécurité nécessaires pour les personnes susceptibles de se déplacer à proximité.

Une installation photovoltaïque demande des moyens pour protéger les personnes et le matériel contre les dommages dus aux décharges atmosphériques.

- i. Mise à la terre :** La mise à la terre est un moyen de protection pour maintenir les tensions de contact ou de décharge aussi faibles que possible, pour que des personnes ou installations ne soient blessées ou endommagées. Les systèmes photovoltaïques à courant supérieur à 2 A sont considérés comme des installations à courant fort et doivent par conséquent être mis à la terre.
- ii. Parafoudre :** Un coup de foudre, ou son champ électromagnétique associé, sur une installation photovoltaïque provoque des surtensions par couplage inductif, capacitif ou galvanique, qu'il faut conduire à la terre.

Les normes établies pour les protections contre la foudre et les surtensions distinguent en général les parafoudres extérieurs et intérieurs.

- Le parafoudre extérieur a la mission d'éloigner le passage de la foudre des structures inflammables ou endommageables et de conduire le courant de l'éclair jusqu'à la terre, au moyen d'un conducteur métallique, avec la plus petite chute de tension possible.
- Le parafoudre intérieur comprend tous les moyens nécessaires à protéger les objets des dégâts éventuels provoqués par des tensions ou des courants. Un moyen efficace de protection intérieure est la compensation de potentiel. [15]

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

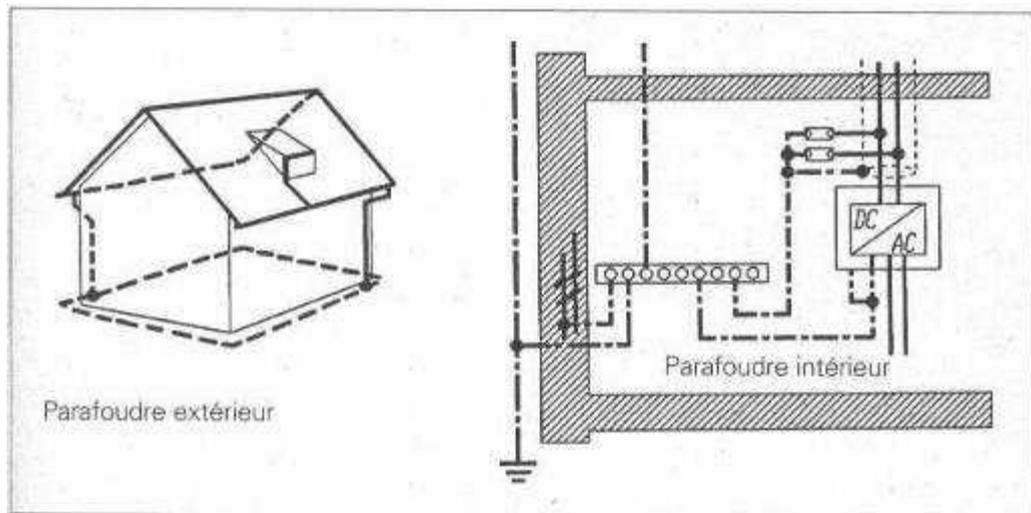


Figure II.17. Protection intérieure. [15]

### II.5. Dimensionnement du système PV photovoltaïque :

Les procédures de conception et de dimensionnement d'un générateur photovoltaïque sont complexes à cause des nombreux paramètres à prendre en compte. [13] Pour être précis, nous décrirons par les six (06) étapes suivantes, les grandes lignes de la démarche à suivre pour la conception d'un système PV.

#### Etape 1: Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité (en Wh/j) :

A partir des caractéristiques relevées sur les récepteurs : tension, puissance et durée d'utilisation, on estime aisément ces besoins. [13]

Le besoin d'énergie doit être évalué en moyenne journalière, en estimant la somme des consommations de chaque appareil:

$$E_j = \sum_{i=1}^n P_i * t_i \quad (\text{II.1})$$

Où :

- $E_j$  (Wh/jour) : la consommation journalière moyenne,
- $P_i$  (W) : Puissance de chaque appareil  $i$ ,
- $t_i$  (heures/jour) : Temps moyen d'utilisation quotidienne. [14]

#### Etape 2: Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur photovoltaïque :

Les données de l'ensoleillement (exprimé en kWh / m<sup>2</sup>/j) peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou des données météorologiques

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

standard par un logiciel spécialisé (par exemple Météonorm, logiciel PVSYST, Solar Irradiation Database,... etc).

Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois le moins ensoleillé.

### **Etape 3: Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée, nombre de modules) :**

Pour déterminer la puissance du champ photovoltaïque, une des méthodes simplifiée est présentée :

$$P_c(W_{\text{crête}}) = \frac{E_j(\text{wh})}{I_r \times \eta_{\text{bat}} \times \eta_{\text{ond}} \times \eta_{\text{elec}}} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- $I_r$  : l'irradiation journalière sur le plan des modules [ $\text{kWh/m}^2/\text{j}$ ].
- $\eta_{\text{bat}}$ : rendement énergétique des batteries
- $\eta_{\text{ond}}$  : rendement énergétique de l'onduleur (si besoins en alternatives)
- $\eta_{\text{elec}}$ : rendement énergétique des autres composants électroniques 90%. [16]

- Nombre de module en série :  $N_s = \frac{U_c}{U_{\text{mod}}}$  (II.3)

Avec :

- $U_c$  : Tension aux bornes de la charge.
- $U_{\text{mod}}$  : Tension aux bornes d'un module.

- Nombre de module en parallèle :  $N_{//} = \frac{P_c}{N_s \times P_{\text{mod}}}$  (II.4)

Avec :

- $P_c$  : puissance du champ PV.
- $P_{\text{mod}}$  : puissance du module. [15]

### **Etape : 4 Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la technologie :**

Ici, il faut connaître d'abord le nombre de jours d'autonomie souhaitée. Surtout par rapport au niveau de sécurité des équipements et des lieux d'installation du système.

La formule de calcul de la capacité en (Ah : ampère heure) est :

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

$$C = \frac{E_j * N}{D_m * \eta_{bat} * U_{bat}} \quad (\text{II.5})$$

- $E_j$  : la consommation journalière moyenne
- $N$  : nombre de jour d'autonomie (jours).
- $D_m$  : Profondeur de décharge maximale, d'après le type de batterie utilisée.
- $U_{bat}$  : tension de la batterie. [10]

### **Etape : 5 dimensionnement des conducteurs:**

La chute de tension dans les conducteurs est donnée par la loi d'ohm:

$$\Delta U(V) = R \times L \quad (\text{II.6})$$

Où :  $R = \rho \cdot l / s \quad (\text{II.7})$

Avec:

- $R$  = résistance (W)
- $L$  = longueur du câble (m)
- $s$  = section [mm<sup>2</sup>] du conducteur
- $\rho$  = résistivité.

Typiquement on prendra  $\rho = 20 \text{ m}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  pour le cuivre à 40°C. [14]

On obtient la chute de tension en pourcentage de la manière suivante :

$$\Delta U (\%) = \frac{\Delta U(V)}{U_N} \quad (\text{II.8})$$

- $U_N$  : tension nominale (V). [13]

### **NB :**

Il existe des tableaux et des courbes pour faciliter le choix du câble, selon sa longueur, la tension assignée, la matière, ... etc.

### **Etape : 6 Choix du régulateur et de l'onduleur :**

- Critères requis pour le régulateur :
  - $P_{reg} > P_C$  installée ,
  - $U_{reg} = U_{générateur}$  ,

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

- Ientrée rég admissible  $> I_{max}$  du module.
- Isortie rég  $> P_{max}/U_{générateur}$ .
- Critères requis pour l'onduleur :
  - Puissance de l'onduleur est supérieure ou égale à la puissance des charges,
  - $\eta_{ond}$  varie entre 0,9% et 0,95%. [13]

### II.6. Avantages et inconvénients d'une installation PV :

Tout système de production d'énergie a ses avantages et ses inconvénients :

#### a. Les avantages :

- Une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du Milliwatt au MégaWatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant (électricité propre), silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.
- Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.
- Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre à vos besoins en matière d'électricité.
- Ils ont une longue durée de vie.
- On élimine les frais et les risques de transport associé aux énergies fossiles. [4]

#### b. Les inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

## Chapitre II : Présentation et Dimensionnement de système photovoltaïque autonome

---

- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques. [4]

### II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une description générale des systèmes photovoltaïques et plus particulièrement un système autonome, nous avons tout d'abord présenté la modélisation des composants constituant le système PV utilisé dans notre travail, nous avons exposé par la suite les différentes étapes de dimensionnement de ce système.

On peut procéder de deux manières par effectuer un pré-dimensionnement à main levée à l'aide des formules et étapes qu'on a déjà parlé sur sa dans ce chapitre ou en utilisant le logiciel PVSyst qui permet le pré-dimensionnement et le dimensionnement qui sera le but du chapitre suivant.

Afin de faciliter la conception, nous avons aussi mis en valeur les avantages, les inconvénients d'utilisation de ces systèmes.

# **Chapitre III :**

## **Dimensionnement a l'aide du PVSYST**

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

### III.1. Introduction :

Le site géographique, le matériel utilisé, les expériences réalisées et les méthodes de mesure, sont des paramètres importants dans la discussion des résultats.

La simulation a été réalisée à l'école technique de Blida (sonelgaz) avec logiciel PVsyst tel que les étapes et les fichiers de simulation nous allons les présentés en des figures.

Dans ce chapitre on va présenter les éléments utilisés dans notre système d'étude, ainsi que les paramètres mesurés et calculer.

### III.2. présentation du logiciel :

Le PVSYST est un logiciel de dimensionnement photovoltaïque conçu pour être utiliser par les architectes, ingénieurs et chercheurs mais aussi un outil pédagogique très utile.

Il inclut une aide contextuelle approfondie qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement du projet.

Il permet aussi d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles. [14]

### III.3. Situation géographique de la maison :

Le cas traité est une maison d'une surface d'environ de 52m<sup>2</sup> situé dans la frontière de la commune de Chercell (Latitude: 36 ° 36 '31" Nord et Longitude: 2 ° 11' 50" est) occupée par une famille de trois membres. La demande d'énergie d'un foyer dépend de nombreux facteurs tels que le nombre d'appareils utilisés, la puissance électrique consommée par chaque appareil et la durée d'utilisation d'appareils déterminés par le comportement des occupants de la maison.

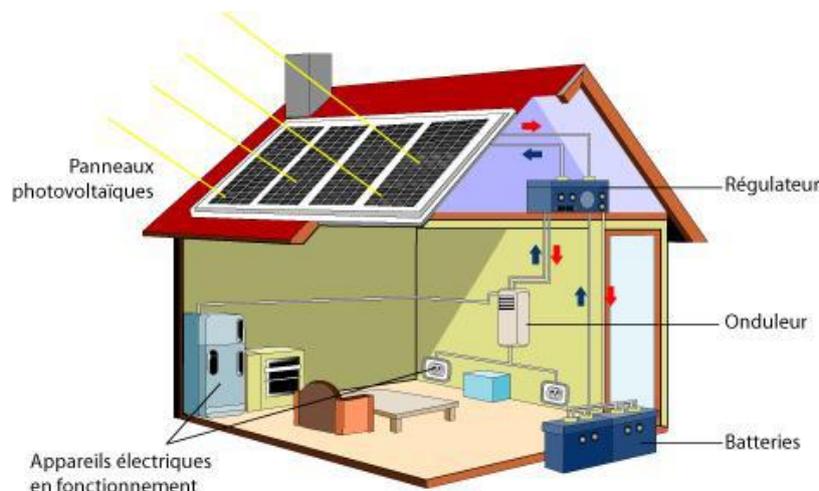
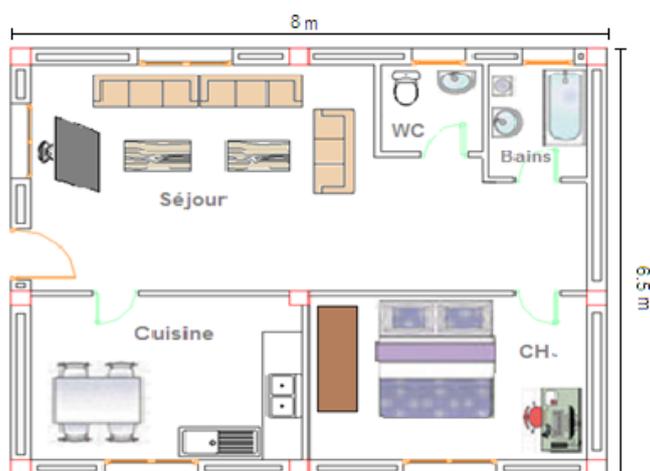


Figure III.1. Maison autonome.

### III.4. Architecture de la maison :



**Figure III.2.** Plan de maison avant le projet.

La maison est composée d'une chambre, cuisine, séjour et salle de bains.

### III.5. Profile de charge :

Le tableau III. 1 présente un profil de charge proposé de la maison étudiée. Nous allons nous baser sur ce profil, pour effectuer les calculs.

Appareils	Nombre	Puissance unitaire (W)	Durée d'utilisation (h/jour)	Puissance (W)	Energie (kWh/j)
TV + démo	1	100	5	100	0,5
Lampe à LED(séjour+entrée)	2	11	3,5	22	0,077
Lampe à LED(chambre+cuisine)	2	11	3	22	0,066
Lampe à LED(douche)	1	11	1,5	11	0,0165
Lampe à LED(WC)	1	11	0,5	11	0,0055
Réfrigérateur (classe A+)	1	....	24	....	0,596
Climatiseur [refroid.(1070W)/chauff.(960W)]	1	1070	3	1070	3,21
Machine à laver	1	480	1	480	0,48
PC	2	54	2,5	108	0,27
Modem Wifi	1	6	24	6	0,144
Divers	1	50	3	50	0,15

**Tableau III.1.** Estimation des consommations d'appareils disponible dans la maison.

Le calcul effectué, nous a permis d'avoir 5.515 kWh de consommation par jour en été, et 5.185 kWh/j en hiver.

Les deux tableaux suivants ont été faits d'une façon à couvrir la consommation heure par heure le long de la journée, tel que le **tableau III.2** représente une journée d'été et le **tableau III.3** représente une journée d'hiver.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

Maison	Equipment	Puissance(W)	CONSOMMATION EN Wh (Profil d'été)																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Séjour	Lampe à LED	11							5.5	5.5												5.5	11	5.5	5.5	
	Télé + démo	100													100	100								100	100	100
	Climatiseur(refroid.)	1070													1070	1070							1070			
	PC	54															54	54	27							
	Modem Wifi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Divers	50																50					50			50
Chambre	Lampe à LED	11							5.5														11	11	5.5	
	PC	54																					54	54	27	
Cuisine	Réfrigérateur	-----	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
	Lampe à LED	26							5.5														11	11	5.5	
Salle de bains	Lampe à LED(douche)	11							5.5													11				
	Lampe à LED (WC)	11							2							1.2					1.1				2	
	Machine à laver	480													480											
Entrée ext.	Lampe à LED	11																				11	11	11	5.5	
TOTAL			30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	54.8	36.3	30.8	30.8	30.8	30.8	510.8	1202	1200.8	134.8	84.8	57.8	31.9	102.8	1198.8	223.3	237.3	130.8

**Tableau.III.2.** Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en été.

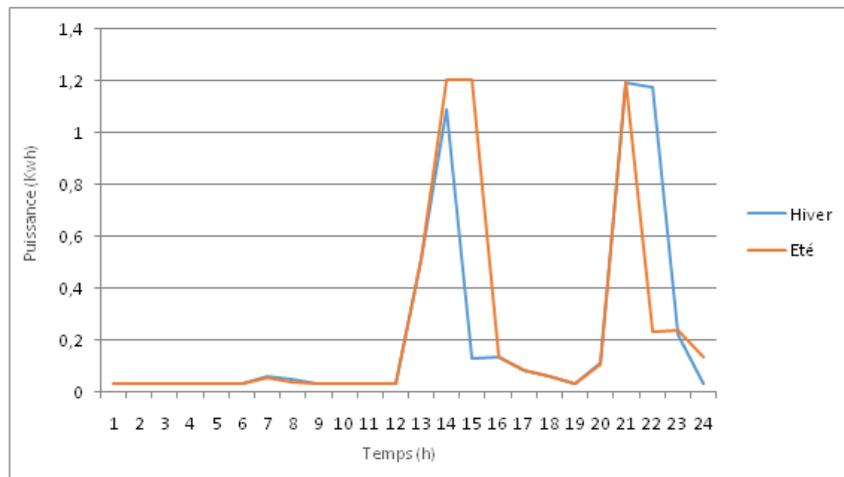
## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

Maison	Equipment	Puissance(W)	CONSOMMATION EN Wh (Profil d'hiver)																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Séjour	Lampe à LED	11							5.5	5.5												11	11	5.5		
	Télé + démo	100													100	100							100	100	100	
	Climatiseur(Chauff.)	960													960								960	960		
	PC	54															54	54	27							
	Modem Wifi	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Divers	50															50						50			50
Chambre	Lampe à LED	11							5.5													11	11	5.5		
	PC	54																					54	54	27	
Cuisine	Réfrigérateur	-----	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	
	Lampe à LED	26							5.5														11	11	5.5	
Salle de bains	Lampe à LED(douche)	11							5.5													5.5	5.5			
	Lampe à LED (WC)	11							2							1.2					1.1				2	
	Machine à laver	480												480												
Entrée ext.	Lampe à LED	11							5.5													5.5	11	11	5.5	
<b>TOTAL</b>			<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>60.3</b>	<b>36.3</b>	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>30.8</b>	<b>510.8</b>	<b>1092</b>	<b>130.8</b>	<b>134.8</b>	<b>84.8</b>	<b>57.8</b>	<b>31.9</b>	<b>113.8</b>	<b>1194.3</b>	<b>1177.8</b>	<b>220.8</b>	<b>30.8</b>

**Tableau.III.3.** Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en hiver.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

Pour avoir un profil de charge réaliste, la consommation électrique de la maison pendant une journée en hiver et une autre en été a été réalisée comme le montre la **figure III.3**.



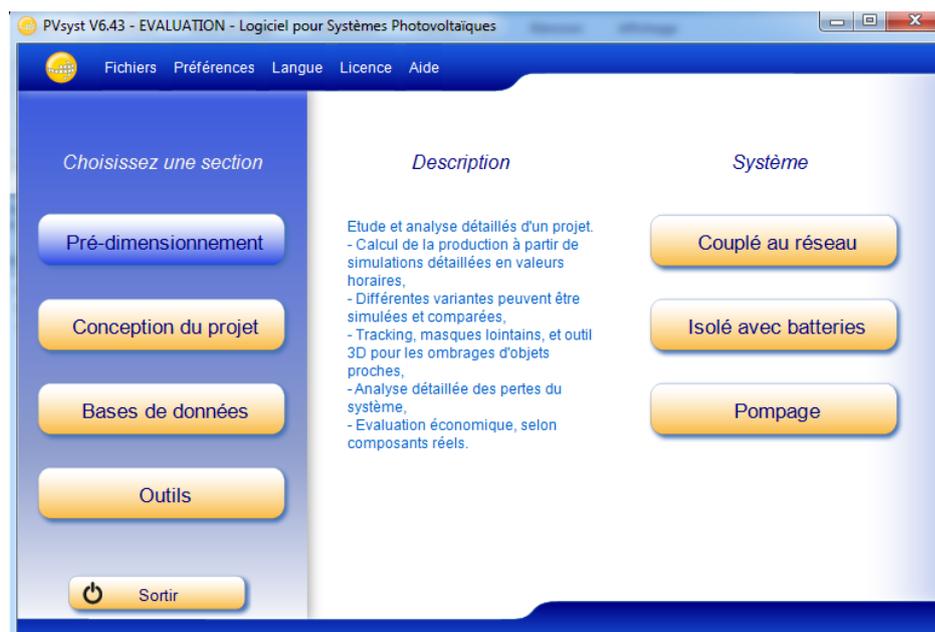
**Figure III.3.** Profil de consommation élaboré de la maison pendant une journée en hiver et une autre en été.

Pour ces deux saisons, la forte demande d'énergie est expliquée par l'utilisation des équipements à forte intensité d'énergie pour le chauffage et la climatisation.

### III.6. Démarches :

#### A. Pré-dimensionnement :

**Étape 1 :** Lancement du logiciel en cliquant sur l'icône pré-dimensionnement et choisissons le système isolé avec batteries.



**Figure III.4.** Etape 1 de pré-dimensionnement.

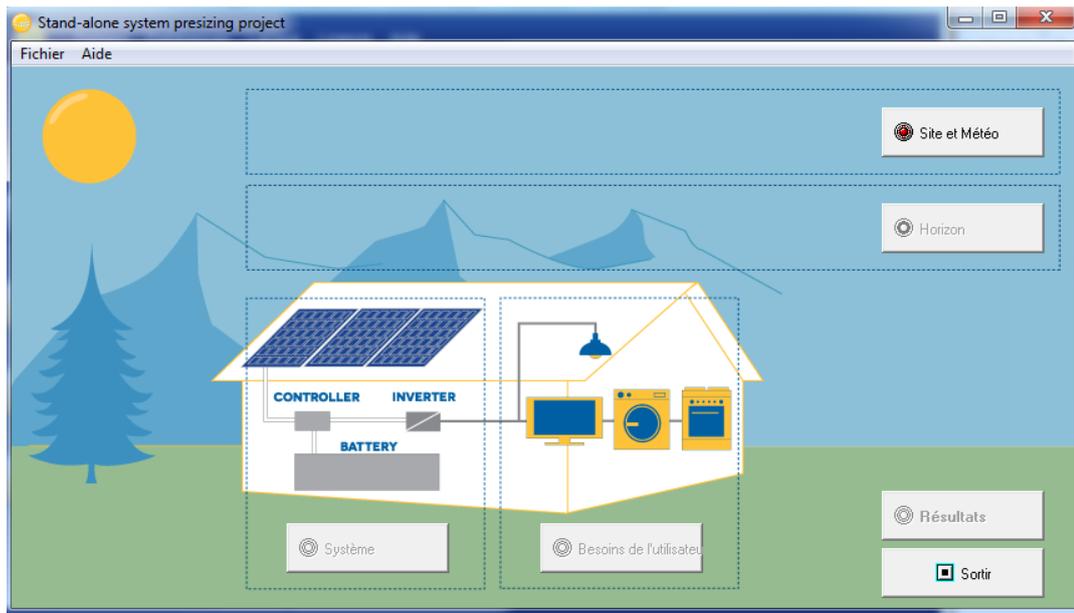


Figure III.5. Etape 1 de pré-dimensionnement.

**Etape 2 :** Complétez les données géographiques et les caractéristique climatiques du site de CHERCHELL (Source des données métrologique de site : logiciel metonorm7).

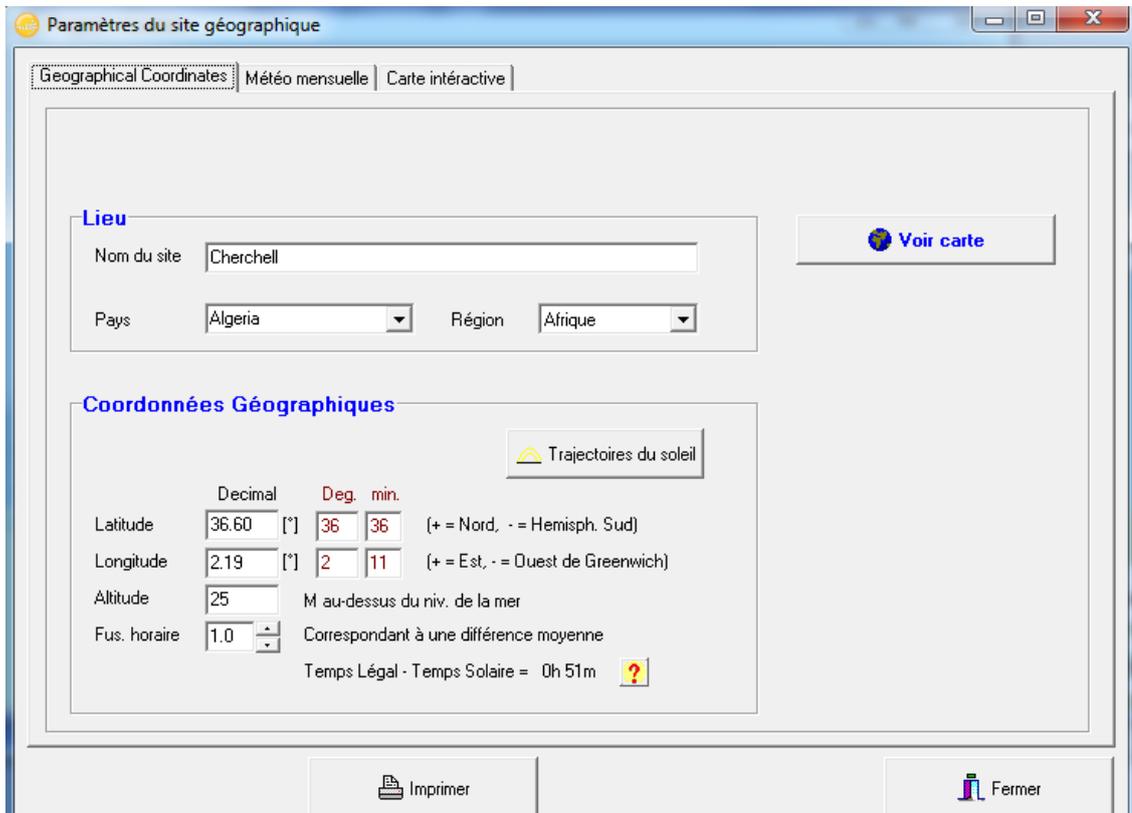


Figure III.6. Etape 2 de pré-dimensionnement.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

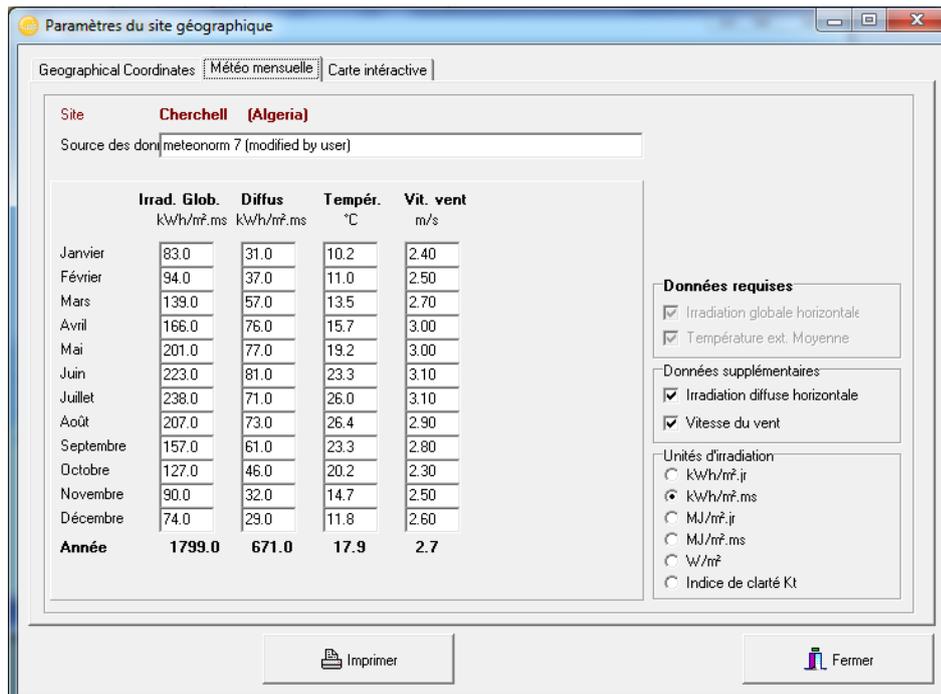


Figure III.7. Etape 2 de pré-dimensionnement.

**Etape 3 :** nous cliquons sur l'icône Besoins de l'utilisateur, Complétons les données des récepteurs selon nos besoins énergétiques et définir les heures de distributions des appareils. Nous choisissons le dimensionnement annuel selon les besoins d'été car c'est la plus grande consommation pendant toute l'année.

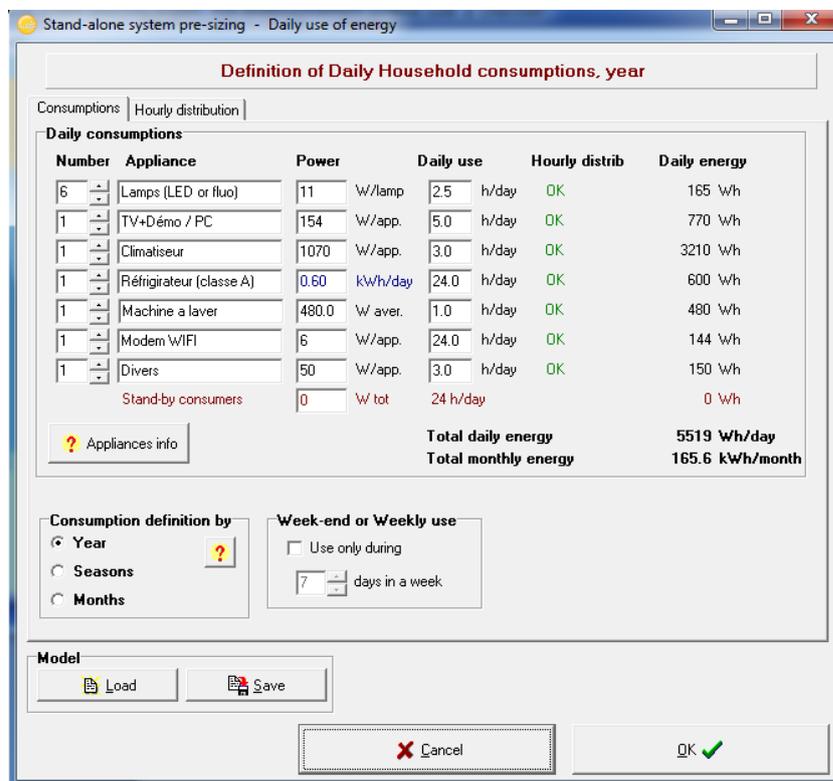
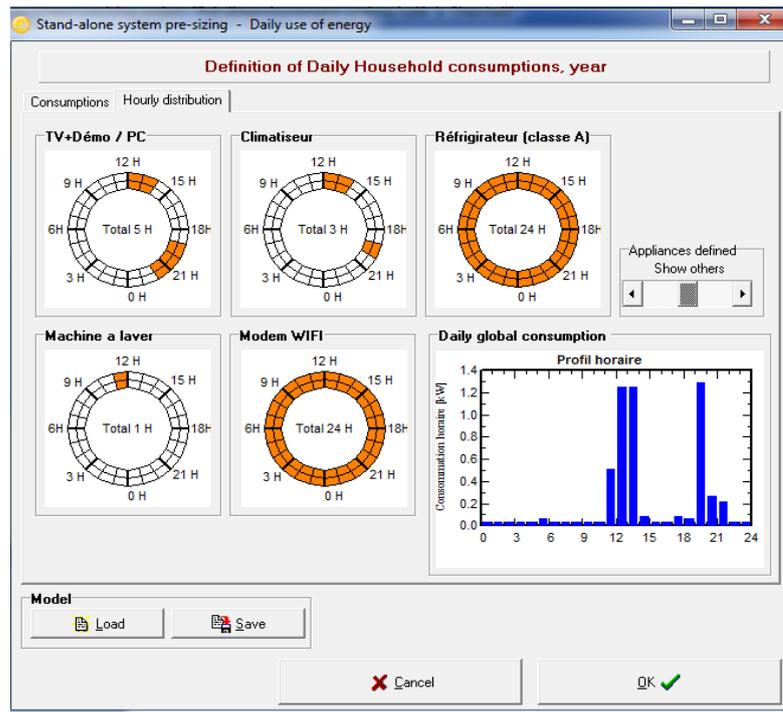


Figure III.8. Etape 3 de pré-dimensionnement.

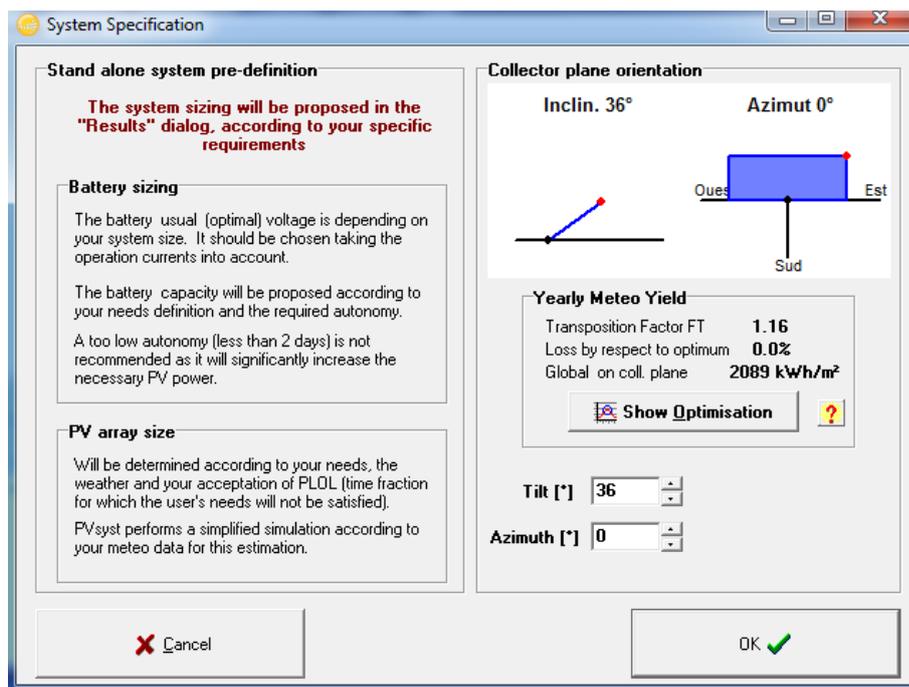


**Figure III.9.** Etape 3 de pré-dimensionnement.

**Etape 4:** On clique sur l'icône système, pour composer l'inclinaison du plan.

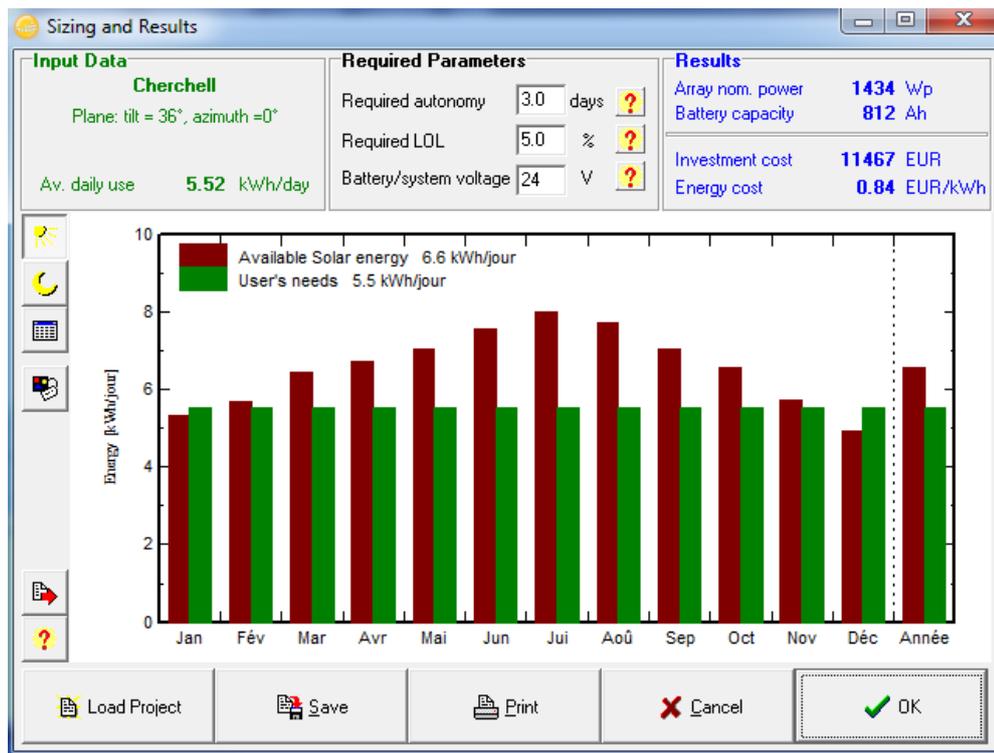
Nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison  $36^\circ$  (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la **figure III.10**,  $36^\circ$  c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

En choisissons l'azimut  $0^\circ$  (plein sud)



**Figure III.10.** Etape 4 de pré-dimensionnement.

**Etape 5 :** On clique sur l'icône résultats.



**Figure III.11.** Etape 5 de pré-dimensionnement.

- **Observation :**

Nous constatons selon le diagramme (Fig.III.11), qu'en mois de décembre et janvier l'éclairage ne suffit pas pour couvrir les besoins de l'utilisateur donc nous allons dimensionner notre installation par rapport au mois le plus défavorable, c'est-à-dire le mois de décembre et palier à ce problème en augmentant notre puissance crête (puissance de générateur PV). Nous choisissons 3 jours pour le nombre d'autonomie où les régions de côtière en Algérie sont généralement ensoleillées.

# Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

## B.1. Dimensionnement :

**Etape 1** : en choisissant l'icône conception du projet et choisissons le système isolé avec batteries.

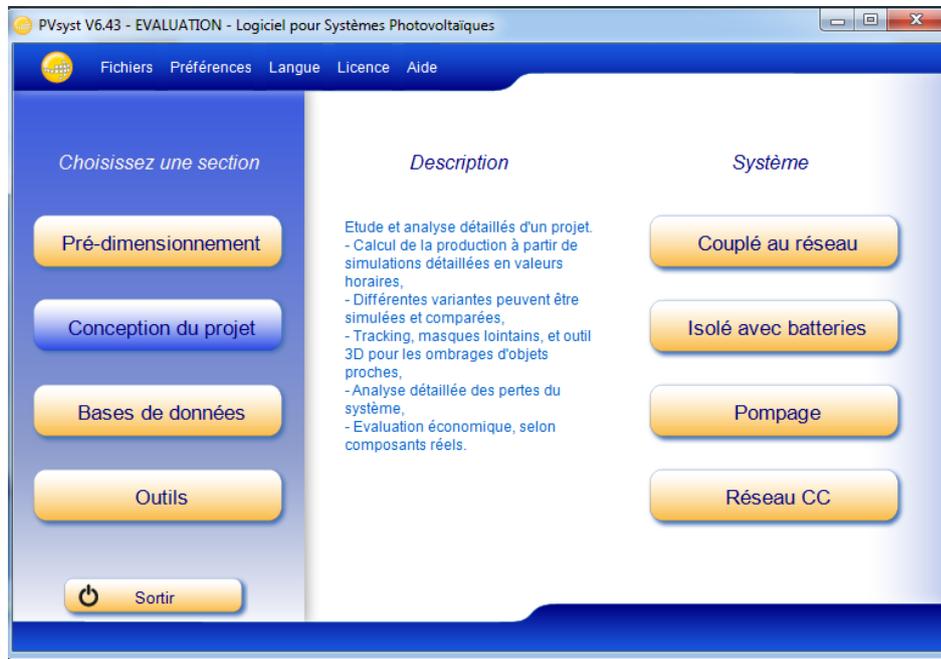


Figure III.12. Etape 1 de dimensionnement.

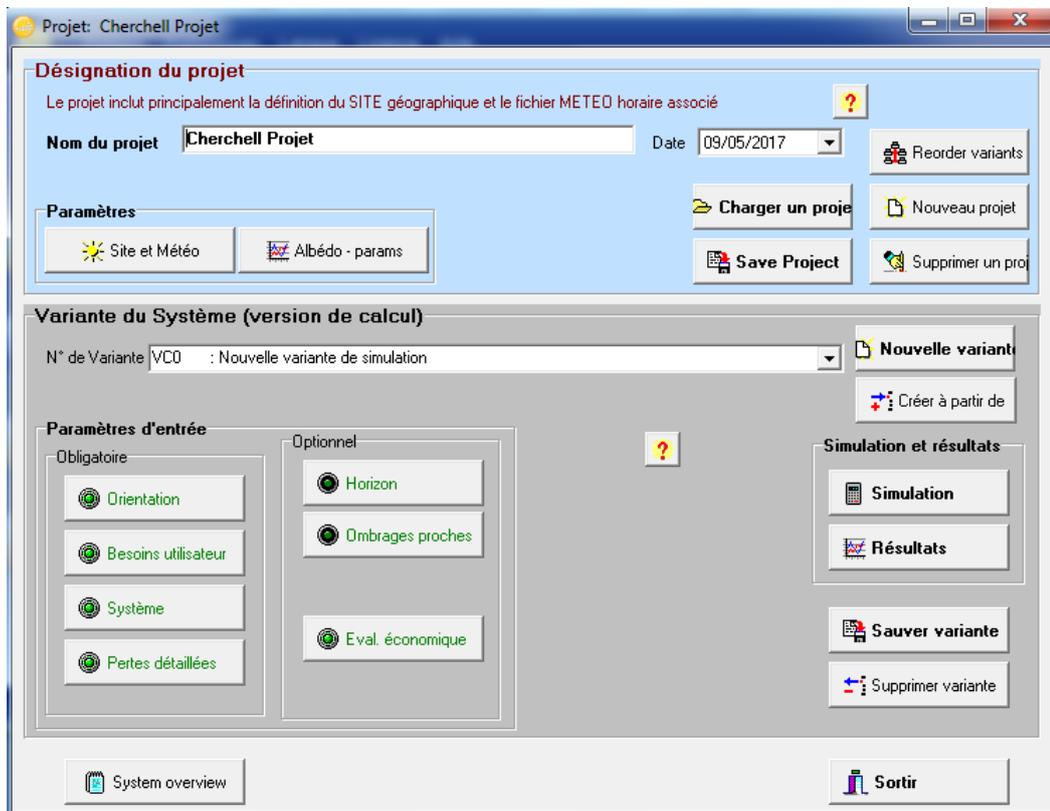
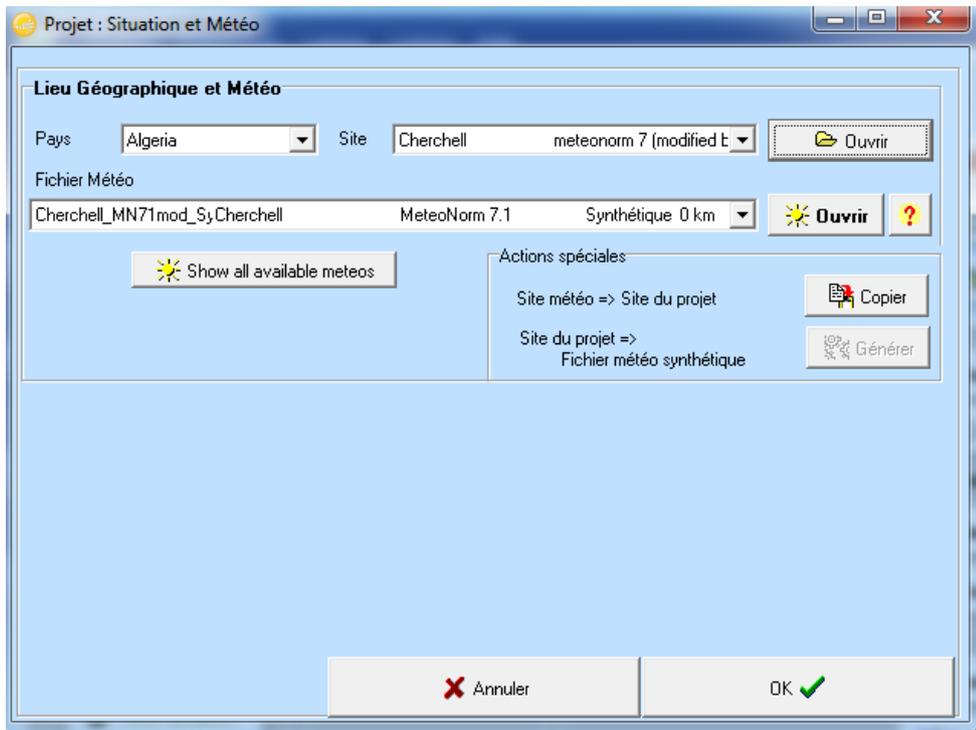


Figure III.13. Etape 1 de dimensionnement.

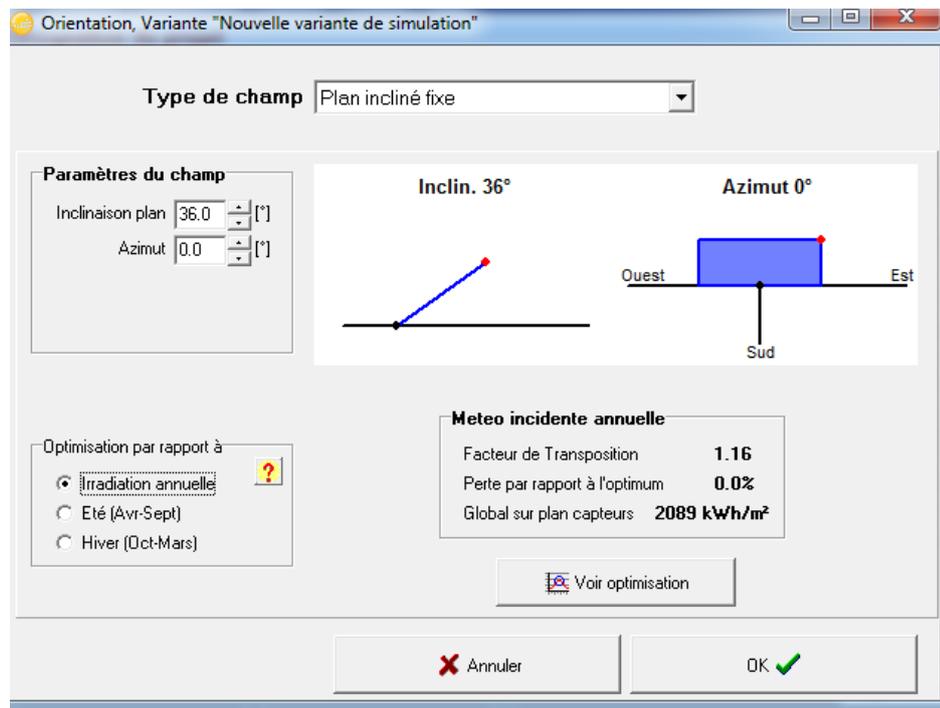
## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

**Etape 2 :** en choisissons le site concerné qui nous avons l'enregistré précédemment.



**Figure III.14.** Etape 2 de dimensionnement.

**Etape 3 :** On clique sur l'icône Orientation, pour composer l'inclinaison du plan.



**Figure III.15.** Etape 3 de dimensionnement.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

**Etape 4** : nous cliquons sur l'icône Besoins de l'utilisateur pour définir nos besoins énergétiques.

**Definition of Daily Household consumptions, year**

Consumptions | Hourly distribution

**Daily consumptions**

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
6	Lamps (LED or fluo)	11 W/lamp	2.5 h/day	OK	165 Wh
1	TV+D�mo / PC	154 W/app.	5.0 h/day	OK	770 Wh
1	Climatiseur	1070 W/app.	3.0 h/day	OK	3210 Wh
1	Réfrigérateur (classe A)	0.60 kWh/day	24.0 h/day	OK	600 Wh
1	Machine a laver	480.0 W aver.	1.0 h/day	OK	480 Wh
1	Modem WIFI	6 W/app.	24.0 h/day	OK	144 Wh
1	Divers	50 W/app.	3.0 h/day	OK	150 Wh
Stand-by consumers		0 W tot	24 h/day		0 Wh
<b>Total daily energy</b>					<b>5519 Wh/day</b>
<b>Total monthly energy</b>					<b>165.6 kWh/month</b>

Appliances info

**Consumption definition by**

Year  Seasons  Months

**Week-end or Weekly use**

Use only during

7 days in a week

**Model**

Load Save

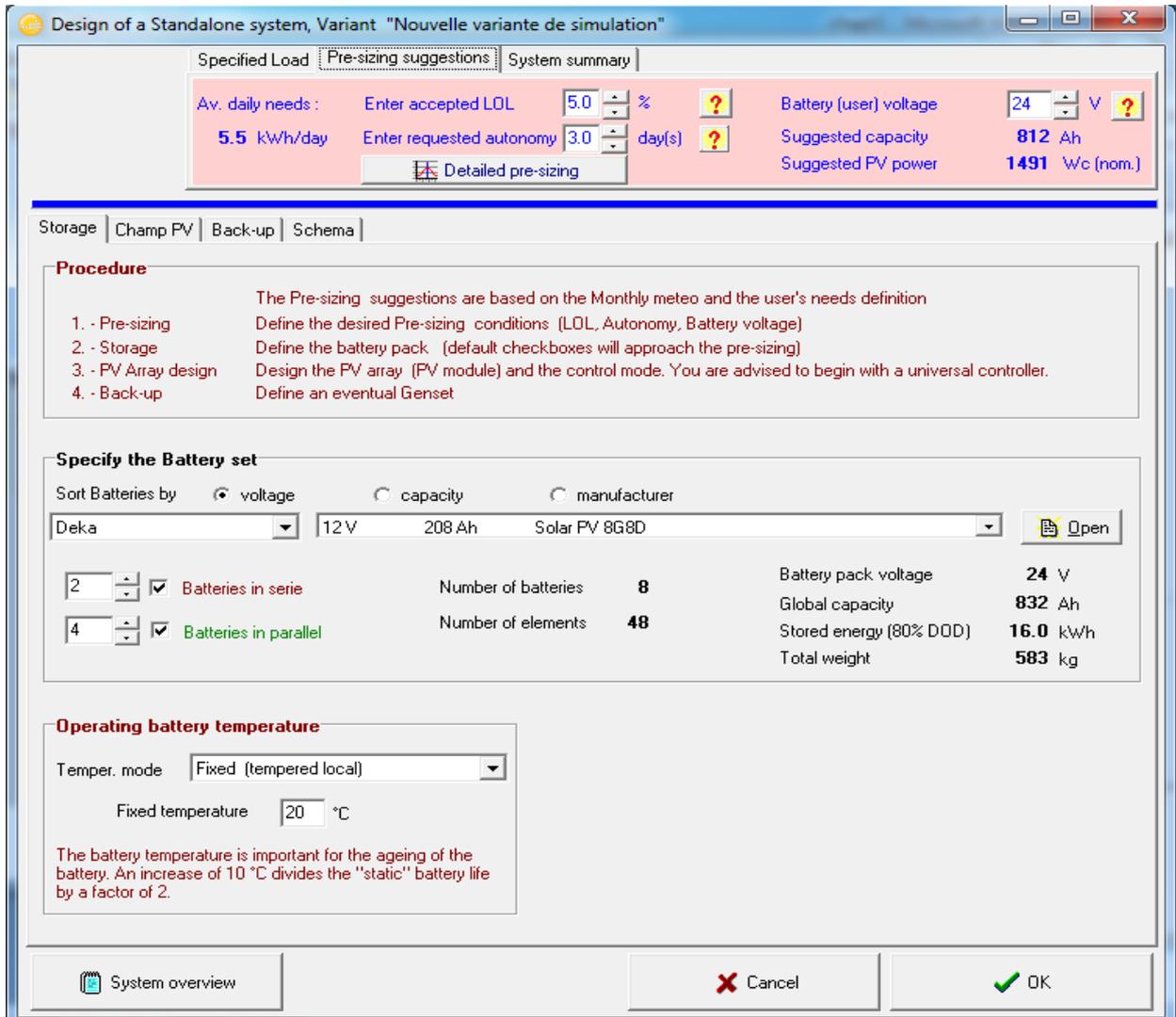
Other profile Cancel OK

**Figure III.16.** Etape 4 de dimensionnement.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

**Etape 5** : en cliquons sur l'icône Système pour choisir la batterie selon la capacité.

Nous choisissons des batteries de capacité de 208 Ah pour minimiser le nombre des batteries.



**Figure III.17.** Etape 5 de dimensionnement.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

**Etape 6 :** nous choisissons dans la base de données interne le panneau selon la puissance crête et le type de convertisseur/régulateur mppt selon la puissance des charges.

Design of a Standalone system, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Specified Load | Pre-sizing suggestions | System summary

Av. daily needs : 5.5 kWh/day  
Enter accepted LOL: 5.0 %  
Enter requested autonomy: 3.0 day(s)

Battery (user) voltage: 24 V  
Suggested capacity: 812 Ah  
Suggested PV power: 1491 Wc (nom.)

Storage | Champ PV | Back-up | Schema

Sub-array name and Orientation  
Name: Champ PV  
Orient: Plan incliné fixe  
Tilt: 36°  
Azimut: 0°

Presizing help  
 No Sizing  
Enter planned power: 1.5 kWp  
... or available area: 12 m²

Select the PV module  
Tous les modules | Sort modules by:  power  technology  
BP Solar | 160 Wp 30V | Si-poly | BP 5160 | Until 2004 | Photon Maq. 200: | Open

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 30.4 V  
Voc (-10°C) 48.9 V

Select the control mode and the controller  
 Universal controller | MPPT power converter  
Generic  
Operating mode:  
 Direct coupling  
 MPPT converter  
 DC-DC converter  
Max. Charging - Discharging current  
MPPT | 24 V | 55 A | 10 A | Universal controller with MPPT convi | Open

The operating parameters of the generic default controller will be adjusted according to the properties of then system.

PV Array design  
Number of modules and strings  
Mod. in serie: 1 (should be : )  
Nb. strings: 11 (No constraint checked, Between 8 and 10 unchecked)  
Nb modules: 11 | Area: 14 m²

Operating conditions :  
Vmpp (60°C) 30 V  
Vmpp (20°C) 36 V  
Voc (-10°C) 49 V  
Plane irradiance 1000 W/m²  
Impp (STC) 49.5 A  
Isc (STC) 53.5 A  
Isc (at STC) 52.8 A  
Max. operating power à 1000 W/m² et 50°C: 1.6 kW  
Array's nom. power (STC): 1.8 kW

System overview | Cancel | OK

Figure III.18. Etape 6 de dimensionnement.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

**Etape 7 :** en cliquant sur l'icône Pertes détaillées est choisi Semi-intégré avec lame d'air selon le montage (montage sur la toiture incliné).

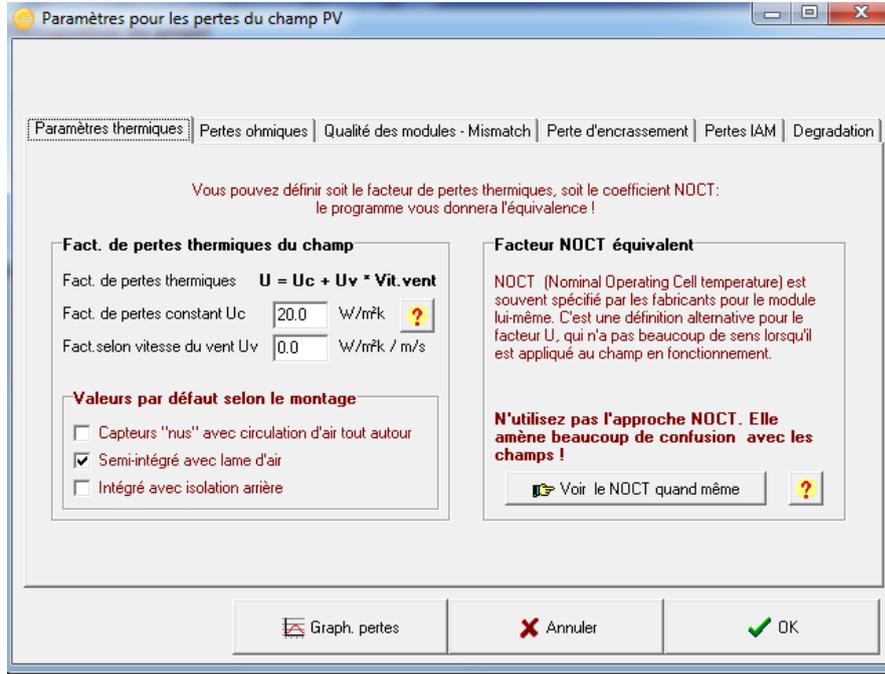


Figure III.19. Etape 7 de dimensionnement.

**Etape 8 :** en cliquant sur l'icône Ombrages proches et supposera qu'il y a aucun ombrage.

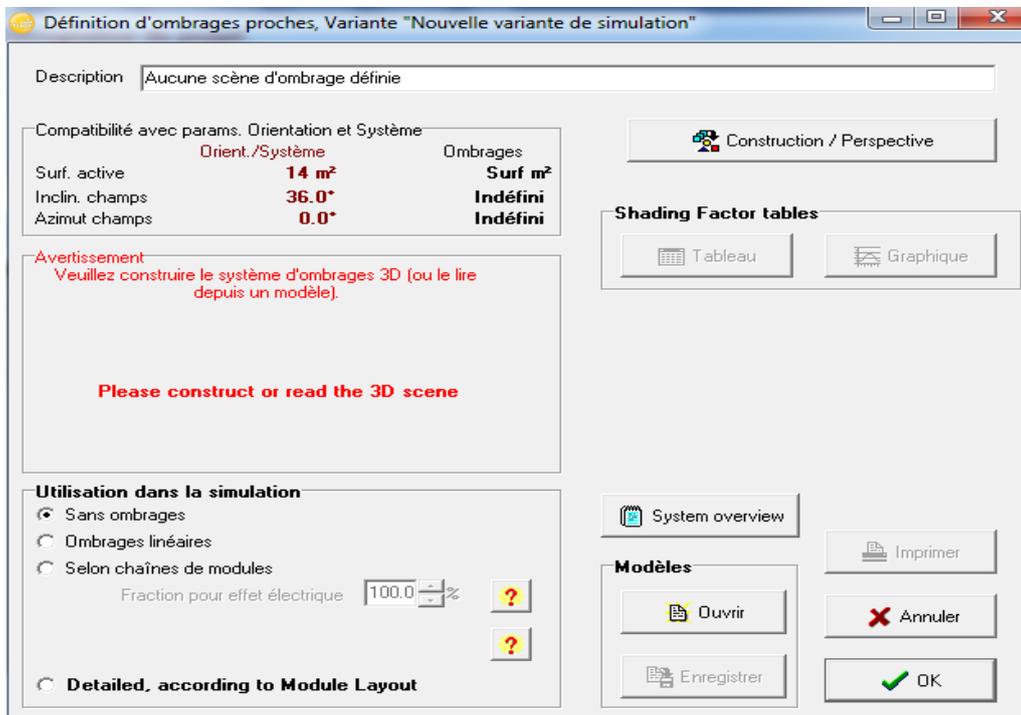
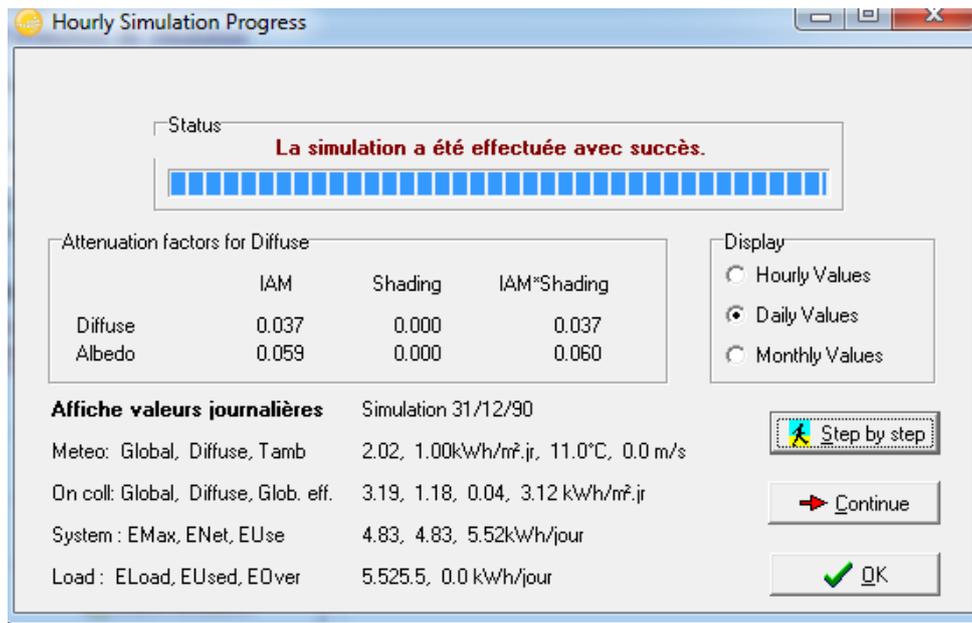


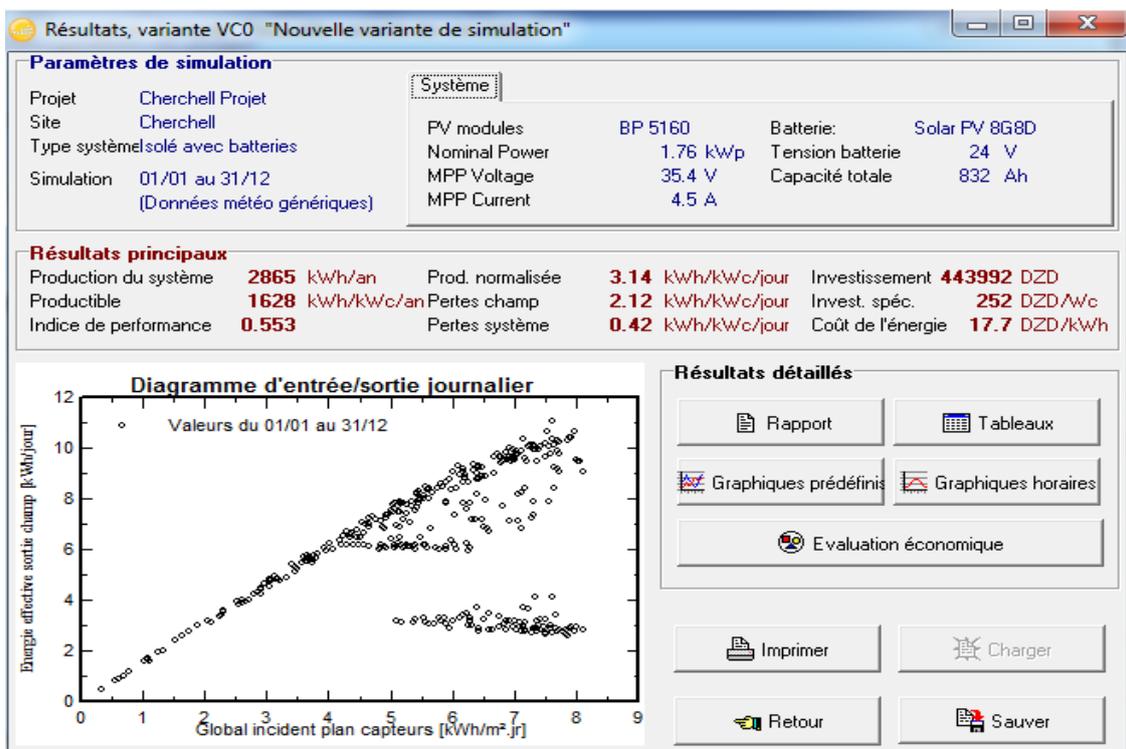
Figure III.20. Etape 8 de dimensionnement.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

**Etape 9 :** On clique sur l'icône Simulation pour simulé et affiché les résultats.



**Figure III.21.** Etape 9 de dimensionnement.



**Figure III.22.** Etape 9 de dimensionnement.

**Etape 10 :** On clique sur l'icône Evaluation économique pour faire une estimation de coût du projet.

The screenshot shows the 'Evaluation économique' window with the following data:

Projet et Variante de simulation			
Projet:	Cherchell Projet		
Simulation:	Nouvelle variante de simulation		
Champ PV, Pnom =	1.8 kWc	Système:	Système isolé avec batteries
Module PV:	BP 5160		

Investissement			
Modules PV	11 unités de 160 Wc	176000	DZD
Supports et intégration		12000	DZD
Batteries	8 de 12 V/ 208 Ah	158080	DZD
Contrôleur		35000	DZD
Construction, câblage, ...		5000	DZD
Autres, divers...	<input type="button" value="Détails"/>	0	DZD
Moins-value substitution		0	DZD
<b>Investissement brut, (hors taxe)</b>		<b>386080</b>	<b>DZD</b>

Financement			
Taxes	15.00 %	57912	DZD
Subventions		0	DZD
<b>Investissement net</b>		<b>443992</b>	<b>DZD</b>
Annuités		35627	DZD / an
Coût d'exploitation	<input type="button" value="Détails"/>	0	DZD / an
<b>Coût annuel total</b>		<b>35627</b>	<b>DZD / an</b>

Emprunt		Monnaie	
Durée	20 Ans	Algeria	
Taux	5.0 %	<input type="button" value="Cours"/>	
Facteur ann. 8.02 %cap/an			

Coût de l'énergie	
Energie solaire utilisée	2014 kWh / an
Energie en excès	678 kWh / an
Coût annuel	35627 DZD / an
Coût de l'énergie utilisée	17.7 DZD / kWh

Buttons:

**Figure III.23.** Etape 10 de dimensionnement.

### B.2. Résultat de simulation et discussion:

Un rapport complet avec tous les paramètres impliqués et les résultats principaux, est conçu pour être directement à l'utilisateur.

#### B.2.1. Paramètre de simulation :

On doit utilisée 11 modules de modèle BP Solar 5160 de puissance unitaire 160 Wc pour répondre aux besoins d'utilisateur (Les 11 panneaux sont tous en parallèles), La surface de toiture est suffisante pour installer des panneaux photovoltaïques où l'espace requis est de 14m<sup>2</sup>.

On utilise 8 batteries de modèle Solar PV 8G8D de capacité 208 Ah/12 V, deux batteries mis en série multiplier par quatre en parallèle où la tension des batteries est de 12V et notre système marche en 24 V, et un régulateur/convertisseur mppt (Universal controller with MPPT converter) où : Ureg=24V, Imax charge=55 A et le Imax décharge= 10 A.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

La figure au-dessous représente la première page de rapport du simulation (Paramètre de simulation).

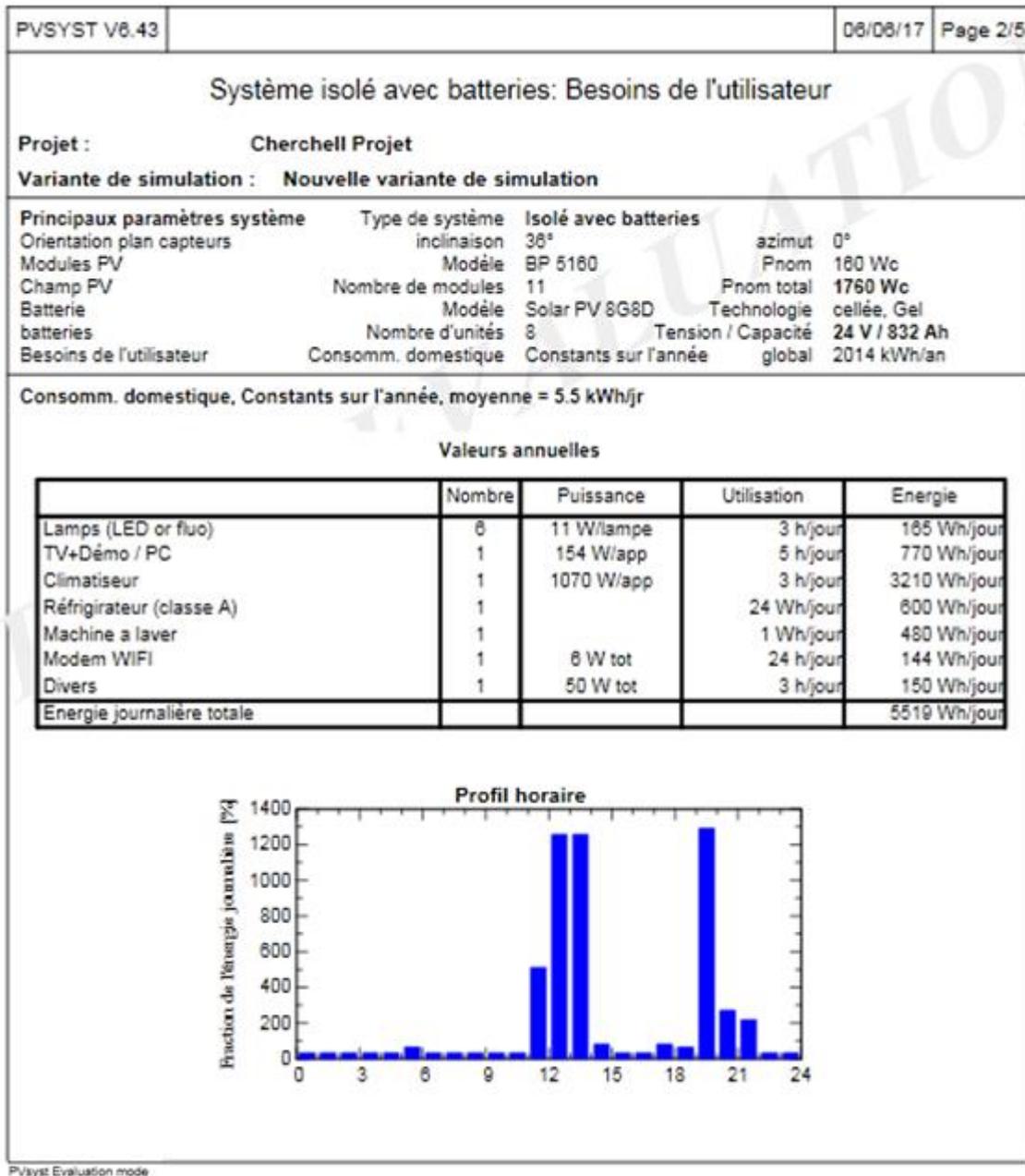
PVSYST V6.43		06/06/17		Page 1/5	
<b>Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation</b>					
<b>Projet : Cherchell Projet</b>					
<b>Site géographique</b>					
<b>Situation</b>		Latitude	36.6°N	Longitude	2.2°E
Temps défini comme		Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	25 m
		Albédo	0.20		
<b>Données météo:</b>		Cherchell	MeteoNorm 7.1 - Synthétique		
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>					
		Date de la simulation	06/06/17 à 00h59		
<b>Paramètres de simulation</b>					
<b>Orientation plan capteurs</b>		Inclinaison	36°	Azimut	0°
<b>Modèles utilisés</b>		Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteororm
<b>Caractéristiques du champ de capteurs</b>					
<b>Module PV</b>		Si-poly	Modèle BP 5160		
<small>Original PVsyst database</small>			Fabricant BP Solar		
Nombre de modules PV		En série	1 modules	En parallèle	11 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	11	Puissance unitaire	160 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	1760 Wc	Aux cond. de fonct.	1575 Wc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	32 V	I mpp	49 A
Surface totale		Surface modules	13.6 m²		
<b>Facteurs de perte du champ PV</b>					
Fact. de pertes thermiques		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage		Rés. globale champ	11 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte diode série		Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	2.0 % aux STC
Perte de qualité module				Frac. pertes	2.5 %
Perte de "mismatch" modules				Frac. pertes	1.0 % au MPP
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05
<b>Paramètres du système</b>					
<b>Batterie</b>		Type de système	Système isolé avec batteries		
		Modèle	Solar PV 8G8D		
		Fabricant	Deka		
Caractéristiques du banc de batteries		Tension	24 V	Capacité nominale	832 Ah
		Nombre d'unités	2 en série x 4 en parallèle		
		Température	Fixée (20°C)		
<b>Controller</b>					
		Modèle	Universal controller with MPPT converter		
Convertisseur		Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp.	-5.0 mV/°C/elem.
		Efficacité maxi et EURO	97.0/95.0 %		
Battery management control		Threshold commands as	SOC calculation		
		Charge	SOC = 0.90/0.75	i.e. approx.	29.8/24.8 V
		Décharge	SOC = 0.20/0.45	i.e. approx.	22.8/24.1 V
<b>Besoins de l'utilisateur :</b>					
		Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 5.5 kWh/Jour		

PVsyst Evaluation mode

Figure III.24. Paramètres de simulation.

### B.2.2. Besoins de l'utilisateur :

La figure au-dessous représente la 2eme page de rapport du simulation (Besoins de l'utilisateur), où elle donne un bilan énergétique journalier.



**Figure III.25.** Besoins de l'utilisateur.

# Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

## B.2.3. Résultats principaux :

La simulation calcule la distribution d'énergies tout au long de l'année.

La figure III.26 représente la 3eme page de rapport de simulation (Résultats principaux).

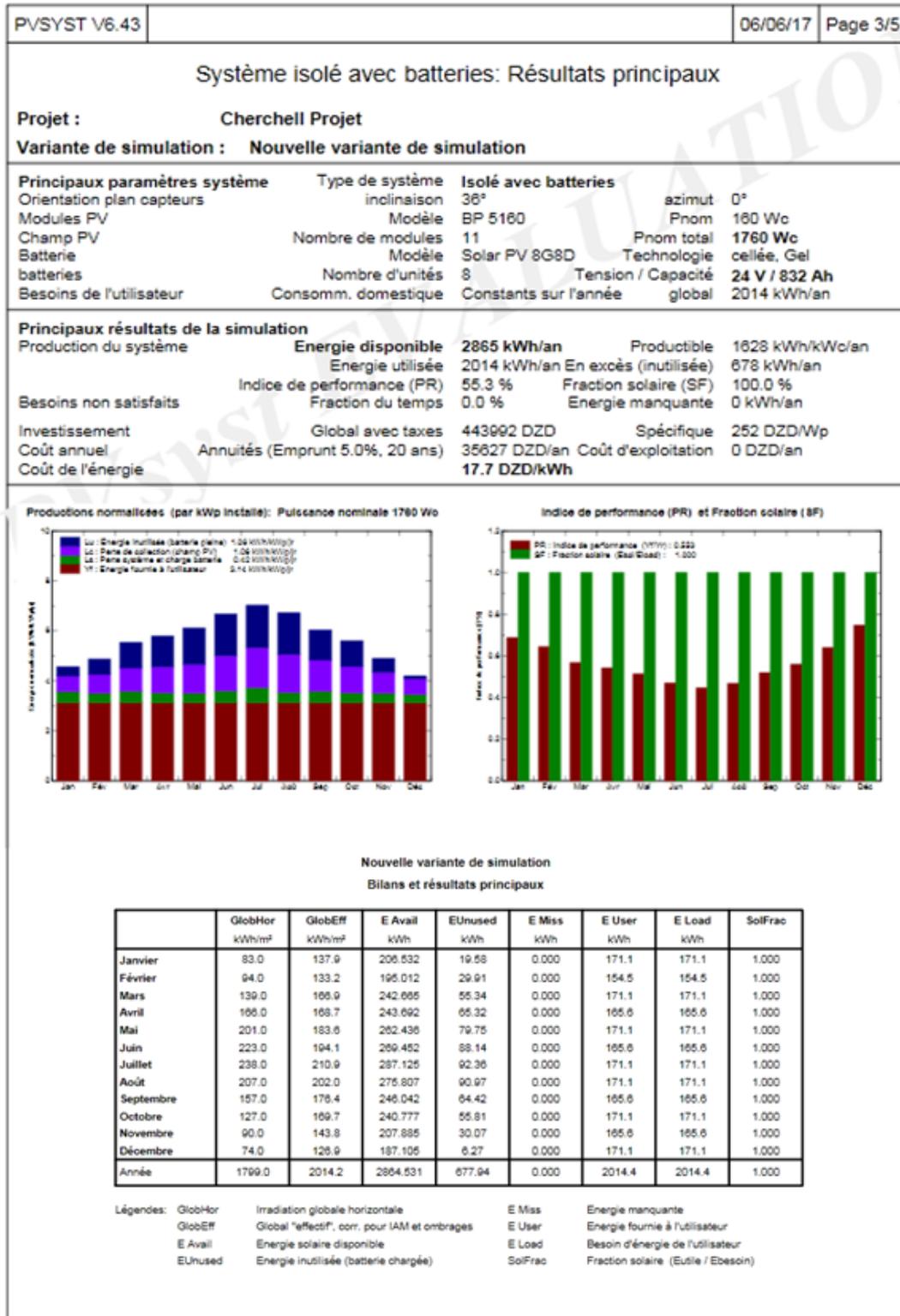


Figure III.26. Les Résultats principaux.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

D'après les résultats de **tableau III.4** (Figure III.26), on voit bien que l'énergie produite par le champ photovoltaïque ( $E_{user} = E_{utile}$ ) est proportionnelle aux valeurs d'énergie nécessaire pour répondre aux besoins de l'utilisateur pendant toute l'année ( $E_{load} = E_{besoins}$ ), tel que le fraction solaire est défini par le rapport :  $SF = E_{utile} / E_{besoin}$ .

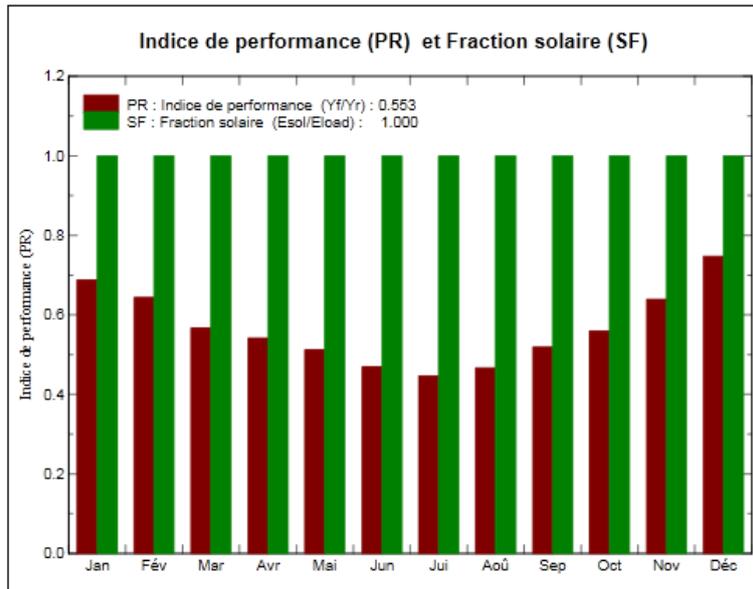
Nouvelle variante de simulation								
Bilans et résultats principaux								
	GlobHor	GlobEff	E Avail	EUnused	E Miss	E User	E Load	SolFrac
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janvier	83.0	137.9	206.532	19.58	0.000	171.1	171.1	1.000
Février	94.0	133.2	195.012	29.91	0.000	154.5	154.5	1.000
Mars	139.0	166.9	242.665	55.34	0.000	171.1	171.1	1.000
Avril	166.0	168.7	243.692	65.32	0.000	165.6	165.6	1.000
Mai	201.0	183.6	262.436	79.75	0.000	171.1	171.1	1.000
Juin	223.0	194.1	269.452	88.14	0.000	165.6	165.6	1.000
Juillet	238.0	210.9	287.125	92.36	0.000	171.1	171.1	1.000
Août	207.0	202.0	275.807	90.97	0.000	171.1	171.1	1.000
Septembre	157.0	176.4	246.042	64.42	0.000	165.6	165.6	1.000
Octobre	127.0	169.7	240.777	55.81	0.000	171.1	171.1	1.000
Novembre	90.0	143.8	207.885	30.07	0.000	165.6	165.6	1.000
Décembre	74.0	126.9	187.105	6.27	0.000	171.1	171.1	1.000
Année	1799.0	2014.2	2864.531	677.94	0.000	2014.4	2014.4	1.000

Légendes:	GlobHor	Irradiation globale horizontale	E Miss	Energie manquante
	GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	E User	Energie fournie à l'utilisateur
	E Avail	Energie solaire disponible	E Load	Besoin d'énergie de l'utilisateur
	EUnused	Energie inutilisée (batterie chargée)	SolFrac	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

**Tableau III.4.** Principaux résultats de simulation.

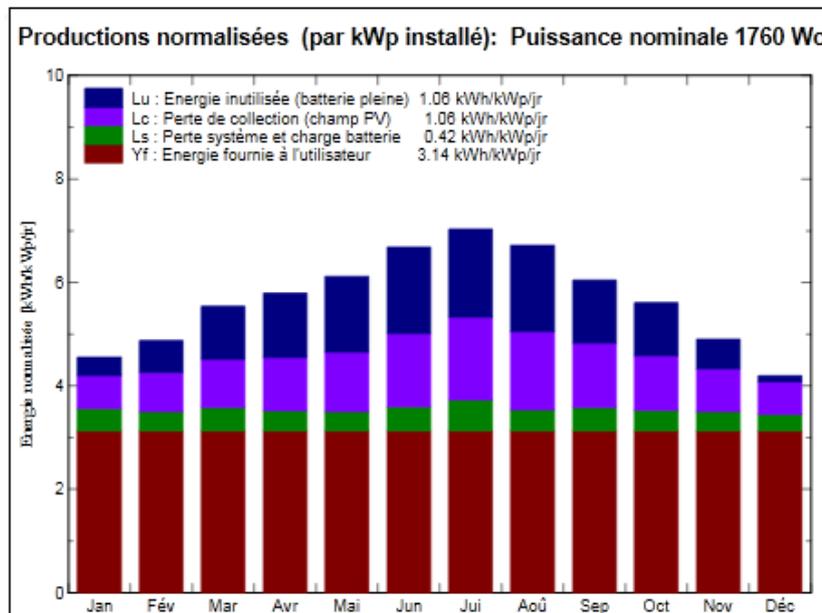
Le diagramme de la **figure III.27** de la 3eme page de rapport de simulation, représente l'indice de performance qui est défini par le rapport de la production de système ( $Y_f$ ) par énergie incidente de référence ( $Y_r$ ) tel que :  $PR = Y_f / Y_r$ , et l'indice de fraction solaire SF. Autrement dit, il représente l'efficacité globale du système par rapport à ce qu'on pourrait en attendre selon la puissance installé.



**Figure III.27.** Indice de performance et la fraction solaire de l'installation PV.

On remarque que l'indice de performance est grand au période hivernal que la periode estival par ce que l'énergie solaire incidente en été est plus grande que l'hiver.

La production du système est représentée sur la **figure III.28** (3eme page de rapport). Les pertes Lc et Ls sont les pertes correspondantes au champ PV et dues le système et charge batterie, respectivement.



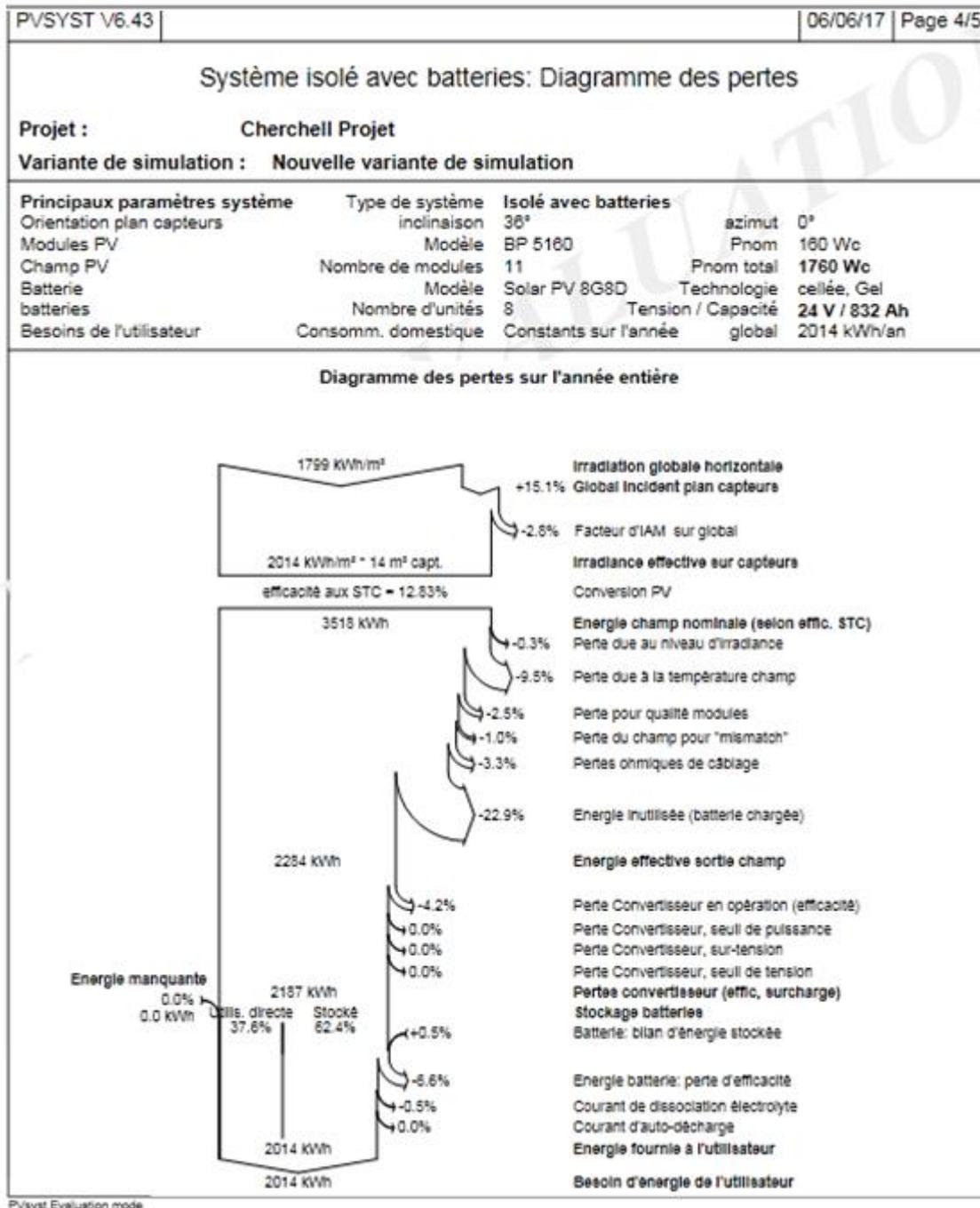
**Figure III.28.** Energie utile produite par l'installation PV.

On remarque que les pertes au champ (Lc) est très grandes au période d'été que la période d'hiver à cause de l'influence de température sur le champ photovoltaïque.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

### B.2.4. Diagramme des pertes :

La figure au-dessous représente la 4eme page de rapport de simulation (Diagramme des pertes).



**Figure III.29.** Diagramme des pertes.

Le diagramme des pertes montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade.

## Chapitre III : Dimensionnement a l'aide du PVSYST

Ce diagramme résume les pertes influençant la production de système photovoltaïque à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effets d'incidence, pertes due à la température de champ, pertes dues à la qualité des modules, ...ect.

### B.2.5. Evaluation économique :

La figure au-dessous représente la 5eme page de rapport de simulation (Diagramme des pertes), tel que le montant nécessaire pour cette installation environ de 44 million et 4000 DA.

PVSYST V6.43	06/06/17	Page 5/5
<b>Système isolé avec batteries: Evaluation économique</b>		
<b>Projet : Cherchell Projet</b>		
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>		
<b>Principaux paramètres système</b>	<b>Type de système</b>	<b>Isolé avec batteries</b>
Orientation plan capteurs	inclinaison	36° azimuth 0°
Modules PV	Modèle	BP 5160 Pnom 160 Wc
Champ PV	Nombre de modules	11 Pnom total 1760 Wc
Batterie	Modèle	Solar PV 8G8D Technologie cellée, Gel
Batteries	Nombre d'unités	8 Tension / Capacité 24 V / 832 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année global 2014 kWh/an
<b>Investissement</b>		
Modules PV (Pnom = 160 Wc)	11 unités	16000 DZD / unité 176000 DZD
Supports et intégration		1091 DZD / module 12000 DZD
Batteries (12 V / 208 Ah)	8 unités	19760 DZD / unité 158080 DZD
régulateur / convertisseur		35000 DZD
Construction, câblage, ...		5000 DZD
Moins-value substitution		0 DZD
<b>Investissement brut (sans taxes)</b>		<b>386080 DZD</b>
<b>Financement</b>		
Investissement brut (sans taxes)		386080 DZD
Taxes sur l'investissement (TVA)	Taux 15.0 %	57912 DZD
Investissement brut (TTC)		443992 DZD
Subventions		0 DZD
<b>Investissement net (TTC)</b>		<b>443992 DZD</b>
Annuités	( Emprunt 5.0 % sur 20 ans)	35627 DZD/an
Entretien		0 DZD/an
assurance, taxes annuelles		0 DZD/an
Provision remplacement batteries	(durée de vie 100.0 ans)	0 DZD/an
<b>Coût annuel total</b>		<b>35627 DZD/an</b>
<b>Coût de l'énergie</b>		
Energie solaire utilisée		2014 kWh / an
Energie en excès (batterie pleine)		678 kWh / an
Coût de l'énergie utilisée		17.7 DZD / kWh

Pvsyst Evaluation mode

**Figure III.30.** Evaluation économique.

### **III.7. Conclusion :**

Le dimensionnement de l'installation photovoltaïque est la recherche de l'équilibre entre la satisfaction de la demande énergétique exprimée et la puissance à installer.

A partir des asservissements présentés par les fournisseurs des composants photovoltaïques, nous avons sélectionné les composants adaptés à notre dimensionnement.

D'autres configurations d'installations seraient possibles avec d'autres modules, batteries et contrôleur.

Le logiciel PVsyst est très fiable pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

# **Conclusion générale**

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Un système photovoltaïque (PV) autonome est un système générateur d'électricité destiné à effectuer une tâche bien déterminée. Autrement dit à couvrir les besoins énergétiques des maisons isolées. Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires, les batteries qui constituent le champ de stockage, là où nous stockons de l'énergie produite par les modules, le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge et la décharge profonde, l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif dont les utilisateurs ont besoin et le câblage qui relie ces différents composants entre eux.

Notre travail a consisté à dimensionner une installation photovoltaïque autonome, nous avons choisi le logiciel PVSYST comme outil de dimensionnement afin d'alimenter une maison indépendante en électricité issue de l'énergie solaire photovoltaïque, cette maison est située à CHERCHELL, en tenant compte de sa consommation que nous avons estimée à partir des appareils électriques qui s'y trouvent, l'énergie produite dépend directement des fluctuations permanentes des conditions météorologiques du site de CHERCHELL et de la charge imposée par l'utilisateur.

Finalement nous pouvons conclure, que les systèmes photovoltaïques autonomes peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution économique pour couvrir les besoins de base en électricité. Puisque près d'un tiers de la population mondiale vit sans accès à l'électricité principalement dans les pays en voie de développement, la majorité de cette population ne sera jamais reliée à un réseau national pour des questions de rentabilité liées à l'éloignement, à la faible densité de population et à la pauvreté ou au manque de besoin, ces systèmes représentent une alternative pour ces populations.

## Références bibliographiques

- [1] Compte rendu de TP Energie Solaire, Master Energétique et Environnement, Master Science de l'Ingénieur, Université Pierre et Marie Curie.
- [2] **MECHALIKH Med Nadjib** et **HAMADA Charaf Eddine**, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau, Université Kasdi Merbah – OUARGLA, 2013.
- [3] **MAZARI Hichem**, Mise au point d'un dispositif autonome de poursuite du soleil, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN-MOHAMED BOUDIAF, 2012.
- [4] **NAKOUL Zakia**, Optimisation d'une centrale solaire a base d'un générateur PV, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2010.
- [5] **MATALLAH Sorya**, Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla, Université Kasdi Merbah – OUARGLA, 2015.
- [6] **Touil Nacer Eddine** et **Ghenbazi Slimane**, Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued, 2015.
- [7] **GUANOUNE WALID**, Simulation des performances des cellules solaires à base de matériaux organiques, UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI DE CONSTANTINE, 2015.
- [8] **Salaheddine MANSOUR**, Etude de Dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé, Universitie Abou Bekr Belkaid, 2014.
- [9] Mme. **SOUILAMAS Nesrine**, cours rayonnement solaire et conversion PV, IFEG/Ecole Technique de Blida.
- [10] **H. Belmili et all**, Optimisation de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes - Exemples d'applications, éclairage et pompage au fil du soleil, Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse (2008) 27 – 39.
- [11] **Smaïl SEMAOUI**, Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque, UNIVERSITE DE OUARGLA, 2004.
- [12] **Derouiche Romaiassa** et **Ayas fatma Zohra**, Dimensionnement d'un système autonome PV d'un site isolé au sud d'Algérie, UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA, 2015.

- [13] **Conrad H.S. YOTTO**, Etude et conception d'une mini-centrale photovoltaïque pour l'alimentation d'une partie de l'installation électrique de la présidence de la république du Bénin, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2011.
- [14] Guide pour le dimensionnement et la réalisation\_ Installations Photovoltaïques Autonomes Programme d'action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles, Diffusion : Swissolar, Case postale 9, 2013 Colombier (No de commande 724.428 F)
- [15] **Alain Ricaud**, Modules et systèmes photovoltaïques, Sept 2008.
- [16] **M. OULAMI Nassim**, cours Introduction à L'énergie Solaire Photovoltaïque, IFEG/Ecole Technique de Blida, sept 2014.
- [17] **Mr. OULAMI.N**, cours: Les batteries, IFEG/Ecole Technique de Blida.
- [18] **Mme MERAD Souheyla**, Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque d'un lieu peu fréquenté : Cas d'un Cabanon Situé à Marsat Ben M'Hidi(TLEMCEN), Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2010.

# Présentation d'Institut de Formation en Électricité et Gaz (IFEG)

---

L'Institut de Formation en Électricité et Gaz IFEG-Spa, a été créé en 2007 dans le cadre de la filialisation des activités de la Société Nationale de l'Électricité et du Gaz (SONELGAZ). l'IFEG devient ainsi l'instrument de mise en œuvre de la politique du Groupe SONELGAZ en matière d'acquisition, de production, de maintien et de développement des compétences de sa ressource humaine. Par ses activités d'évaluation et de formation, l'IFEG contribue à :

- La pérennisation des métiers de base des sociétés du Groupe Sonelgaz et l'intégration de nouveaux ;
- La professionnalisation des cadres et des managers ;
- La détection et la préparation de la relève ;
- L'adaptation continue de la ressource aux nouvelles techniques, technologies (EnR, ...),...

## **i. Aujourd'hui, l'IFEG c'est :**

Trois Ecoles de formation spécialisées: à Blida et à Ain M'Lila pour la formation dans les métiers techniques (Électricité et Gaz) du Groupe SONELGAZ et Ben-Aknoun (Alger) pour les formations dans les domaines de la gestion et du management.

## **ii. L'Ecole Technique de Blida (ETB) :**



**Figure.1.** L'Ecole Technique de Blida.

L'Ecole Technique de Blida (ETB), d'une superficie de 13 hectares est située au centre de la ville de Blida. Elle dispose d'un cadre d'apprentissage adapté à sa mission grâce à :

- Ses infrastructures et aires d'entraînement pédagogiques équipées d'installations électriques et gazières, conformes à celles de l'exploitation ;
- La disponibilité de conditions de prises en charge complète pour les apprenants ;
- Son accessibilité.

# Présentation d'Institut de Formation en Électricité et Gaz (IFEG)

Créée en 1949 par EGA (électricité et gaz d'Algérie), ETB est aujourd'hui une Ecole de renom. Elle a conservé sa mission première : former dans les métiers de l'électricité et du gaz.

## ii.1. Son organisation :

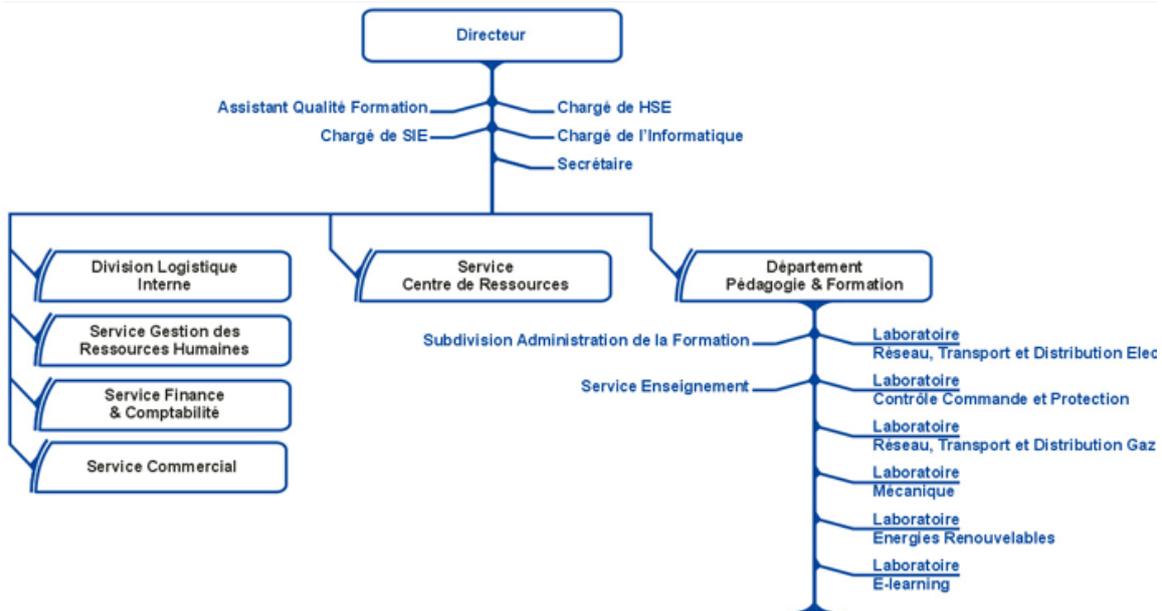


Figure.2. Diagramme de l'école.

## ii.2. Ses domaines de formation

Les principaux domaines couverts par la formation sont :

- La Production de l'électricité ;
- Le Transport et la distribution de l'électricité ;
- Le Transport et la distribution du gaz par canalisation ;
- La Sécurité liée aux métiers de l'électricité et du gaz ;
- Les énergies nouvelles et renouvelables (EnR) à partir de 2011.

## ii.3. Ses infrastructures et moyens pédagogiques :



Figure.3. Les ateliers de formation de Gaz et Electricité.

## Présentation d'Institut de Formation en Électricité et Gaz (IFEG)

---

L'Ecole Technique de Blida a une capacité d'accueil de 800 places pédagogiques. Organisée pour dispenser des formations orientées métiers, l'école dispose d'infrastructures dédiées aux formations aux métiers de base dont : - 25 ateliers spécialisés, avec aires d'entraînement, assurant la réalisation des travaux pratiques et permettant aux stagiaires d'acquérir les gestes professionnels, dans le strict respect des procédures de travail et des règles de sécurité, avec les moyens matériels nécessaires et des conditions similaires au milieu de travail. Ces ateliers se répartissent en 11 laboratoires spécialisés, assurant la réalisation des travaux pratiques nécessaires pour :

- Comprendre les phénomènes électriques, mécaniques....
- Connaître et manipuler les différents appareils, équipements, logiciels.....
- Maîtriser la réalisation des mesures et essais et l'interprétation des résultats ...



**Figure.4.** Laboratoire des énergies renouvelables.

Les laboratoires sont répartis par métier comme suit :

- Electricité: Les laboratoires de mesures et essais, automatisme, automates programmables, comptage classique et numérique, protections électriques,
- Production électrique: Les laboratoires de : métrologie et essais et résistance des matériaux.
- EnR : Installations pédagogiques systèmes photovoltaïques autonomes.