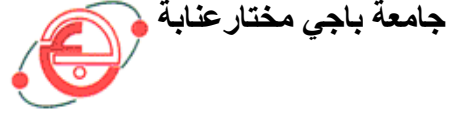


وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

### INTITULE

**Etude d'une installation de panneaux solaires  
photovoltaïques pour les besoins domestiques**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : ÉNERGETIQUE ET ENVIRONNEMENT

PRESENTE PAR : MOKHNACHI CHAMS EDDINE

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Pr. H. MZAD

### DEVANT LE JURY

PRESIDENT : S. AZZOUZ (MCA) Université Badji Mokhtar - Annaba

EXAMINATEURS : A. DJEMILI (MCA) Université Badji Mokhtar – Annaba

F. MECHIGHEL (MCB) Université Badji Mokhtar – Annaba

Année: 2013/2014

## *Dédicace*

A mes parons.

A ma famille.

A mes enseignants.

A mes amis

A tous les membres de département du génie  
mécanique d'université d'Annaba

## **Résumé**

Une centrale solaire photovoltaïque est un ensemble destiné à la production d'électricité. Elle est constituée de modules solaires photovoltaïques (PV) reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs pour être raccordée au réseau. Les systèmes solaires photovoltaïques autonomes sont destinés à l'alimentation en électricité de bâtiments ou d'installations isolées.

## **Abstract**

A photovoltaic solar panel is an assembly for the production of electricity power. It consists of connected photovoltaic (PV) modules (serial and parallel) and it uses inverters to be connected to the electrical network. Autonomous photovoltaic systems are designed to supply electricity to isolated buildings or facilities.

# SOMMAIRE :

1. Introduction générale.....	2
-------------------------------	---

## CHAPITRE1: Etude d'un système photovoltaïque

1. Introduction.....	4
2. L'énergie solaire.....	5
3. La cellule PV.....	6
3.1. L'effet photovoltaïque.....	7
3.2. Technologie d'une cellule photovoltaïque.....	8
4. Regroupement des cellules.....	9
4.1. Regroupement en série.....	9
4.2. Regroupement en parallèle.....	10
4.3. Regroupement (série et parallèle).....	10
5. Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	11
5.1. Cellule photovoltaïque idéal.....	11
5.2. Cellule photovoltaïque réelle.....	12
6. Influence de la température.....	13
7. Influence de l'éclairement.....	14
8. Conclusion.....	16

## Chapitre 2: Méthode de Dimensionnement des Systèmes Photovoltaïques pour l'habitat

1. Introduction.....	17
2. Les besoins en énergie électrique.....	18

2.1.	L'énergie à fournir à l'onduleur et son utilisation.....	18
2.2.	L'énergie à fournir à la batterie et son utilisation.....	19
2.3.	L'énergie électrique fournie par générateur photovoltaïque...	19
2.4	Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site donné.....	20
2.4.1	Les valeurs statistiques de l'énergie solaire.....	20
2.4.2.	Caractéristiques propres au site.....	20
2.5.	Estimation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque.....	21
3.	Dimensionnement du panneau photovoltaïque.....	22
3.1.	Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau.....	22
3.1.1.	Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé.....	22
3.1.2.	Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé.....	23
3.2.	Stockage inter-saisonnier de l'énergie.....	23
3.3.	Procédure de dimensionnement du panneau solaire.....	23
4.	Choix de la tension du fonctionnement.....	24
5.	Dimensionnement de la batterie.....	25
5.1.	Rôle du stock d'énergie.....	25
5.2.	Capacité de la batterie.....	25
5.3.	Choix de la capacité de la batterie.....	25
5.3.1.	Les contraintes à respecter.....	26
5.3.2.	Le choix de la capacité C1.....	27
5.3.3.	Choix de la capacité C2.....	27
6.	Dimensionnement de l'onduleur.....	6
7.	Dimensionnement des câbles de raccordement .....	28
7.1.	La liaison électrique panneau-batterie.....	28
7.2.	La liaison électrique batterie-appareils.....	29
7.2.1.	Distribution en courant continu.....	29
7.2.2.	Distribution à partir d'un onduleur.....	29
8.	Conclusion.....	30

## Chapitre3 : Simulation d'installation avec Retscreen

1. Introduction.....	32
2. Analyse des besoins en énergie et de leur satisfaction.....	32
2.1. La situation généralement rencontré.....	32
2.2. Insertion d'un système photovoltaïque dans ce système énergétique...	33
3. Le système électrique préconisé.....	34
3.1 Principes.....	34
3.2. Choix des appareils.....	34
3.3. La batterie et le régulateur.....	35
4. Les différents types d'installations photovoltaïques.....	36
4.1. Alimentations électriques faibles puissances.....	36
4.2. Installations électriques photovoltaïques autonomes.....	37
4.3. Installations électriques photovoltaïques raccordées au réseau.....	39.
4.3.1. Installation PV raccordée au réseau sans injection ("autoconsommation")..	39
4.3. Installation PV raccordée au réseau avec injection des excédents de production.....	40
5. Conclusion.....	41

## Chapitre4 : Simulation d'installation avec Retscreen

1. Introduction.....	43
2. Etudier un projet d'installation .....	44
3. Besoin énergétique de l'installation.....	45
4. Installation des batteries .....	46
5. Logiciel de simulation.....	47
6. Type d'installation de la simulation .....	49
7. Résultat et interprétation.....	55
8. conclusion.....	56
Conclusion générale .....	57



## LISTE DES TABELAUX

Tableau	Titre	Page
1.1	Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques	8
2.1	Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête	24
4.1	besoin énergétique pour installation PV pour l'habitation	46



## LISTE DE FIGURES

Figure	titre	Page
1.1	Spectre d'irradiante solaire	5
1.2	Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque	6
1.3	Schéma d'une cellule photovoltaïque	7
1.4	Caractéristique courant tension de $N_s$ cellule en série	9
1.5	Caractéristique courant tension de ( $N_p$ ) cellule en parallèle	10
1.6	de cellule photovoltaïque idéal	11
1.7	Modèle de la cellule photovoltaïque réel	13
1.8	La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de la température	14
1.9	La caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de la température	14
1.10	La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement	15
1.11	La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement	15
2.1	L'énergie électrique fournie par un panneau en tenant compte des pertes et les Désadaptations.	21
2.2	Dimensionnement du panneau photovoltaïque. Liaison entre les paramètres	24
3.1	Système énergétique d'une habitation peu fréquentée comprenant un équipement photovoltaïque.	33
3.2	<b>.description de la batterie et régulateur</b>	36

3.3	Alimentations électriques faibles puissances	36
3.4	Installations électriques photovoltaïques autonomes	38
3.5	Installations électriques photovoltaïques autonomes avec onduleur	39
3.6	Installation PV raccordée au réseau sans injection (« autoconsommation »).	39
3.7	Installation PV raccordée au réseau avec injection des excédents de production.	40
4.1	Description de deux batteries raccordées en parallèle	47
4.2	Schéma de l'installation	50
4.3	Capture d'écran. Information sur le projet	51
4.4	Capture d'écran .lieu de projet	52
4.5	Capture d'écran du type du panneau	53
4.6	Capture d'écran du résultat de la simulation	54

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

DC Direct Current

AC Alternating Current

AM Air Mass

PV Photovoltaïque

GPV Générateur Photovoltaïque

$I_{cc}$  Courant de Court-Circuit

$V_{co}$  Tension de Circuit Ouvert

PPM Point de Puissance Maximum

$I_{opt}$  et  $V_{opt}$  Courant et Tension Optimaux au PPM

MPPT Maximum Power Point Tracking

$\eta_{PV}$  Rendement d'un GPV

$\eta_{MPPT}$  Rendement MPPT

$\eta_{conv}$  Rendement de conversion

MLI Modulation de Largeur d'Impulsion (PWM en anglais)

D Rapport Cyclique

$R_{dson}$  Résistance à l'état passant d'un interrupteur Mosfet

$Q_g$  Gate Charge

TCO Transparent Conductive Oxide

# 1. Introduction

---

## 1.Introduction

Depuis le début du siècle, la consommation énergétique mondiale est en très forte croissance dans toutes les régions du monde. Il semble que tendanciellement, les consommations d'énergie vont continuer à augmenter, sous l'effet de la croissance économique d'une part, et de l'augmentation de la consommation d'électricité par habitant d'autre part, quels que soient les cas de figures envisagés. On parle périodiquement de diverses solutions techniques permettant de "continuer à vivre comme maintenant" sans que cela n'aggrave nos émissions de gaz à effet de serre, en attendant tranquillement que l'efficacité énergétique permette de diminuer les émissions. Mais il est important de savoir que l'on ne peut pas filtrer l'atmosphère pour en retirer le gaz déjà émis. La technique ne peut donc rien sur ce plan, et ne nous évitera pas un réchauffement programmé et inévitable d'au moins 1°C en un siècle. Souvent, la révolution des énergies renouvelables est avancée comme un dénouement à tous nos problèmes de production d'énergie électrique. Mais il serait plus raisonnable de voir ces nouvelles solutions techniques comme un simple frein au réchauffement climatique à condition que notre consommation énergétique ne continue pas d'augmenter exponentiellement. Cela éviterait ainsi de reproduire les mêmes erreurs du passé en pensant à des solutions "miracles" qui seraient inépuisables et sans impact sur notre mode de vie ou sur l'environnement.

A ce sujet, les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire photovoltaïque, éolienne ou hydraulique etc., apparaissent comme des énergies inépuisables et facilement exploitables. Si l'on prend l'exemple du soleil, une surface de 145000 km<sup>2</sup> (4% de la surface des déserts arides) de panneaux photovoltaïques (PV) suffirait à couvrir la totalité des besoins énergétiques mondiaux.

Dans ce dernier cas, l'installation et la réalisation des systèmes Photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, la variation de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur photovoltaïque, en plus ce dernier ne fonctionne plus dans les conditions optimales.

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'étude d'une installation de panneaux solaires photovoltaïques pour éclairage domestique. Ce mémoire est partagé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons une généralité sur la technologie photovoltaïque, en commençant par des notions sur le rayonnement. Dans un deuxième temps nous montrons le principe et technologie des cellules photovoltaïques, ensuite on va montrer leurs caractéristiques. Nous finissons le chapitre par la conception et les types de panneaux solaires à cellules photovoltaïque.

Le deuxième chapitre présente la méthode de dimensionnement des systèmes photovoltaïques pour l'habitat.

# 1. Introduction

---

Le troisième chapitre contient les différentes installations photovoltaïques et leur utilisation.

Le dernier chapitre présente une simulation d'installation photovoltaïque avec retscreen et nous terminerons ce chapitre par les principaux résultats obtenus et leurs interprétations.

Les parties annexes sont une introduction générale et une conclusion générale et des recommandations se rapportant au travail qui complètent ce mémoire.

## 1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Ce chapitre présente les concepts dont la connaissance est nécessaire à la compréhension du fonctionnement des cellules photovoltaïques constituées de semi-conducteur en silicium. On commencera par un bref rappel sur le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Nous présenterons ensuite la modélisation de la chaîne de conversion photovoltaïque puis décrirons les modèles mathématiques et nous montrerons ensuite l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement. A la fin on termine par une conclusion.

## 2. L'énergie solaire

La distance de la terre au soleil est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/s [1], les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil, sa valeur est communément prise égale à 1360 W/m<sup>2</sup>. Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/m<sup>2</sup> à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \quad (1.1)$$

**h** : la constante de Planck,

**c** : la vitesse de la lumière.

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande. Une façon commode d'exprimer cette énergie est :

$$E = \frac{1.26}{\lambda} \quad (1.2)$$

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique, figure (1.1), compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns ( $\mu\text{m}$ ) [1]. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 9 % dans la bande des ultraviolets ( $< 0,4 \mu\text{m}$ ),
- 47 % dans la bande du visible ( $0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$ ),
- 44 % dans la bande des infrarouges ( $> 0,8 \mu\text{m}$ ).

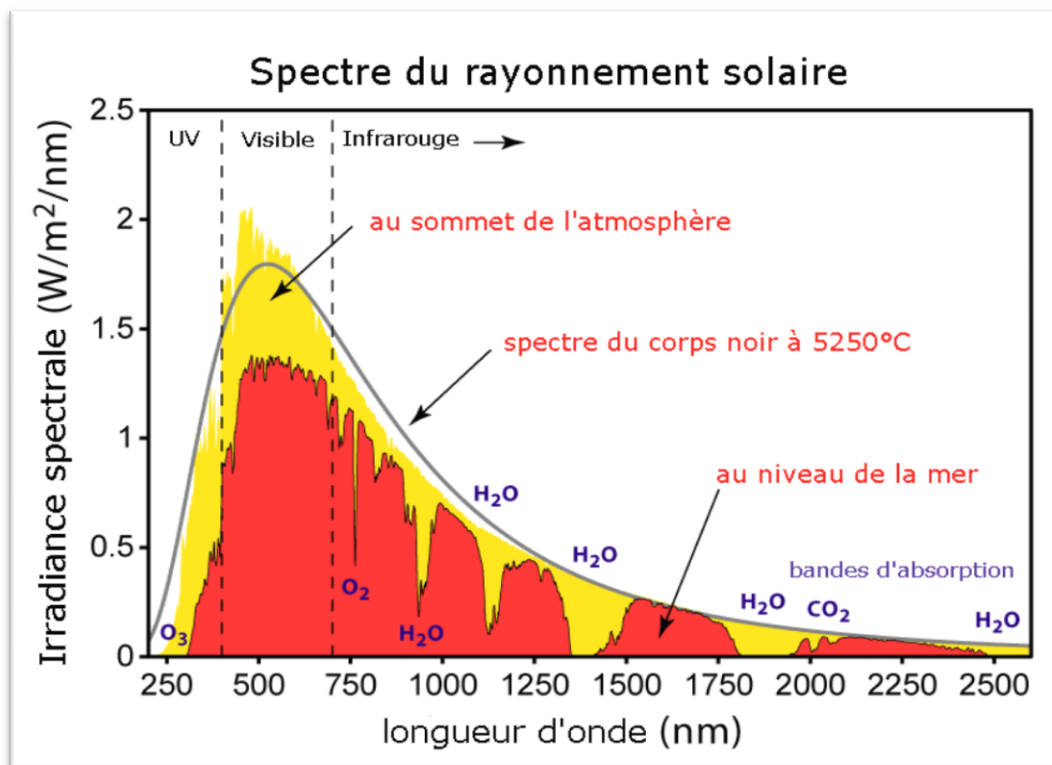


Figure 1.1 : Spectre d'irradiance solaire.

### 3. La cellule PV

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé "effet photovoltaïque" qui a été découverte par E. Becquerel en 1839[3].

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu' à  $100 \text{ cm}^2$  ou plus, sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries.

Les cellules se branchent en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante. Le but est d'avoir une différence de potentiel normalement entre 6 et 24 V. La figure (1.2) représente le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque [4].

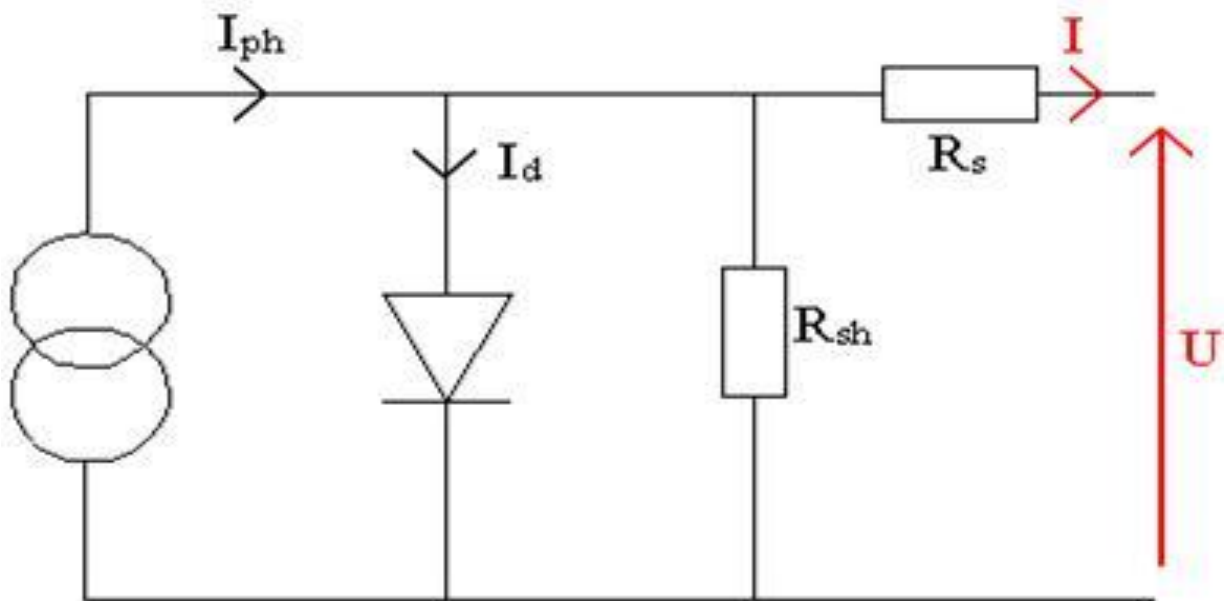


Figure 1.2: Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.

### 3.1. L'effet photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule[6]. La figure (1.3) illustre une cellule PV typique où sa constitution est détaillée. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12 % avec du silicium poly-cristallin et enfin 7 à 8% pour le silicium amorphe en films



minces[7]. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque[8].

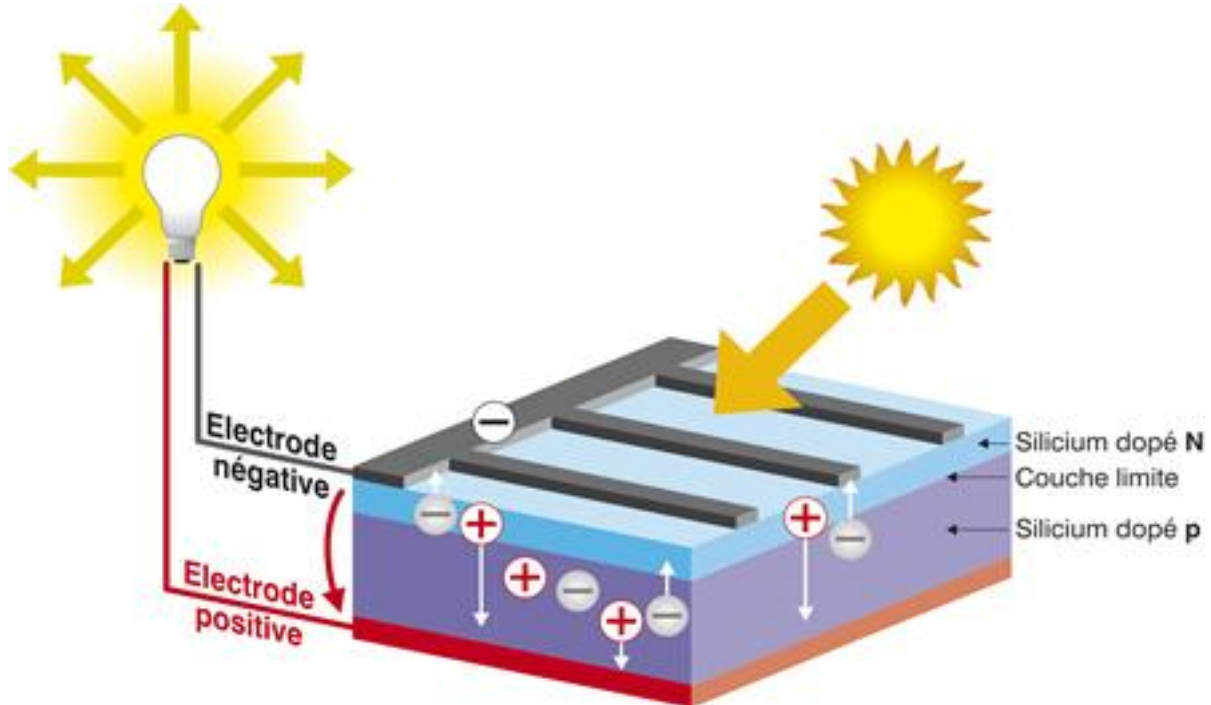


Figure 1.3 : Schéma d'une cellule photovoltaïque

### 3.2. Technologie d'une cellule photovoltaïque

#### ➤ Silicium monocristallin

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales, bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles.

Le terme « cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes.

#### ➤ Silicium poly cristallin

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le

rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commercial s'étend entre 10 et 14%.

### ➤ Silicium amorphe

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre son rendement de conversion est faible (de 7 à 10 %) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière[2].

### ➤ Nouvelle technologie

On utilise de plus en plus de matériaux organiques dans le domaine de l'optoélectronique, avec des perspectives d'électronique organique voire moléculaire, pour l'éclairage à l'aide de diodes électroluminescentes organiques (OLED : Organic Light – Emitting Diode). Bien que les optimisations des matériaux à mettre en œuvre ne soient pas les mêmes, le domaine du photovoltaïque bénéficie depuis quelques années des avancées technologiques de l'optoélectronique. Ainsi, bien que cette filière soit vraiment récente, les progrès annuels sont spectaculaires. Les matériaux organiques, moléculaires ou polymériques, à base de carbone, d'hydrogène et d'azote, sont particulièrement intéressants en termes d'abondance, de coût, de poids et de mise en œuvre[9].

Le tableau (1.1) présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utiliser d'une cellule photovoltaïque.

Type	Silicium mono-cristallin	Silicium poly-cristallin	Amorphe
Durée de vie	35 ans	35 ans	< 10 ans
Avantage	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe)	Souplesse Prix moins élevé que les cristallins. Bon rendement en diffus

Inconvénient	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux, ...), prix élevé	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en plein soleil.
--------------	---	---	------------------------------------

Tableau 1.1: Avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques

## 4. Regroupement des cellules

### 4.1. Regroupement en série

Une association de (Ns) cellule en série figure (1.4) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électrique d'une association série de (Ns) cellules[9].

$$V_{coNS} = N_s \times V_{co} \tag{1.3}$$

$$I_{cc} = I_c \tag{1.4}$$

$V_{coNS}$  : la somme des tensions en circuit ouvert de  $N_s$  cellules en série,

$I_{cc}$  : courant de court-circuit de  $N_s$  cellules en série.

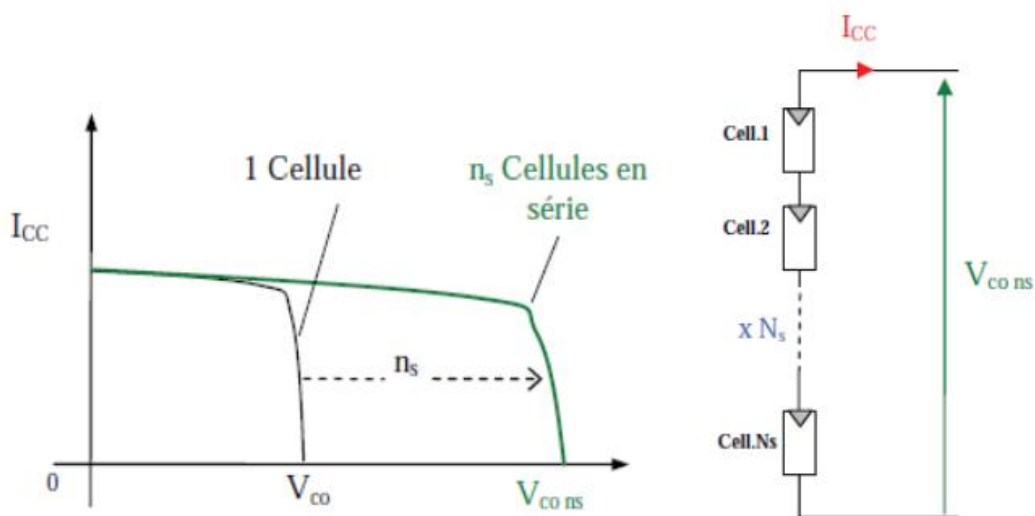


Figure 1.4: Caractéristique courant tension de Ns cellule en série

#### 4.2. Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (NP) cellule figure (1.5) est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants[10].

Avec :

$$I_{CCNP} = N_{PX} I_{Sc} \quad (1.5)$$

$$V_{co} = V_{coNP}$$

$I_{CCNP}$  : la somme des courants de court circuit de (NP) cellule en parallèle,

$V_{coNP}$  : tension du circuit ouvert de (NP) cellules en parallèle.

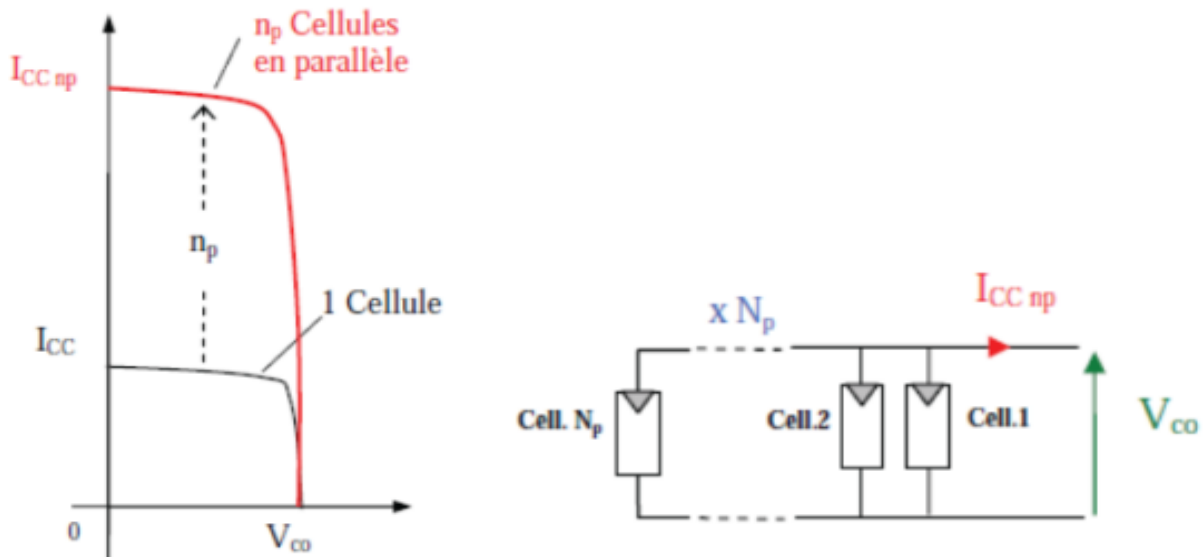


Figure 1.5 : Caractéristique courant tension de (Np) cellule en parallèle.

#### 4.3. Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule.

La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de Ns modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant[7].

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque.

## 5. Modélisation d'une cellule photovoltaïque

### 5.1. Cellule photovoltaïque idéal

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant  $I_{ph}$  proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode figure (1.6) qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV.

D'après la loi de nœuds :

$$I = I_{ph} - I_d \quad (1.7)$$

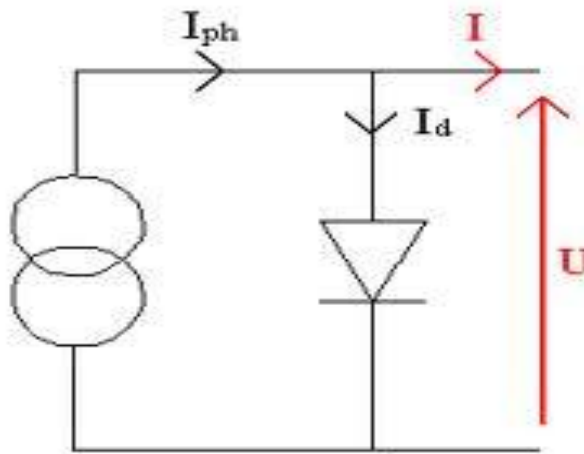


Figure 1.6 : Modèle de cellule photovoltaïque idéal

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$V = V_d \quad (1.8)$$

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$I_d = I_0 \exp(V_d / V_T) - 1 \quad (1.9)$$

Avec :

$I_0$  : Le courant de saturation inverse de la diode,

$v_d$  : la tension au borne de diode,

$V_T$  :  $k_T / q$ , potentielle thermique.

Donc la relation (1.7) sera :

$$I = I_{ph} - I_0 \exp(v_d/V_T) - 1 \quad (1.10)$$

## 5.2. Cellule photovoltaïque réelle

Le model photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série **RS** et les courants de fuite par une résistance en parallèle **RP**[5].

Donc on a :

$$I = I_{ph} - I_d - I_P \quad (1.11)$$

$$I_P = \frac{v + R_s I}{R_p} \quad (1.12)$$

$$I_d = I_0 \left( \exp\left(\frac{v + R_s I}{R_p}\right) - 1 \right) \quad (1.13)$$

Avec :

$I$  : Le courant fourni par la cellule,

$I_{ph}$  :  $I_{SG} \left( \frac{G}{1000} \right)$ , Le photo – courant dépendant de l'éclairement (G),

$I_0$  : Le courant de saturation de la diode,

**K** : constante de Boltzmann ( $1,381 \cdot 10^{-23}$  joule/Kelvin),

**q** : charge d'électron  $=1,602 \cdot 10^{-19}$  C,

**n** : Le facteur de qualité de diode,

**T** : La température de cellule en kelvin.

Donc (1.11) devient :

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp\left(\frac{v + R_s I}{R_p} - 1\right) \right) - \left(\frac{v + R_s I}{R_p}\right) \quad (1.14)$$

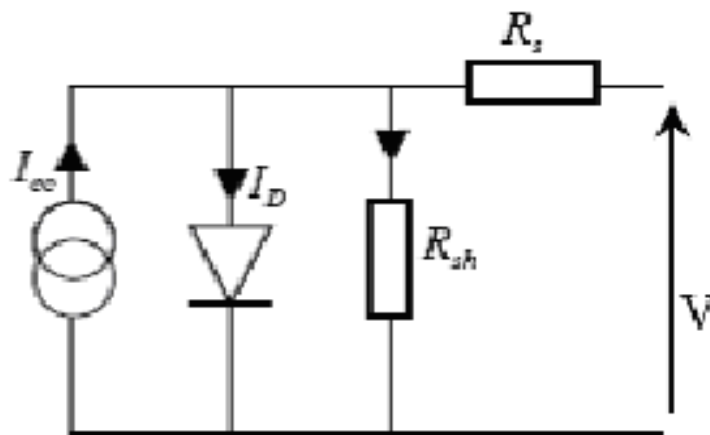


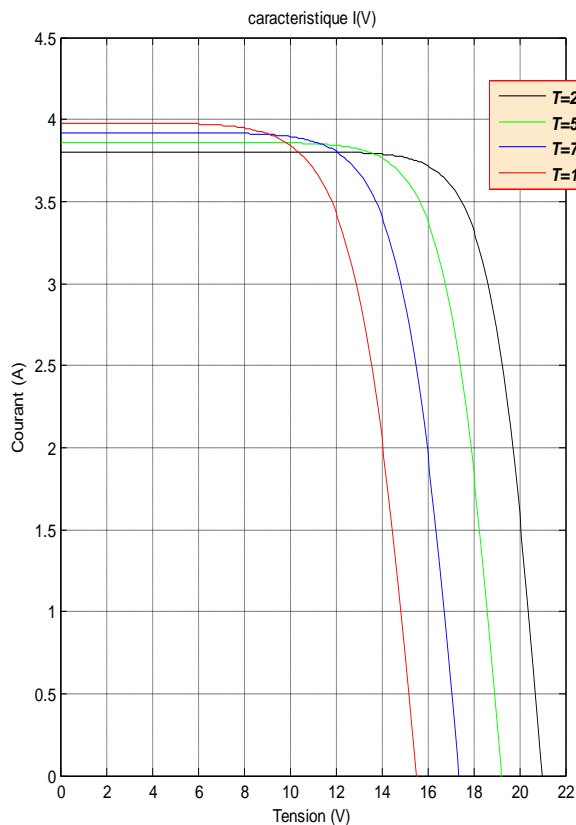
Figure 1.7 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel

## 6. Influence de la température

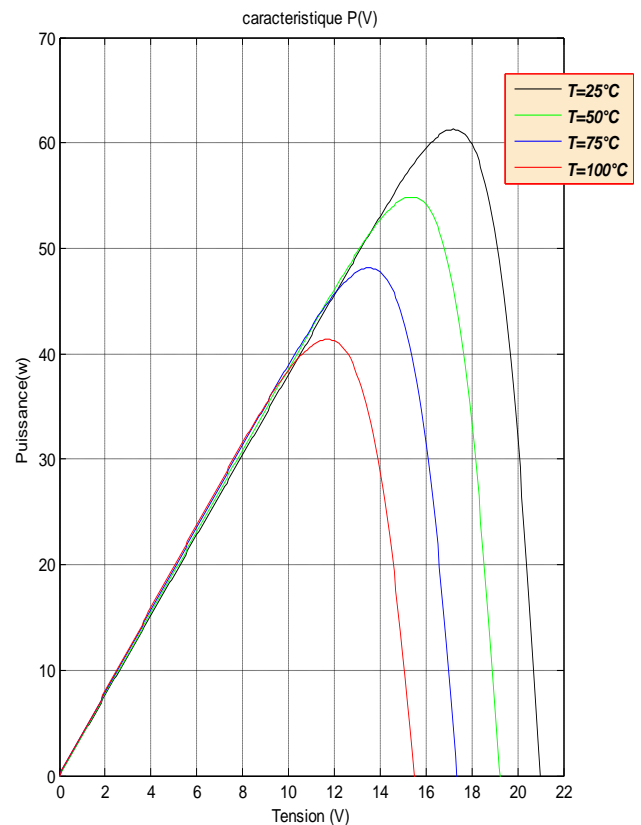
L'équation de Boltzmann donne :  $I_{SC} = I_0 \exp(I_0 q v_0 / KT)$ , l'expérience montre que la tension de circuit ouvert d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule[11.12]

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V (figure 1.8 et 1.9) d'un module photovoltaïque **SP75** pour un niveau d'ensoleillement **G** donné et pour différentes températures.

Pour la figure (1.8) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (1.9).



**Figure 1.8 :** La caractéristique de  $I=f(V)$   
en fonction de la température

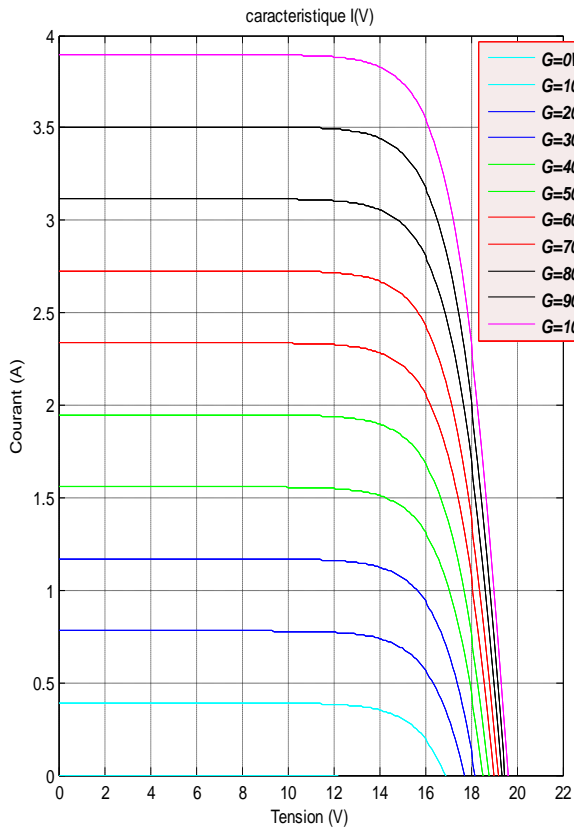


**Figure 1.9 :** La caractéristique de  $P= f(V)$   
en fonction de la température

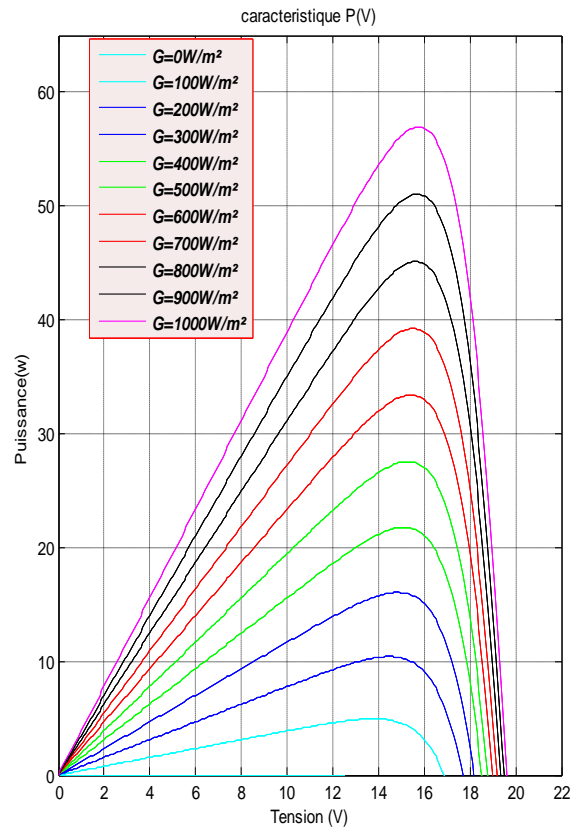
## 7. Influence de l'éclairement

Le même travail comme précédente, nous avons fixé la température pour différents éclairagements figure (1.10 et 1.11). pour la figure (1.10) on remarque que pour l'éclairement  $G=1000 \text{ w/m}^2$  le courant  $I_{sc}=4.8\text{A}$  et pour  $G=800\text{w/m}^2$  le courant  $I_{sc}=3.84\text{A}$  on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit est augmenté, mais par contre la tension varie légèrement .Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance, lorsque l'éclairement est augmenté, figure (1.11).





**Figure 1.10 :** La caractéristique  $I=f(v)$  en fonction de l'éclairement



**Figure 1.11 :** La caractéristique  $P=f(v)$  en fonction de l'éclairement

## **8. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté les principales caractéristiques et les technologiques des éléments constitutifs d'un générateur PV et nous avons montré comment augmenter le courant ou la tension d'un générateur photovoltaïque ainsi nous avons montré bien l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement de la cellule, et on constate que la puissance ne dépende pas seulement de la température mais dépende aussi de l'éclairement.

## 1. Introduction :

"Dimensionner" c'est fixer la "taille" et les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration.

En effet, le dimensionnement peut amener finalement à changer le système, par exemple s'il s'avère que des éléments "optimaux" sur le plan technique sont très chers, ou indisponible, etc.,

la méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance crête qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé (généralement décembre). Elle consiste à déterminer le moment où vous avez besoin d'électricité, et à mesurer votre consommation. Cette étape comporte peu de calculs, mais demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera vos résultats jusqu'à la fin.

La méthode comporte 7 étapes : le résultat d'une étape influence directement le résultat des étapes suivantes. Si vous obtenez un résultat aberrant, ça ne veut pas forcément dire que vous vous êtes trompé dans vos calculs. Il ne faut pas hésiter à revenir en arrière, notamment à la première étape, afin de redéfinir vos besoins (comme par exemple réduire votre consommation en choisissant des appareils plus économiques).

## 2. Les besoins en énergie électrique :

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...). L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour  $E$  (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc. ; elle est donnée par la relation suivant [1]:

$$E = \sum_i E_i \quad (2.1)$$

Le temps moyen d'utilisation est plus délicat à cerner ; il faut le rapporter à :

- La saison,
- Le nombre d'occupants,
- Le mode d'utilisation.

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, on part de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [1]:

$$E_i = P_i \times t_i \quad (2.2)$$

*L'énergie journalière consommée d'un équipement Wh/j = la puissance de cet équipement W × la durée d'utilisation de chaque un (h)*

### 2.1. L'énergie à fournir à l'onduleur et son utilisation :

Lorsqu'un onduleur est utilisé, il alimente :

- Les consommations en 220 VCA de petites puissances (téléviseur, perceuse, mixeur...) (qu'on note X);
- Les consommations en 220V CA de longue durée ou de forte puissance tel que le réfrigérateur, le congélateur... (qu'on note Y);
- Et éventuellement l'éclairage (énergie noté W) ;

Le rendement réel, moyen d'un onduleur bien conçu, de bonne qualité, dépend de son taux de charge [1].

$$\rho = \frac{\text{l'énergie demandée}}{\text{la puissance nominale}} \quad (2.3)$$

Si nous supposons que l'onduleur est bien utilisé : son taux de charge doit être élevé (de 0,75 à 1,0). Le rendement de conversion est alors de 0,7 à 0,9 et nous retenons la valeur moyenne de 0,8. Ainsi, la puissance à fournir à l'onduleur pour disposer de l'énergie E à la sortie (sous 220 V CA) est de [2]:

$$P = E/0,8 = 1,25E \quad (2.4)$$

*la puissance à fournir à l'onduleur Wh/j = l'énergie demandée à l'onduleur (Wh/j) / taux de charge de l'onduleur*

L'analyse des consommations donne l'énergie qui est demandée à l'onduleur (sans l'emploi d'une seconde source et avec l'emploi des équipements à grande puissance.

L'énergie demandée à l'onduleur E vaut :

$$E = X + Y + W \quad (2.5)$$

*l'énergie demandée à l'onduleur (Wh/j) = la consommation d'équipements de petites puissances en 220 VCA + la consommation d'équipement de fortes puissances en 220 VCA+l'éclairage*

Et l'énergie à fournir à l'onduleur est :

$$1.25 \times E = 1.25 \times (X + Y + W) \quad (2.6)$$

## 2.2. L'énergie à fournir à la batterie et son utilisation :

L'emploi de la batterie (pour la majeure partie de l'énergie consommée finalement) introduit des pertes. Celles-ci proviennent :

- Du rendement énergétique de la batterie ;
- De l'auto décharge, qui dépend de la durée de stockage (pour une batterie donnée) ;

Pour une batterie dite solaire, c'est-à-dire bien adaptée aux systèmes photovoltaïques, le rendement énergétique est de 0.80 à 0.85 et l'auto décharge de 3% par mois environ. Le rendement global constaté dans un système pour l'habitat est de 0.8 en général, donc[2] :

$$L'énergie fournie par la batterie = L'énergie fournie par le panneau \times 0.8 \quad (2.7)$$

## 2.3.L'énergie électrique fournie par générateur photovoltaïque :

Elle dépend bien sûr de l'ensoleillement reçu et de l'orientation du panneau. L'estimation de l'énergie solaire reçue sur le site est simple, mais il faut tenir compte des caractéristiques propres au site de l'installation lui-même[3].

## 2.4.Estimation de l'énergie solaire reçue sur un site donné :

Cette estimation doit tenir compte à la fois :

- Des données statistiques concernant l'énergie solaire reçue sur la région d'installation;
- Des caractéristiques propres au site et susceptibles d'empêcher le panneau photovoltaïque de recevoir toute l'énergie possible (du fait des masques, neige, poussière...).

### 2.4.1 Les valeurs statistiques de l'énergie solaire :

Il est nécessaire de connaître avec une assez bonne précision l'énergie solaire reçue en moyenne par jour sur le site pendant une période donnée. Cette période est en générale égale à un mois [3]. Selon les pays, les quantités sont connues à partir de l'une ou l'autre des données suivantes (pour une période donnée) :

- Nombre moyen d'heures d'ensoleillement par jour (ou durée d'insolation) ;
- L'irradiation moyenne reçue au sol (plan horizontal) ;
- L'ensoleillement global sur un plan incliné à un certain angle ;

La troisième forme est de loin la plus intéressante, car elle permet facilement, l'angle d'inclinaison des panneaux étant donné, de déterminer l'énergie électrique produite par un panneau de puissance crête donnée.

### 2.4.2 Caractéristiques propres au site :

Ces caractéristiques peuvent être :

#### 1) *Les conditions atmosphériques exceptionnelles :*

La neige, les poussières sont susceptibles de diminuer pendant certaines périodes l'énergie solaire reçue par les modules. Un coefficient réducteur doit alors d'être appliqué aux données définies au paragraphe précédent pour tenir compte des conditions atmosphériques particulières et des conditions d'entretien du système (fréquence du nettoyage...)[4].

#### 2) *Les masques*

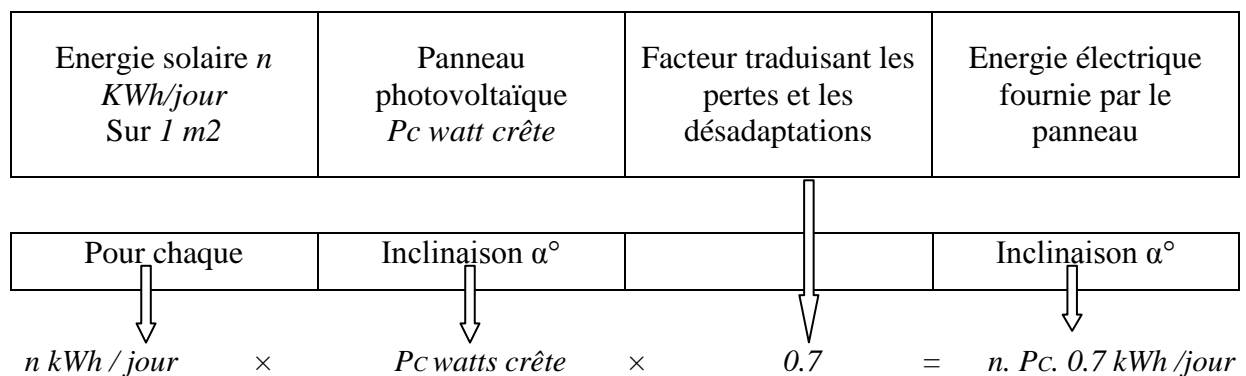
La cause de réduction la plus importante est constituée par les masques (arbre, maisons,...) ombragent tout ou partie du panneau pendant une partie de la journée chaque jour, ou pendant une certaine période de l'année (en général l'hiver)[4].

### 2.5. Estimation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque :

Pour un angle d'inclinaison donné, du panneau photovoltaïque la série des quantités d'énergie solaire reçue permet d'estimer l'énergie électrique fournie par le panneau en moyenne, par jour, pour chaque mois. Un panneau de puissance crête totale  $PC$ , qui reçoit du soleil  $n$   $KWh/m^2/jour$ , peut fournir au mieux  $n$   $PC$   $KWh/m^2/jour$ . [1] Malheureusement, ce panneau produit en fait une quantité d'énergie électrique nettement moindre, car [5]:

- Le panneau ne fonctionne que rarement à son point de fonctionnement optimal (sauf si un dispositif électronique d'adaptation asservie est utilisé). En particulier, un panneau débitant sur une batterie ne fonctionne pratiquement jamais à son point de puissance max (16 V pour une batterie de 12 V, mais variable avec l'éclairement).
- Les diodes et les connexions causent des pertes d'énergie.
- Les disparités entre les modules causent des pertes d'énergie.
- Le point de puissance maximal dépend aussi de la température du panneau.

Il est difficile de traduire par une formule utilisable la résolution de ces pertes. L'expérience montre que l'énergie produite pratiquement par un panneau de  $PC$  watts crête recevant une énergie de  $n$  kWh par jour est de :  $n \cdot PC \cdot 0.7$  kWh/jour.



**Figure 2.1.** L'énergie électrique fournie par un panneau en tenant compte des pertes et les Désadaptations.

### 3. Dimensionnement du panneau photovoltaïque :

La détermination de puissance crête installée présente un intérêt tout particulier, compte tenu du coût du watt-crête. Généralement, la variation de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque d'inclinaison donnée, ne suit pas celle des besoins en énergie d'une habitation.

Si on fixe la puissance crête pour satisfaire au mieux les besoins d'un mois donné, on obtient généralement un déficit ou un excédent pour d'autre mois. Sur quelle période faut-il s'efforcer d'égaliser les besoins et les apports? Une inclinaison égale à la latitude du lieu permet de capter une quantité d'énergie annuelle maximale, mais :

- Une partie de cette énergie risque d'être inutile ; l'énergie est chère à stocker.
- Le panneau risque d'être trop cher.

Une inclinaison forte (plus proche de la vertical : latitude du lieu + 20° par exemple) favorise la captation de l'énergie solaire en hiver (quand le soleil est bas).

### **3.1.. Principes de dimensionnement et de positionnement du panneau :**

Les deux principes extrêmes illustrent les raisonnements employés pour confronter :

- L'énergie que le panneau doit fournir.
- L'énergie que le panneau peut fournir à partir de l'ensoleillement.

#### **3.1.1. Dimensionnement sur le mois le moins ensoleillé :**

Une solution simple est sûr consiste à choisir une puissance crête tel que pendant le mois le moins ensoleillé, l'énergie fournie par le panneau satisfasse les besoins, avec une inclinaison voisine de la latitude du lieu. C'est la solution généralement adopté par les sociétés commercialisant et installant des systèmes photovoltaïque. Elle conduit, malheureusement à un gaspillage important d'énergie pendant les autres périodes, et spécialement pour la période la plus ensoleillée.

Pour réduire ce gaspillage, et donc économiser sur la puissance crête du panneau, il est possible :

- De favoriser l'exposition du panneau pendant la saison la moins ensoleillée en choisissant une inclinaison > de 10 à 20° (15° en général) à la latitude du site;
- De sur dimensionner la batterie par aux besoins réels (principalement liés au nombre possible de jour sans soleil durant cette saison moins ensoleillée ;

Il est alors possible de dimensionner non plus sur le mois le mois ensoleillé, mais sur des mois un peu plus ensoleillé permettant de combler le déficit du mois le mois ensoleillé grâce à une capacité suffisante de la batterie.

#### **3.1.2. Dimensionnement sur le mois le plus ensoleillé :**

La puissance crête est suffisante pour satisfaire les besoins pendant le mois le plus ensoleillé et généralement tout à fait insuffisante pour satisfaire les besoins d'hiver. Un tel dimensionnement implique le recours à une source d'énergie complémentaire. Dans un système à deux sources, il faut alors favoriser l'utilisation de l'énergie solaire pendant les mois plus ensoleillé et donc, choisir une faible inclinaison des modules ( $\alpha$ =la latitude -10° à



20°). Ce dimensionnement trouve sa limite dans le coût de l'énergie complémentaire. [1] Un calcul de coût (investissement, fonctionnement) permet de décider de la solution optimale entre :

- Petit panneau peu incliné et source complémentaire très sollicitée.
- Panneau plus important et plus incliné et source complémentaire moins sollicitée.

### **3.2. Stockage inter-saisonnier de l'énergie :**

Il est envisageable de mieux adapter les apports solaires aux besoins en utilisant en hiver de l'énergie stockée en batterie pendant les périodes ensoleillées. Le stockage à long terme (03 à 06 mois) en batterie et pourtant pratiquement exclu à cause de son coût : la capacité de la batterie nécessaire est trop importante. De plus :

- La charge de la batterie est alors délicate (il faudrait fractionner la capacité ou augmenter le courant de la charge).
- Le panneau ne peut pas recharger seul la batterie en cas de décharge trop profonde.
- L'autodécharge représente environ 10 % de la capacité en 03 mois, c'est-à-dire qu'en moyen, environ 10 % de cette grosse capacité est installée en pure perte.

### **3.3. Procédure de dimensionnement du panneau solaire :**

Quel que soit le principe retenu, il revient finalement à assurer l'adéquation entre les apports et les besoins pour une période donnée (généralement un mois donné), c'est-à-dire, comparer que doit fournir le panneau avec des tableaux qui donnent l'énergie fournie par un panneau de puissance donnée, selon divers inclinaisons. Les liaisons entre les principales grandeurs sont représentées dans la figure suivante :

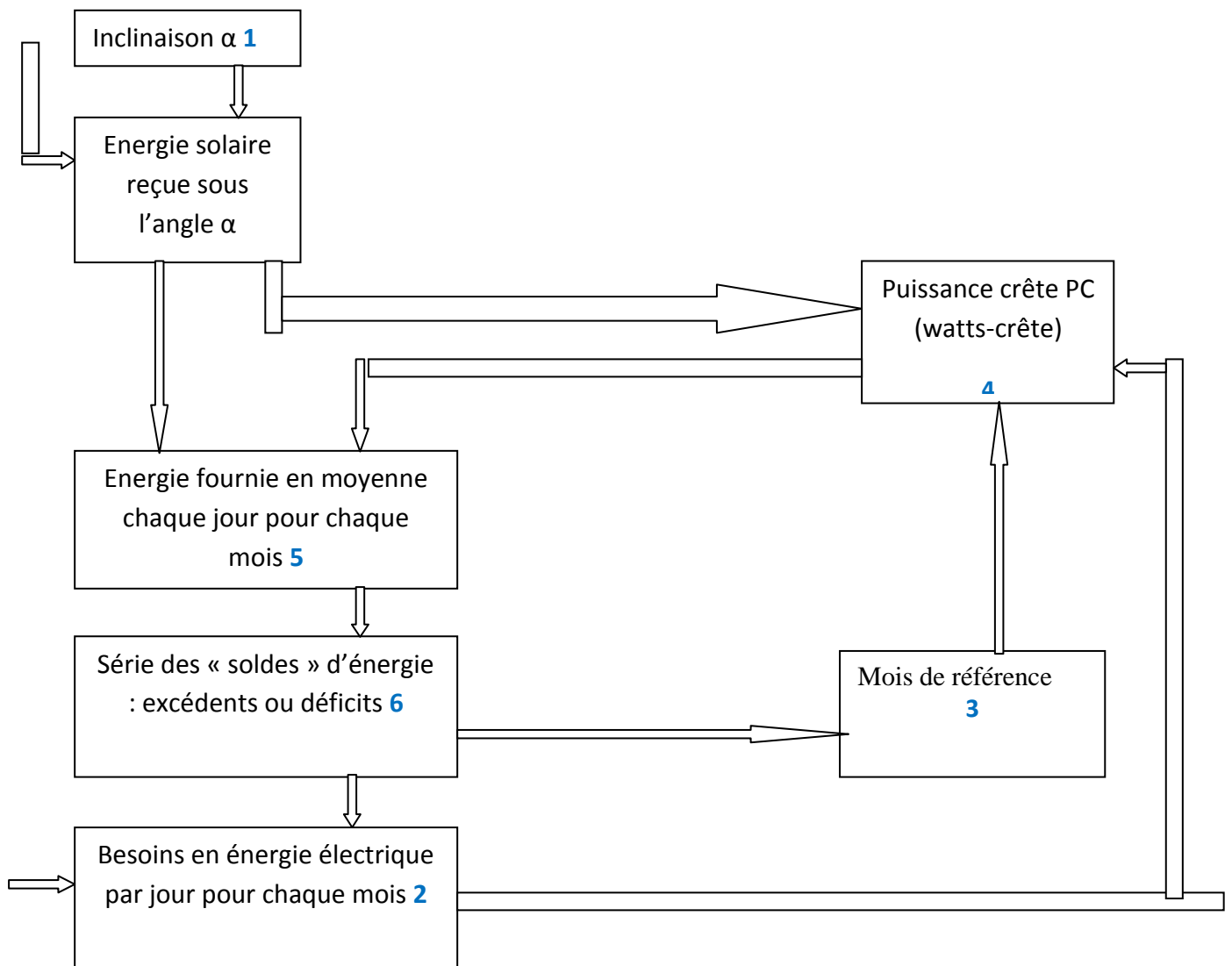


Figure 2.2. Dimensionnement du panneau photovoltaïque. Liaison entre les paramètres.

#### 4. Choix de la tension du fonctionnement :

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application.

Puissance crête (W <sub>c</sub> )	< 500 W <sub>c</sub>	500W <sub>c</sub> - 2KW <sub>c</sub>	>2KW <sub>c</sub>
Tension du système (V)	12 VDC	24 VDC	48 VDC

Tableau2.1. Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête

## 5. Dimensionnement de la batterie :

Celui-ci définit sa capacité de stockage  $C$  en KWh puis en Ah. Comment fixer  $C$  ? Le stock d'énergie répond à deux besoins, et le choix de la capacité doit par ailleurs satisfaire à 04 contraintes.

### 5.1. Rôle du stock d'énergie :

- Faire face aux périodes trop peu ensoleillées: le stock permet de satisfaire les besoins malgré la quantité aléatoire d'énergie solaire reçue ; en particulier, il assure la continuité du service pendant les périodes sans soleil (d'une certaine longueur).
- Utiliser au mieux le panneau de photopiles : si celui-ci n'a pas été dimensionné sur le mois le moins ensoleillé, la batterie doit permettre de combler un déficit éventuel pendant certaines périodes.

### 5.2. Capacité de la batterie :

La capacité de la batterie est donc :  $C = CR + CU$  (2.8)

*la capacité de la batterie = la capacité résiduelle + la capacité utile*

La capacité résiduelle  $CR$  est la capacité qui n'est pas utilisée, pour préserver la batterie, tandis que la capacité utile  $CU$ , est la capacité qui peut être effectivement déchargée si nécessaire. Elle est égale à :

$$CU = C1 + C2 \quad (2.9)$$

*la capacité utile = la capacité nécessaire pour faire face au soleil + la capacité nécessaire pour utiliser au mieux le dimensionnement du panneau*

### 5.3. Choix de la capacité de la batterie

Il s'agit de choisir  $C$ , la capacité en Ah, on est amené à faire trois choix :

1)  $C_U / C$ ,      2)  $C1$       et      3)  $C2$ .

### 5.3.1. Les contraintes à respecter

Pour le choix de la capacité C, on se retrouve devant différents critères :

- *Le courant de décharge maximal (IDC max) :*

Pendant une période de plus de 10 à 30 secondes, le courant de décharge maximal doit être inférieur à  $1C/10$  :

$$IDC \max < 1C/10 \quad (2.10)$$

Où C es exprimée en Ah.

Ainsi :

$$PDC \max < 1CP/10 \quad (2.11)$$

*la puissance maximale en courant continu Wh < 1/10 de l'énergie stockée (Wh)*

Par exemple, pour une batterie de 500 Ah, le courant de décharge maximal doit être inférieur à 50 A.

- *La quantité d'énergie maximale prélevée chaque jour (QDC max) :*

Elle doit être au plus de l'ordre de 10 à 20 % de la capacité totale (selon le type de la batterie) :

$$QDC_{\max} < 0,1 \text{ à } 0,2 C \quad (2.12)$$

En considérant le même exemple que précédemment, pour une batterie de 500 Ah, la quantité d'énergie électrique maximale prélevée en un jour sera de 50 à 100 Ah.

- *La profondeur de décharge (CUC)*

La profondeur de décharge, c'est-à-dire le pourcentage de la capacité de la batterie que l'on s'autorise à prélever, conditionne sa durée de vie totale. Cette contrainte diffère selon le type de la batterie utilisée, l'objectif de vie visé et son mode de fonctionnement.

- **Charge (et recharge) de la batterie**

A partir d'un état « vide » ( $CU=0$ ), la durée de recharge doit être telle que le stock puisse faire face à ses deux rôles ( $C1$  et  $C2$ ) dès que besoin. Pratiquement, l'idéal est d'assurer la recharge selon la procédure optimale pour la batterie. En tous cas, il faut éviter que le courant de recharge de la batterie soit inférieur à  $150C$ . Donc, le courant délivré par le panneau servira partiellement à recharger la batterie

$$IPV = IU + ICH \quad (2.13)$$

*Le courant débité par le panneau = Le courant utilisé par occupant + Le courant de recharge*

### 5.3.2. Le choix de la capacité C1

Il repose d'abord sur une estimation du nombre maximal de jour consécutifs où le rayonnement global est très faible (sans soleil ou durée d'ensoleillement inférieure à l'heure). Les périodes « sans soleil » longues arrivent généralement en hiver. Par ailleurs, à chaque période sans soleil correspond une demande d'énergie électrique à la batterie. Pour une période sans soleil de  $K$  jours consécutifs :

$$CSK = K Bi \quad (2.14)$$

*L'énergie totale demandée à la batterie = le nombre de jour sans soleil  $\times$  L'énergie électrique du jour demandé par la batterie*

### 5.3.3. Choix de la capacité C2

En l'absence d'une source complémentaire,  $C2$  représente une à deux semaines d'utilisation pendant la période la moins ensoleillée (consommation moyenne du mois le moins ensoleillé  $\times 7$  à 14 jours)

## 6. Dimensionnement de l'onduleur :

Pour fixer la puissance nominale de l'onduleur, il faut estimer :

- La charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10 – 20 minutes : les charges de courtes durées ne sont pas prises en compte.

- La charge maximale instantanée : elle est généralement égale à 04 fois la puissance du moteur le plus puissant que l'onduleur devra démarrer[6].

L'onduleur devra pouvoir fournir la charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10-20 minutes en permanence et la charge maximale instantanée pendant quelque secondes. Ces deux valeurs sont bien connues des constructeurs. La puissance maximale doit être la plus faible possible afin de limiter au maximum les pertes à charges faibles ou nulle, tous spécialement si l'onduleur est amenée à fonctionner d'une façon continue. Si la puissance nominale est calculée au plus juste, le disjoncteur de l'onduleur déclenchera de temps en temps. Pour une habitation moyenne, l'onduleur a une puissance nominale comprise entre 0.5 et 2.5 KVA, selon le système retenu (valeur moyenne 1.8 KVA).

## 7. Dimensionnement des câbles de raccordement :

La plus part des installations photovoltaïques fonctionne sous une faible tension (12 à 48 Vcc) et courant relativement élevé[2]. Or, les pertes en lignes sont proportionnelles au carré de l'intensité ( $RI^2$  ou  $R$  est la résistance du câble considéré)[1]. Qu'il s'agisse du câble permettant de raccorder le panneau à la batterie, ou de celui permettant de raccorder la batterie aux appareils, il faut en calculer la section de façon à limiter les pertes en lignes. Celles-ci doivent être faibles par rapport à la puissance réellement transmise par la ligne, si possible inférieures à 04 ou 05 % de cette puissance.

### 7.1. La liaison électrique panneau-batterie

Soit une installation alimentant une batterie de tension nominale 12 V à partir d'un panneau 12 V/160 Wc. Il s'agit de calculer la section de câble permettant de limiter à 0.48 V (4% de la tension nominale) la chute de tension maximale dans le câble de liaison, le panneau et la batterie étant distant de 15 mètres environ. Le courant maximal qui sera délivré à la batterie est donc de l'ordre de 10A (160 W maximal) sous une tension optimale de 14 V environ. La résistivité du cuivre est de  $1.8 \cdot 10^{-8} \Omega/m$ . Si on appelle  $\Delta U_{max}$  la chute de tension maximale, elle s'écrit en fonction du courant  $I_{max}$  :

$$\Delta U_{max} = R \times I_{max} \quad (2.15)$$

La résistance R est fonction des paramètres constitutifs du câble selon la formule :

$$R = \rho l/s \quad (2.16)$$

La résistance = résistivité ( $\Omega.m$ ) x longueur du câble (m)/section ( $m^2$ ), d'où :

$$R = \Delta U_{max}/I_{max} = \rho l/s \quad (2.17)$$

Qui permet de tirer la section du câble S :

$$S = I_{max}/\Delta U_{max} \cdot \rho l \quad (2.18)$$

Soit dans l'exemple traité  $S=11.25 \text{ mm}^2$ . Il est donc nécessaire d'utiliser du câble de section au moins égale à  $12 \text{ mm}^2$ . La section du câble devient vite très importante et donc son prix aussi. Il est par conséquent, nécessaire de faire un compromis entre un coût raisonnable du câble, et les pertes en ligne (afin de ne pas sur-dimensionner le panneau).

## 7.2. La liaison électrique batterie-appareils

### 7.2.1. Distribution en courant continu

Le même calcul doit être effectué pour la section du câble entre la batterie et les différents appareils à alimenter. Il doit tenir compte de la conception de la distribution : dans le cas d'une seule sortie de la batterie, les appareils sont montés en parallèle. Tandis que dans le cas où la batterie possède plusieurs sorties (modèles qui existe sur le marché), chacune de ces sorties est branchée à un appareil ou une série d'appareils [6]. Le câblage total est souvent plus long, mais le courant maximal dans chacun des circuits est moindre, d'où une section plus faible et un prix finalement moindre.

### 7.2.2. Distribution à partir d'un on onduleur

On distribue du courant alternatif 220 V. la distribution est alors tout à fait classique, et le lecteur pourra se reporter à de nombreux et excellents ouvrages sur ce sujet (ou s'adresser à un installateur).

## **8. Conclusion**

Avec les données de la première étape, il est possible de connaître la quantité de modules photovoltaïques nécessaires pour la fourniture de l'énergie électrique dans l'installation considérée. Dans ce chapitre, consacré à la méthode de dimensionnement des installations autonomes, nous avons intégré les données indispensables concernant les caractéristiques du site d'installation et de l'énergie solaire reçu sur le site lui-même. La première étape permet, également, de calculer la quantité de batteries. L'énergie qu'il faut stocker dépend directement de la périodicité de la consommation. Autrement dit, il vous faudra beaucoup moins de batteries si vous consommez un peu d'électricité tous les jours (consommation régulière) que si vous consommez tout en quelques jours (par exemple pendant les vacances), et cela même si dans les deux cas vous avez consommé la même quantité. Enfin, le dimensionnement de l'installation photovoltaïque autonome est terminé lorsque le calcul de la section des câbles électriques transportant l'énergie est effectué. Une section trop petite augmente la résistance et la température du câble, ce qui réduit la puissance de l'installation.



## 1. Introduction

Les systèmes décrits dans ce chapitre concernant principalement les habitations et les locaux occupés de façon irrégulière, pour un usage professionnelle ou de loisirs. Le principal souci des occupants de ces habitations ou locaux est alors de se procurer à moindres frais un système énergétique leur apportant un minimum de confort pendant les périodes d'occupation. Un investissement lourd ne se justifie pas, ni des frais importants. Les habitations ou les locaux visés sont donc, principalement :

- Les résidences secondaires légers (cabanons, caravanes), et les résidences secondaires « en dur » généralement restaurées (bergeries...);
- Certains locaux à usage professionnel (bergerie, cabane d'alpage...);
- Certains locaux à vocation touristique (refuges de montagne, gites d'étape...);

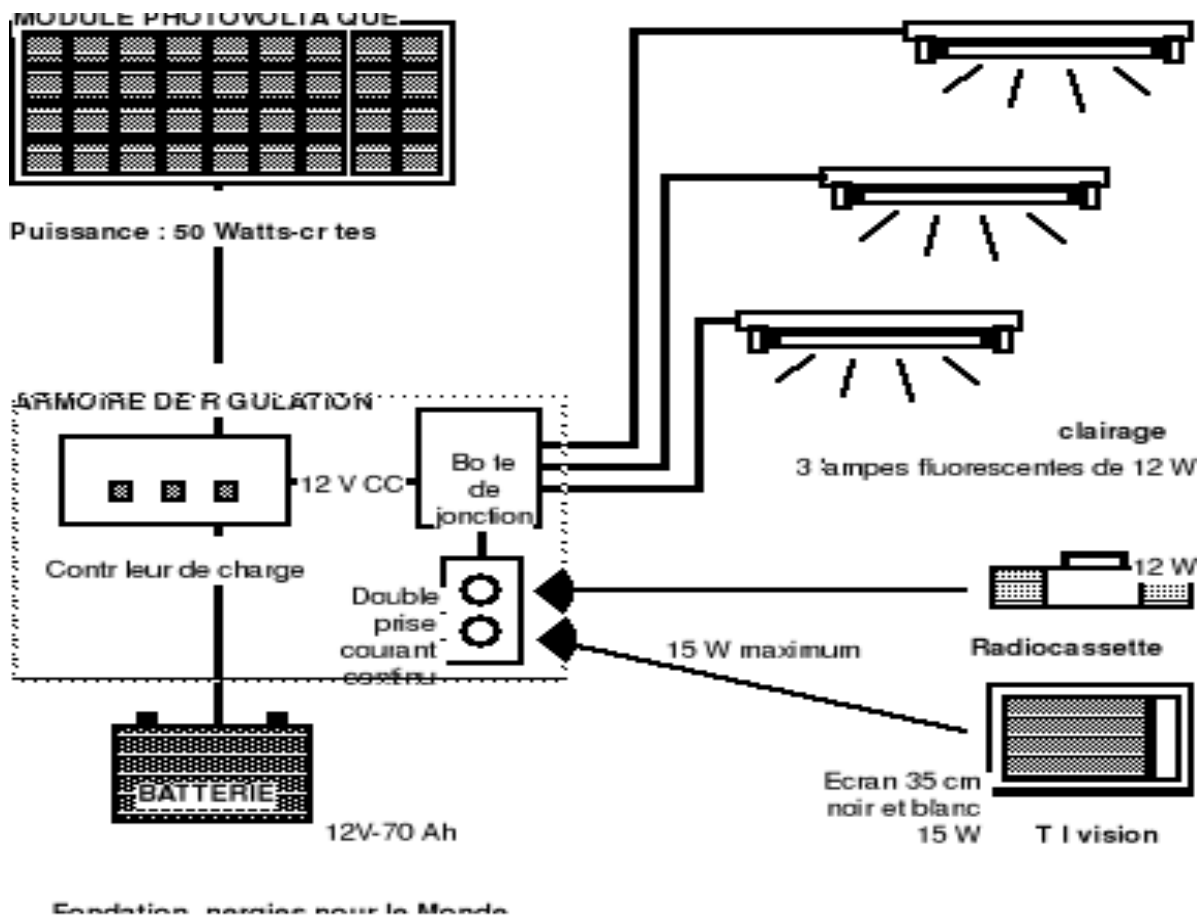
Cependant, certains occupants de résidences permanents peuvent également être intéressés par des systèmes de ce type, principalement :

- Des habitats à faible revenus financiers, qui peuvent rarement « investir » dans un système énergétique onéreux. (c'est le cas, en particulier, des néo-ruraux, les nouveaux agriculteurs ou artisans en rupture de vie citadine);
- Des habitants très éloignés d'un réseau électrique, qui ne peuvent pas être aidés pour leur raccordement au réseau : ils désirent améliorer leur niveau de confort pour un investissement faible dans l'attente de modifications dans la politique d'électrification (création d'une nouvelle ligne à proximité qui modifie le cout du raccordement...); En somme, il s'agit de fournir à ces habitants un système électrique permettant de satisfaire les besoins essentiels pour un coût minimal. Mais d'abord, quels sont les besoins considérés comme essentiels ?

## 2. Analyse des besoins en énergie et de leur satisfaction

### 2.1. La situation généralement rencontré

Cette situation est résumée dans la figure 2.1 qui décrit le système énergétique généralement utilisé dans les habitations concernés.



**Figure 3.1.** Système énergétique d'une habitation peu fréquentée comprenant un équipement photovoltaïque.

Les rectangles non reliés correspondent à des sources d'énergie non utilisées ou à des besoins non pris en compte. Les lignes en pointillés indiquent une utilisation assez rare de la source d'énergie considérée.

Il est frappant de constater que le choix de la source permettant de satisfaire tel ou tel besoin ne résulte jamais du choix unique d'une source d'énergie (faire du tout électrique par exemple). Les occupants étudient systématiquement le moyen le plus efficace et le plus rentable pour satisfaire chacun des besoins : par exemple, l'éclairage est effectué à partir du pétrole et du gaz, jamais à partir de des piles électriques (pour un même niveau d'éclairage, l'éclairage à piles est effectivement de 10 à 100 fois plus cher que l'éclairage au gaz).

## 2.2. Insertion d'un système photovoltaïque dans ce système énergétique

Le système énergétique est capable de :

- Satisfaire des besoins non pris en compte dans le schéma précédent : télévision et certains petits appareils domestiques (ventilateur, rasoir...);
- Remplacer certaines sources d'énergie. En priorité, il convient de limiter au maximum l'usage des piles (pour utilisation de secours exclusivement). Mais, la consommation du gaz et du pétrole peut également être notablement diminuée.

Le système énergétique est alors décrit par la figure 2.1.

### 3. Le système électrique préconisé

#### 3.1. Principes

L'objectif principal du système est de satisfaire les besoins retenus au moindre coût. Le système devrait autant que possible respecter les deux conditions suivantes : faire correspondre au mieux les besoins en énergie avec les apports solaires. Le système décrit répond donc particulièrement bien aux besoins :

- D'une résidence où les besoins sont sensiblement les mêmes tout au long de l'année, mais qui est en moyenne deux fois plus occupée l'été que l'hiver (résidence secondaire).
- permettre une distribution simple de l'énergie électrique et l'utilisation d'appareils peu coûteux et présentant un bon rendement énergétique. Cette condition conduit naturellement à choisir une distribution en courant continu. Celle-ci, vu la faible puissance crête du panneau photovoltaïque, doit s'effectuer au plus en 48 V, de préférence entre 12 V et 24 V. le choix dépend principalement des appareils existant et suppose donc une enquête préalable approfondie à ce sujet ; rappelons cependant :
- Qu'il est plus facile de trouver des appareils fonctionnant en 12 VCC qu'en 24 VCC ;
- Qu'une distribution en 24 VCC est préférable puisqu'à puissance égale le courant nécessaire pour alimenter un appareil fonctionnant en 24 VCC, et donc la section des câbles, seront deux fois moins importants.

#### 3.2. Choix des appareils

Eclairage : par luminaire à tube fluorescent à micro-convertisseur incorporé.  
Reproduction du son et de l'image : chaîne hi-fi type « voiture » ou chaîne compactes fonctionnant en BT CC ; téléviseur économe en énergie (45 à 80 W).

### 3.3. La batterie et le régulateur

La capacité de la batterie est de quelque KWh. Le choix se portera donc de préférence vers des accumulateurs au plomb-calcium. Leur capacité unitaires est limitée à 100 Ah environ. Une batterie de 3KWh par exemple pourra donc être réalisée à partir de trois accumulateurs 12 V-100Ah.

Le régulateur sur lequel viennent se connecter la batterie, le panneau photovoltaïque et les appareils doit de préférence être acheté avec les modules photovoltaïques. Chaque fabricant propose une gamme de régulateurs dimensionnés selon la puissance crête du panneau. Nous présentons dans la figure 2.2 les connexions et les commandes d'un des régulateurs disponibles sur le marché.

En face avant un bornier permet un câblage simple des circuits suivants :

- Batterie ;
- Panneau photovoltaïque ;
- Trois circuits de distribution ;

Des interrupteurs permettant l'alimentation de chacun des circuits de distribution. Deux lampes de visualisation indiquent l'état de charge de la batterie (une lampe verte pour indiquer la charge complète de la batterie et une lampe rouge pour indiquer un trop faible niveau de charge) ; Le disjoncteur permet d'isoler les trois circuits de distribution de la batterie. En fonctionnement normal, il s'ouvre automatiquement :

- Si la batterie est trop déchargée ;
- Si l'un des circuits de distribution est en court-circuit ;

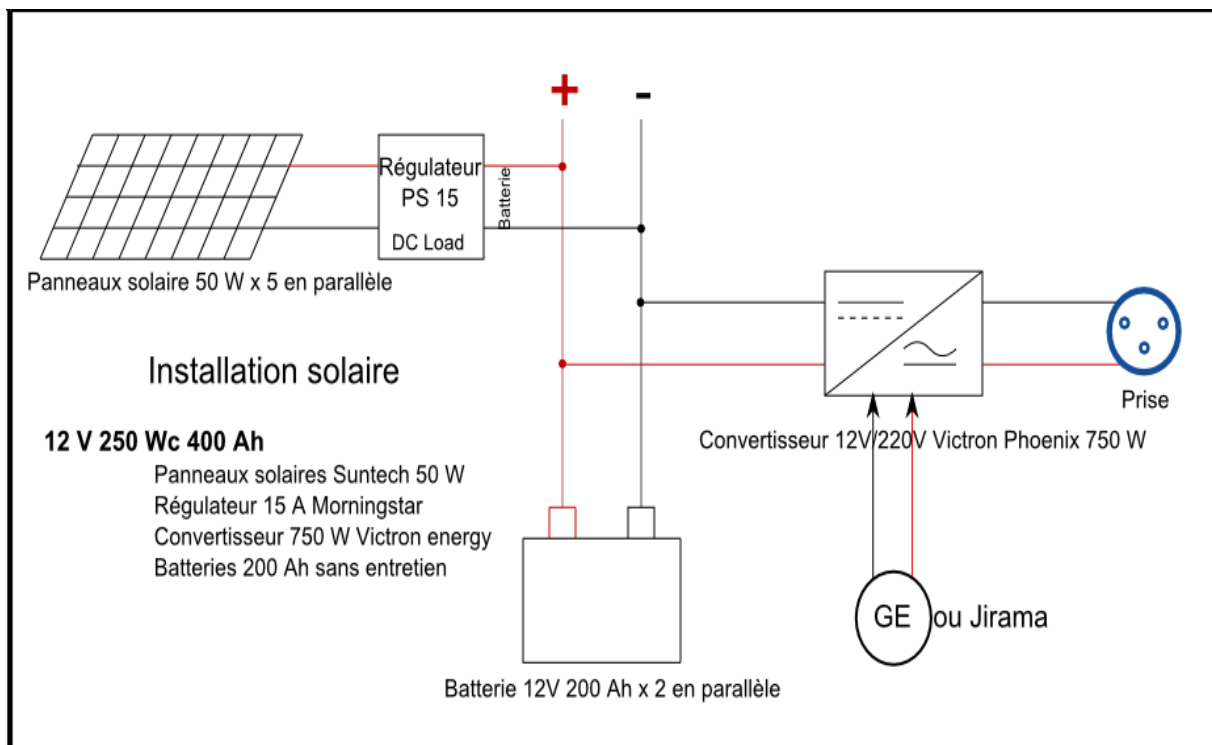


Figure 3.2.description de la batterie et régulateur

## 4. Les différents types d'installations photovoltaïques

### 4.1. Alimentations électriques faibles puissances

Les alimentations électriques faibles telles que les calculatrices ou les chargeurs de piles. Des modules PV peuvent faire fonctionner n'importe quel appareil alimenté par des piles.

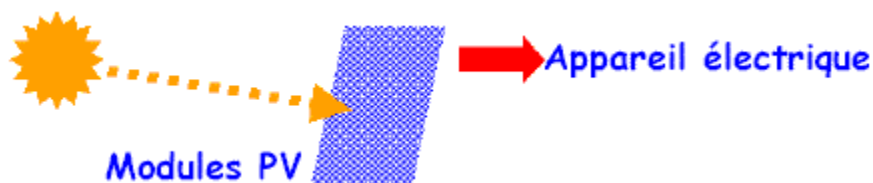


Figure 3.3. Alimentations électriques faibles puissances

### 4.2. Installations électriques photovoltaïques autonomes

En site isolé le champ photovoltaïque peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un

système de régulation et une batterie d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique en l'absence de soleil.

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques: Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie. La majorité des populations à l'écart des réseaux électriques vit dans des zones rurales, où l'implantation de tels réseaux est difficile, pour des raisons d'accès ou de moyens. Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante, ils donnent aux populations un accès à l'électricité avec un coût, une maintenance et des difficultés de mise en œuvre réduites.

En site isolé on peut utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif. Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur.

Un **onduleur** est un dispositif électronique et statique qui convertit le courant électrique continu en courant alternatif avec la fréquence souhaitée.

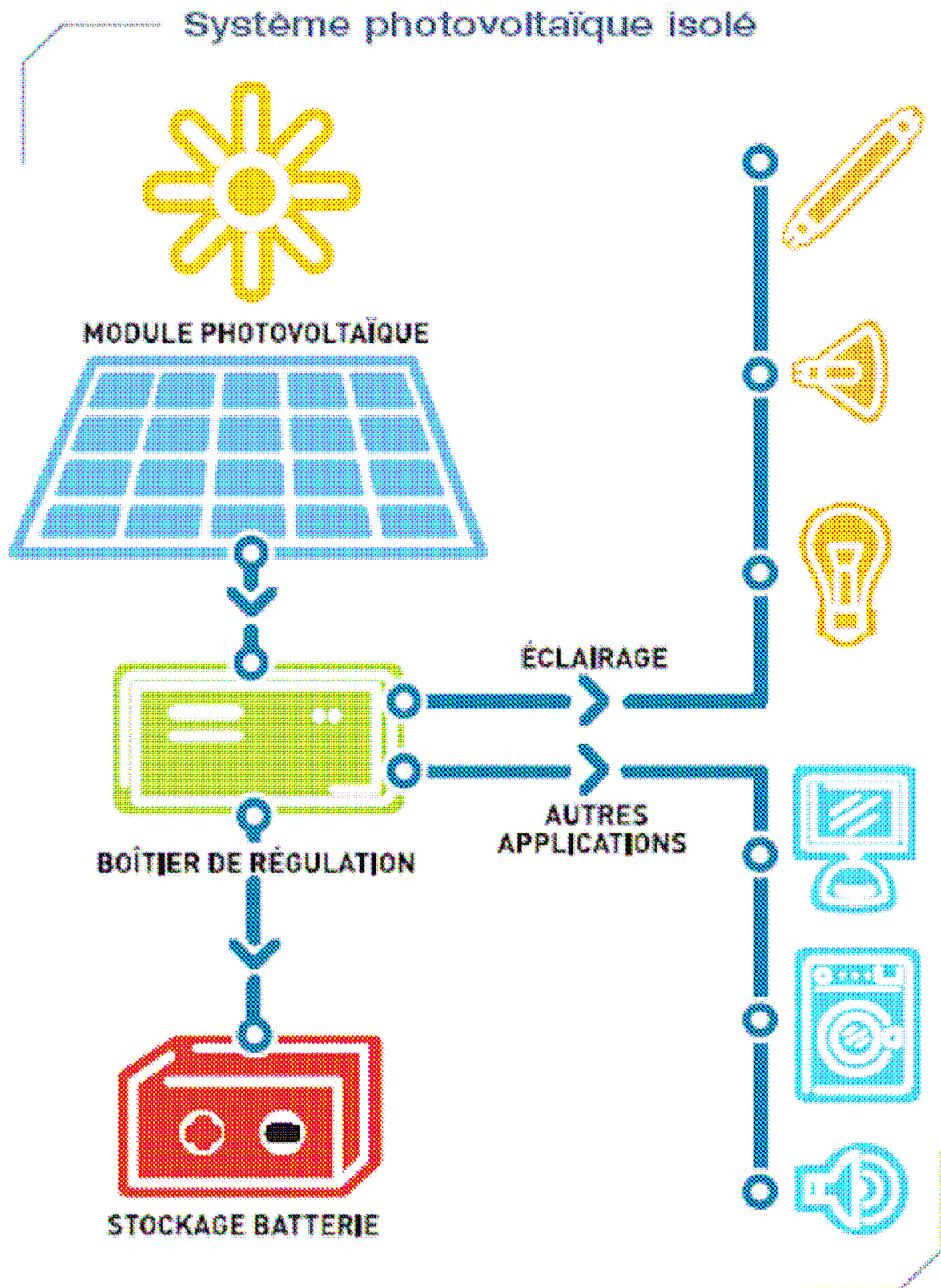


Figure 3.4. Installations électriques photovoltaïques autonomes.

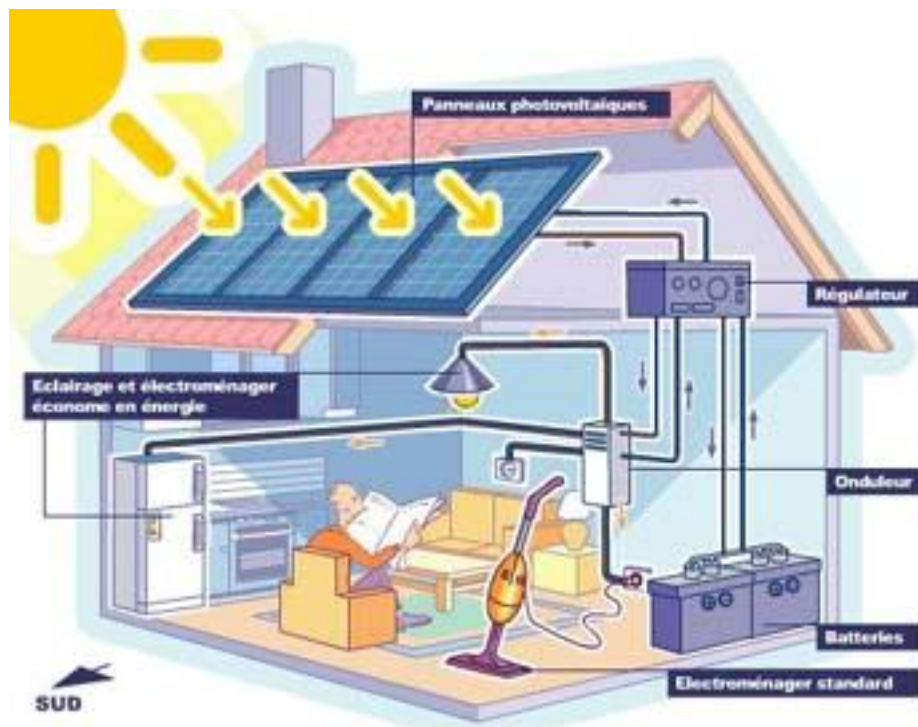


Figure 3.5 Installations électriques photovoltaïques autonomes avec onduleur.

### 4.3. Installations électriques photovoltaïques raccordées au réseau

#### 4.3.1. Installation PV raccordée au réseau sans injection ("autoconsommation")

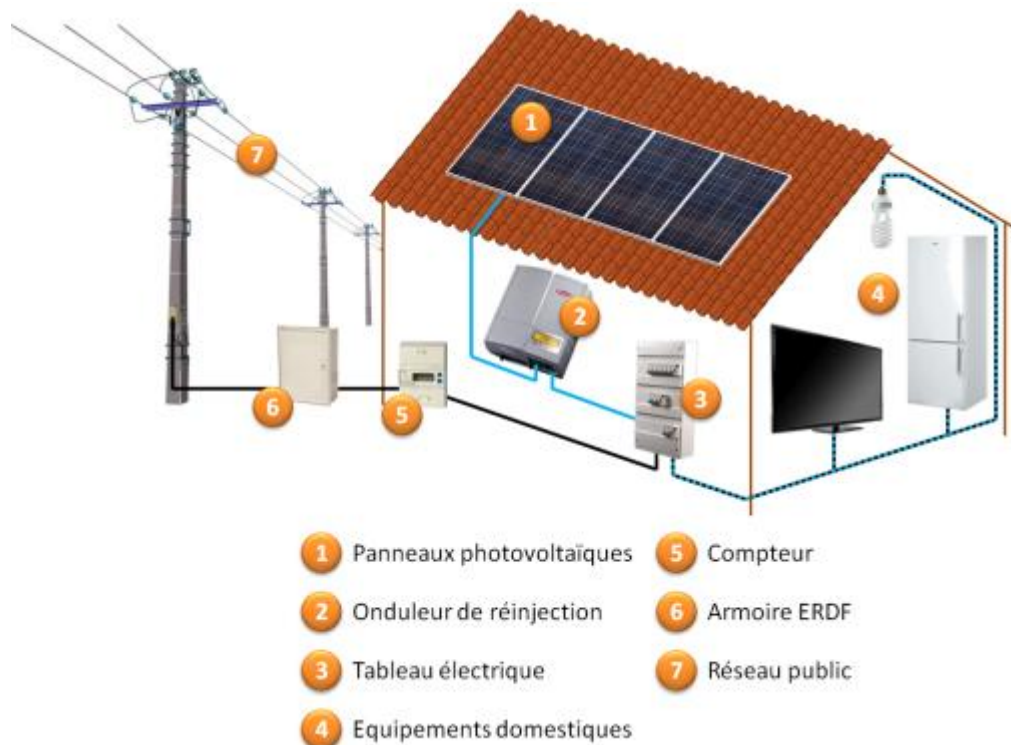


Figure 3.6. Installation PV raccordée au réseau sans injection (« autoconsommation »).

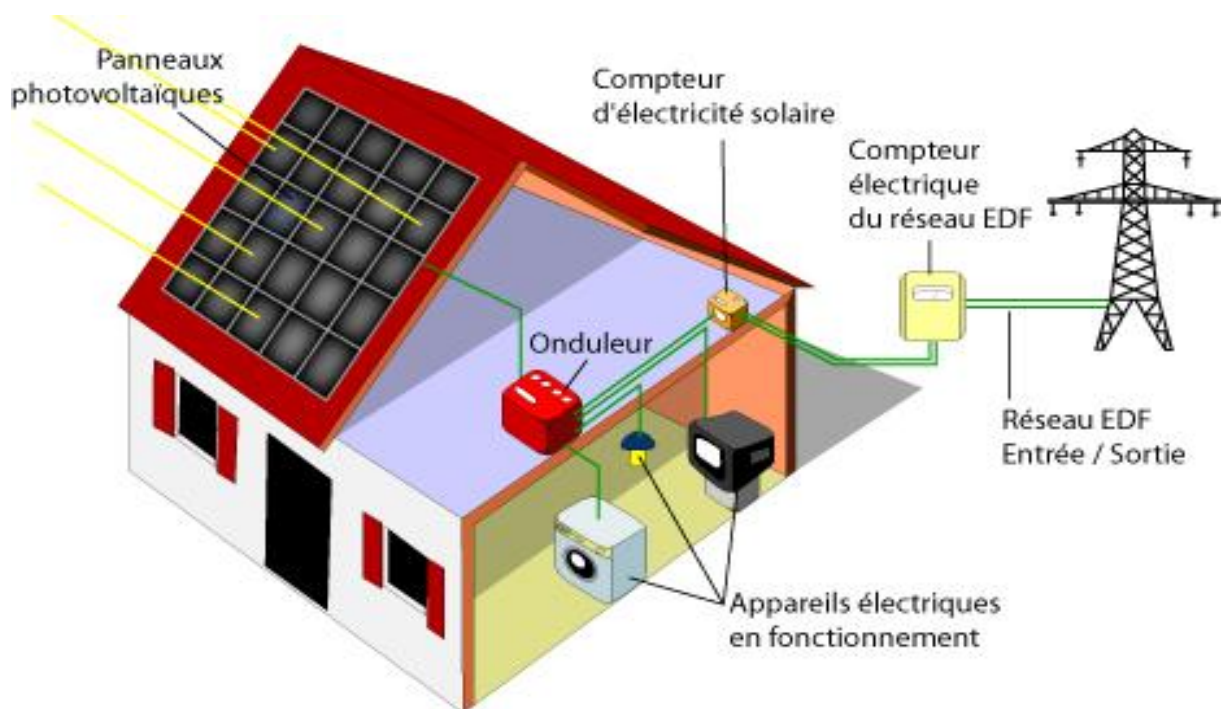


#### 4.3.2.. Installation PV raccordée au réseau avec injection des excédents de production

Le propriétaire de l'installation doit établir deux contrats pour être en mesure de vendre une partie de l'électricité photovoltaïque produite à tarif bonifié :

- un contrat de raccordement au réseau public de distribution de l'électricité,
- un contrat d'achat de l'électricité par « l'acheteur » (EDF).

Deux compteurs d'énergie sont nécessaires : un compteur comptabilise l'énergie achetée au fournisseur d'énergie (EDF ...) et un autre compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque votre production dépasse votre consommation. Le compteur de vente qui enregistre le courant injecté est installé sur la partie de ligne appartenant au réseau de distribution publique DP.



**Figure 3.7.** Installation PV raccordée au réseau avec injection des excédents de production.

## **5. 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 tant de point de vue des modules que les batteries. 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, régulateurs et onduleurs.

## 1. Introduction

L'utilisation des cellules solaires comme source d'énergie électrique a fait apparaître le besoin d'étudier un projet d'installation photovoltaïque.

Dans ce chapitre nous allons simuler une installation photovoltaïque pour un particulier qui possède une maisonnette. La simulation de l'installation à Annaba en utilisant le logiciel RETScreen qui est un outil logiciel d'analyse de projets d'énergies propres basé sur Excel qui aide les décideurs à déterminer rapidement et à peu de frais si un projet d'énergie renouvelable, d'efficacité énergétique et de cogénération est financièrement et techniquement viable.

## 2. Etude d'un projet d'installation

Le photovoltaïque (PV) consiste à produire de l'électricité à partir de la lumière, qui est propre et pas cher.

«Propre» relativement à beaucoup d'autres énergies c'est effectivement le cas.

Totalement cela serait sans compter à la production des différents composants et surtout l'utilisation de batteries au plomb comme solution de stockage dont le recyclage est loin d'être exhaustif.

«Pas cher» effectivement pour le carburant, «RA» le Dieu du Soleil est là. Pour l'investissement en concurrence d'autres solutions un générateur photovoltaïque est considéré comme le moins cher mais que peut-on en retenir pour une consommation qui resterait raisonnable :

- A moins d'un km du réseau électrique ou sur sites très ventés face aux éoliennes ou encore face à des micros turbines hydroélectriques à proximité d'un cours d'eau jamais à sec il reste plus cher et surtout moins productif et fiable. Sinon comparativement aux générateurs à hydrocarbures il est clairement démontré gagnant à moyen et long termes.
- Le coût d'acquisition est somme toute conséquent et son amortissement est le plus souvent calculé sur une décade au minimum.
- Les composants les plus onéreux sont pour les utilisations conventionnelles les panneaux et les unités de stockage (batteries). Les premiers ont une durée de vie avoisinant les 20-25 ans tandis que les batteries selon leurs spécificités pourront fonctionner entre 3 à 7 ans et représentent en général 20 % de l'investissement initial lorsqu'elles ont les durées de vie les plus longues.
- L'entretien mensuel (niveau d'eau distillée / batteries, lavage ou essuyage / panneaux) ou annuel (vérification des câblages) et l'utilisation sont assez aisés mais demande régularité et respect de consignes strictes.
- Outre le câblage qui peut subir des détériorations au fil du temps, la maintenance se résume le plus souvent au changement des batteries. Attention aux utilisations extrêmes d'installation (froid, humidité et chaleur).

- La faible tension produite impose un dimensionnement inversement conséquent du parc de stockage et ce qui est accru dès lors que la consommation sera importante, le climat peu clément pendant plusieurs jours comme les périodes de black out pour le stockage d'électricité de secours.
- Côté production, les modules photovoltaïques du commerce ont un rendement maximal de 14% (bientôt 16-17 %), c'est à dire que pour une puissance solaire de  $1000 \text{ W/m}^2$  (qui est à peu près celle reçue à midi solaire en début d'été) la puissance électrique disponible est de l'ordre de  $140 \text{ W}$  par  $\text{m}^2$  de module.

Le principe fondamental à suivre est que le dimensionnement d'un système doit s'aborder sous deux angles. Celui du champ photovoltaïque, le nombre de panneaux, et celui du parc de stockage, le nombre de batteries et ses options de raccordement pour jouer sur sa puissance.

### 3. Besoin énergétique de l'installation

Consommations	Puissance en W	Quantité	Durées en h d'utilisation	Tx conso. en W.h	Tx conso. en Amp.h
PC1	320	1	4	1280	53.33
Lampes 24V cuisines	13	2	4	104	4.33
Lampes 24V chambre	13	2	4	104	4.33
Lampes 24V salle annexe	13	1	2	26	1.08
Lampes 24V réfectoire	13	6	4	312	13
Lampe 24V extérieure 1	13	1	4	52	1.08
Lampe 24V extérieure 2	8	1	6	48	2
TV	160	1	3	480	20
réfrigérateur	300	1	24	7200	300
autre	60	5	4	240	10
Total de l'installation				9648	409.15

**Tableau 4.1** besoin énergétique pour installation PV pour l'habitation

#### 4. Installation des batteries

Enfin nous arrivons à la dernière étape le dimensionnement du parc et le mode de raccordement des batteries. Deux principes doivent être considérés à ce stade :

- deux ou plusieurs batteries montées en série gardent la même capacité qu'une d'entre elle et cumulent leur tension soit le voltage ;
- deux ou plusieurs batteries montées en parallèle cumulent leur capacité respective et gardent le même voltage.

Pour mon simulation j'ai choisir la deuxième deux batteries en parallèle.

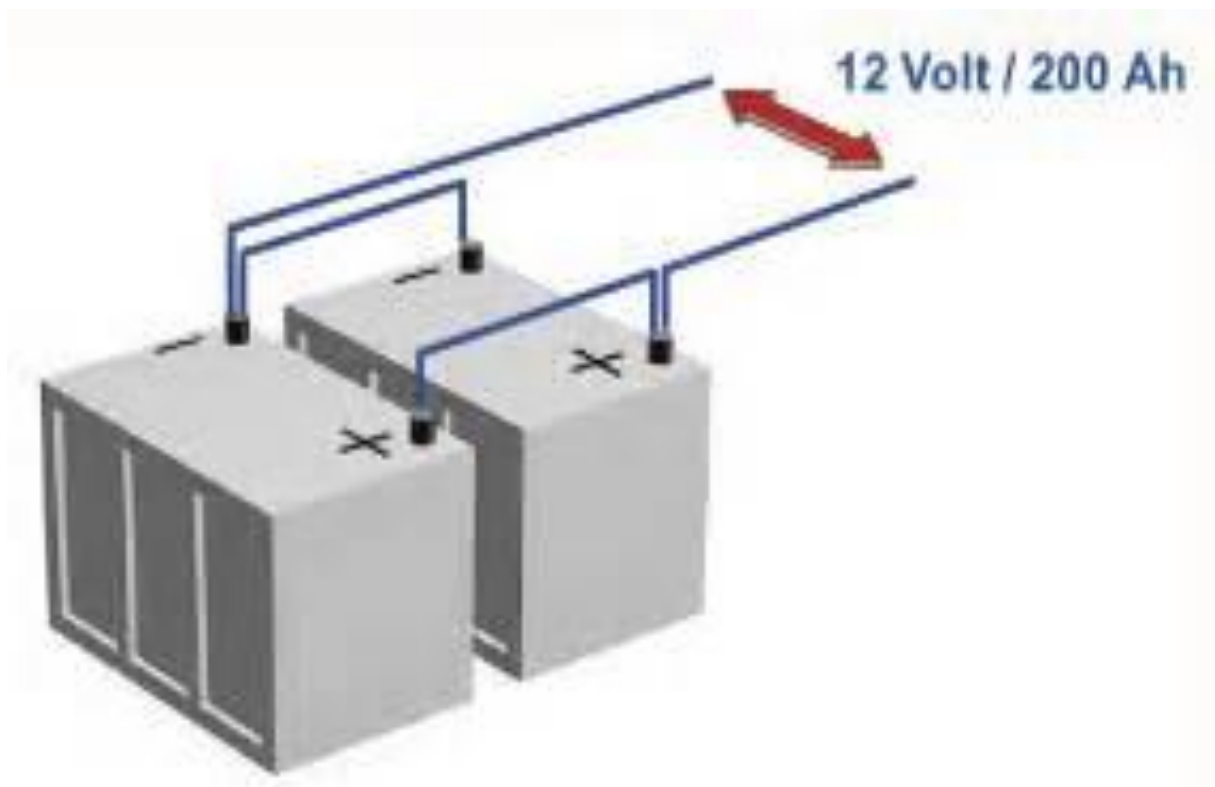


Figure 4.1. Description de deux batteries raccordées en parallèle

## 5. Description du Logiciel

Comme nous l'avons décrit ci-haut, RETScreen4 est un outil logiciel d'analyse de projets d'énergies propres. Il est basé sur Excel et aide à déterminer rapidement et économiquement un projet d'énergie renouvelable.

Dans la version 4 de RETScreen, les capacités du logiciel seront étendues des énergies renouvelables, de la cogénération et des réseaux énergétiques, à une gamme complète de technologies propres de chauffage, de climatisation et de mesures d'efficacité énergétique économiquement viables. L'intérêt international pour cet outil d'aide à la décision a été augmenté par l'expansion des données climatiques requises par l'outil, afin de couvrir la surface entière de la planète, incluant les régions raccordées à un réseau d'électricité central, isolés et hors du réseau, de même que par la traduction du logiciel en 36 langues, couvrant ainsi environ les deux-tiers de la population mondiale.

Les éléments clés de ce travail significatif sont les suivants :

- Le développement d'une série de nouveaux modèles pour l'évaluation de mesures d'efficacité énergétique pour les bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels, les communautés ainsi que les installations et les procédés industriels.
- L'expansion de la base de données climatiques RETScreen à 6700 stations météorologiques au sol réparties à travers le monde et pour les régions habitées, l'intégration à même le logiciel RETScreen des données météorologiques et d'énergie solaire au sol, amélioré de la NASA.
- L'intégration en un seul et même fichier des modèles RETScreen existants pour les énergies renouvelables (ex. : énergie éolienne) et la cogénération, de même que les nouveaux modèles pour les mesures d'efficacité énergétique, en plus de l'expansion des capacités des modèles existants pour évaluer des technologies émergentes, telles que l'énergie des courants océaniques et l'énergie de la houle.
- La traduction en 36 langues du logiciel et des bases de données (ex. : chinois, français, allemand, hindi, italien, japonais, portugais, russe, espagnol, etc.).



- La diffusion élargie de l'outil via le site web de RETScreen, des formations locales ciblées et la diffusion par un réseau international de formateurs RETScreen et de partenaires.

Les résultats escomptés de ce travail sont à l'effet que d'ici la fin de 2012, 300000 planificateurs, professionnels et décideurs auront été habiletés à prendre de meilleures décisions énergétiques, par suite de ce transfert de connaissances et de l'utilisation subséquente des outils améliorés d'aide à la décision.

## 6. Type d'installation

À l'heure actuelle, c'est dans les endroits isolés, loin d'un réseau électrique et où les besoins en énergie sont relativement faibles (généralement moins de 10 kWc) que l'énergie photovoltaïque est la plus concurrentielle. Dans ces applications hors réseau, l'énergie solaire captée par les modules sert fréquemment à recharger des batteries d'accumulateurs. L'énergie électrique ainsi emmagasinée permet alors de livrer l'électricité aux usagers quand ils le demandent.



Figure 4.2 Schéma de l'installation

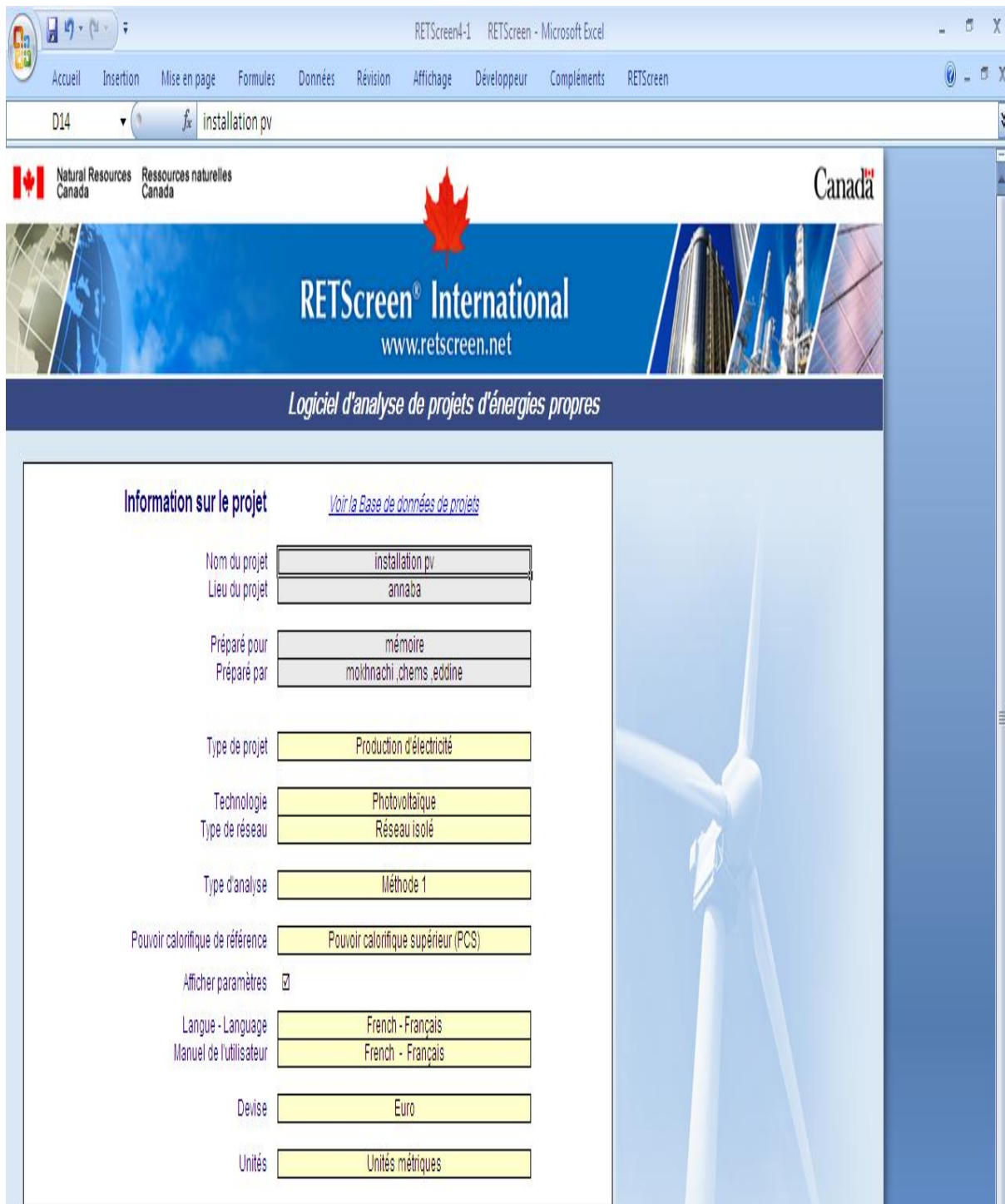


Figure 4.3 : Capture d'écran. Information sur le projet

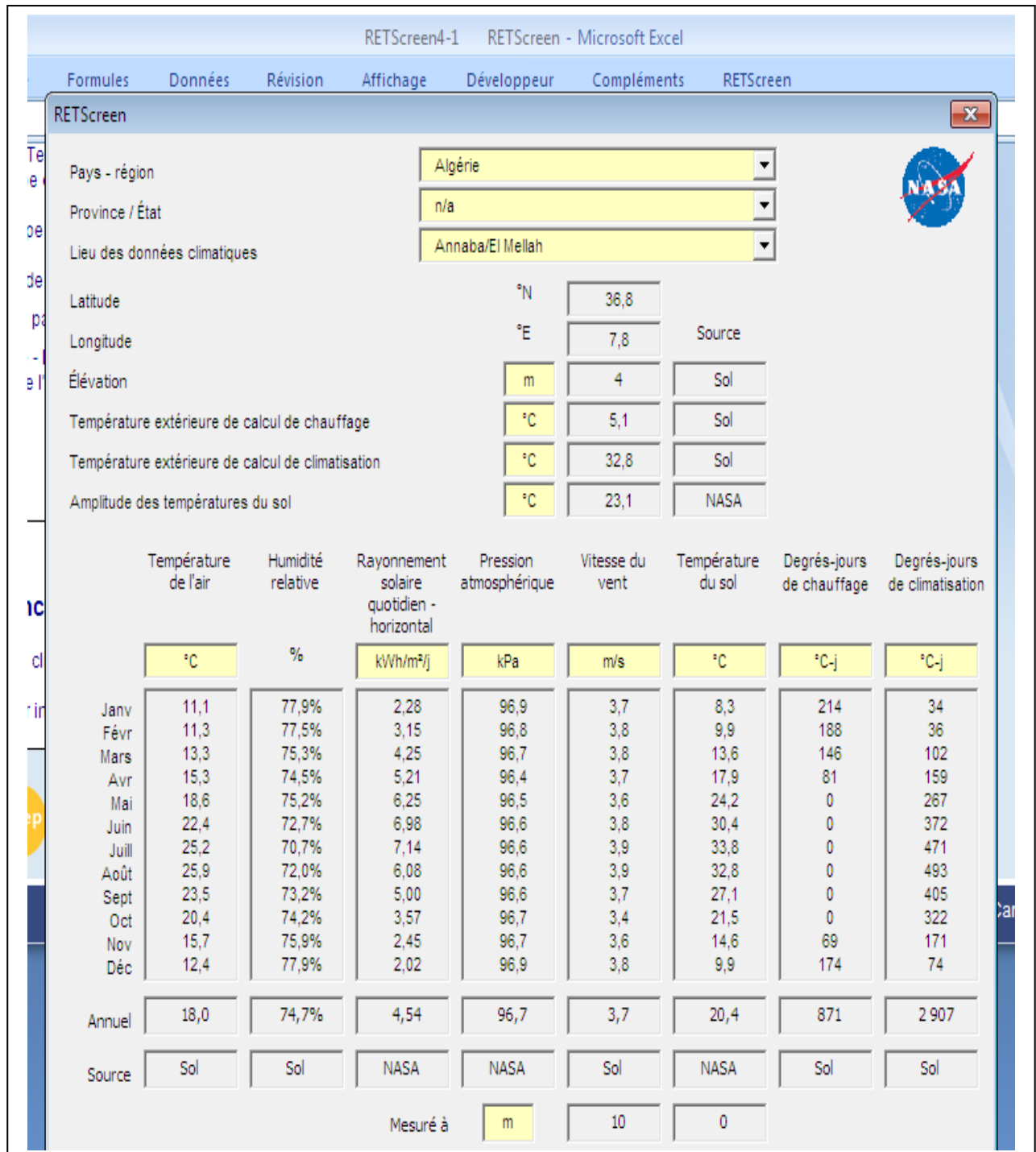


Figure 4.4 : Capture d'écran .lieu de projet

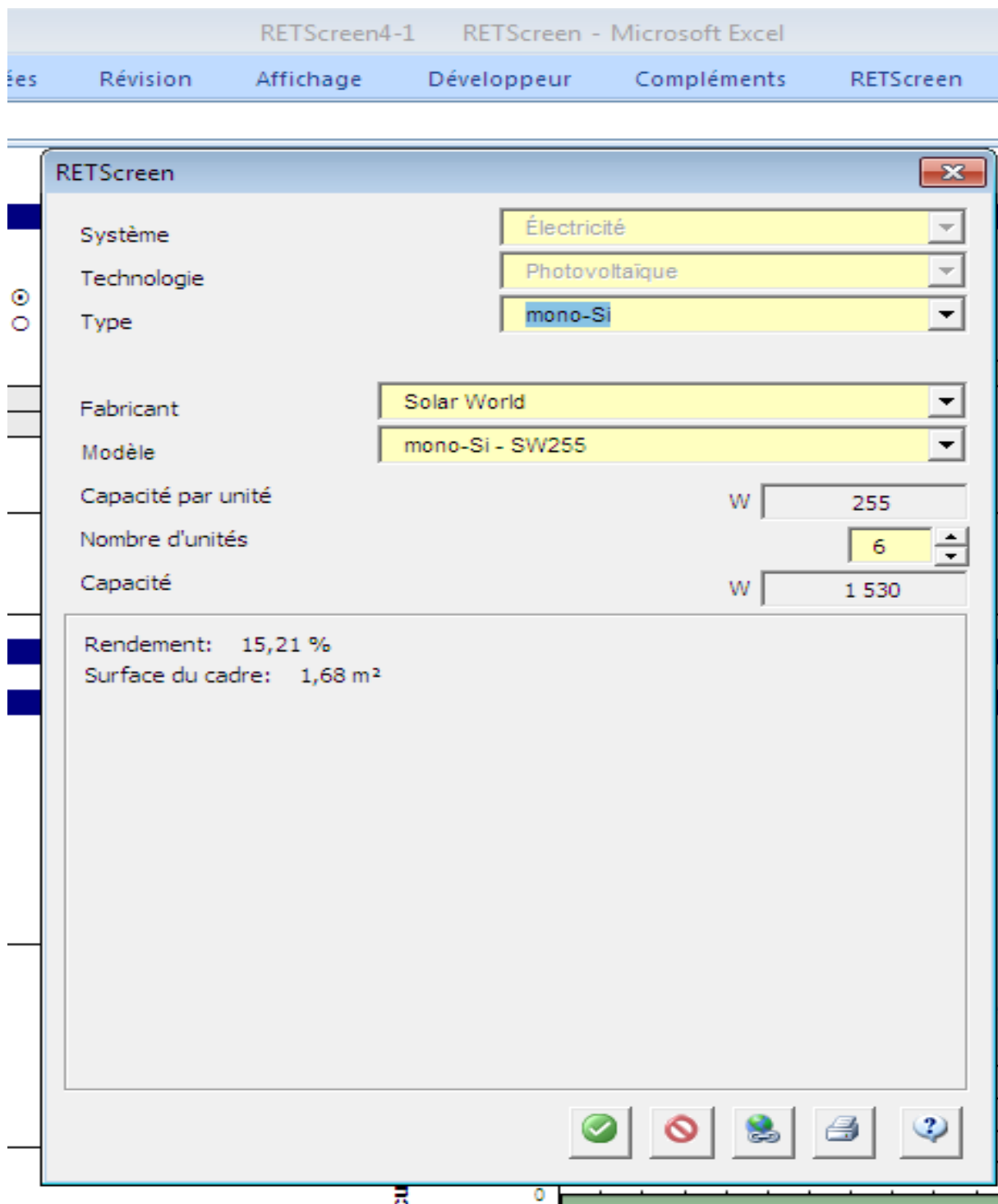


Figure 4.5 : Capture d'écran du type du panneau

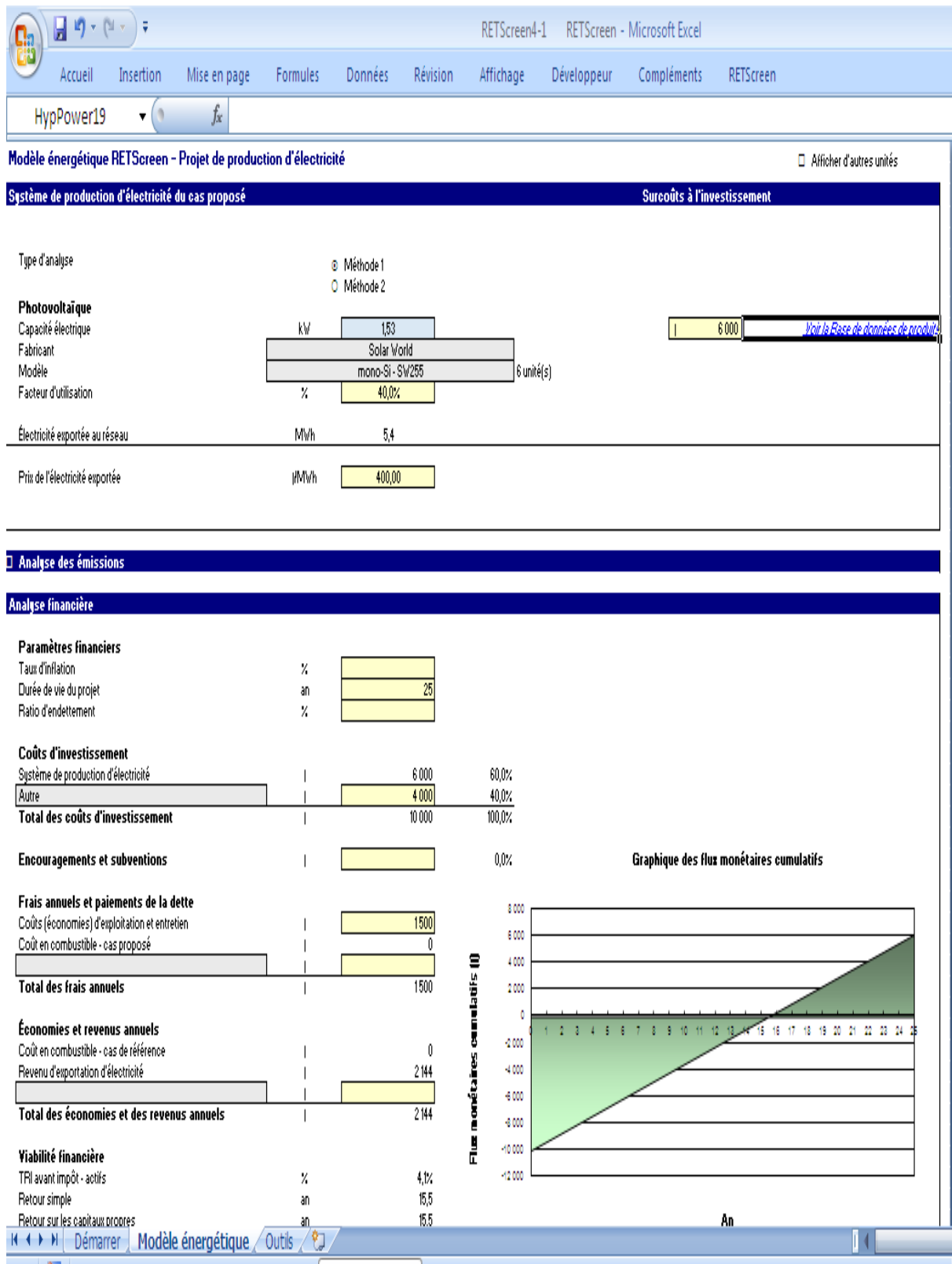


Figure 4.6 Capture d'écran du résultat de la simulation

## 7. Résultats et interprétations

La production reconnue d'un module solar world qu'on a utilisé dans notre simulation de 255 Wc est de 2295 Wh par journée moyenne, soit pour 6 panneaux **13770 Wh/j**.

Il faut noter que c'est le potentiel de production, la quantité d'énergie disponible en sortie du champ photovoltaïque avec conditions climatiques favorables, forcément supérieur à la consommation que le système dans l'ensemble de ses composants permettra puisqu'il y a des pertes de tension et l'efficacité de ces différents composants à considérer, en particulier 0,85 % pour l'accumulation de la charge, il resterait plus de **6244 Wh/j** utilisables.

L'installation de 1 m<sup>2</sup> de panneaux solaires photovoltaïques coûte environ 1000 € (coût du panneau + coût de la pose).

Module de 100 W exposé à 1 h d'ensoleillement maximal = 100 Wh.

Le rayonnement annuel à Annaba est typiquement de 220 jours d'ensoleillement maximal (entre 180 et 220 jours). Alors,

1 module de 100 W = potentiel de 990 kWh/an.

En raison des pertes de tension et de l'efficacité imparfaite des systèmes, la production d'énergie photovoltaïque est souvent évaluée comme suit :

**Module de 100 W installé produit presque 990 kWh/an**

## 8. Conclusion

L'analyse de résultats de la simulation a prouvé que la ville d'Annaba a un potentiel important de production de l'électricité à partir des panneaux solaires photovoltaïques.



### **Conclusion générale:**

Les résultats présentés dans ce travail théorique nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

Les panneaux solaires sont une solution pour les endroits isolés, non raccordés au réseau électrique et pour rendre des installations autonomes. L'énergie solaire peut également s'avérer très avantageuse dans le cas d'installations chez des particuliers.

Cependant, les panneaux solaires ne sont actuellement pas rentables pour une production à grande échelle, à cause de nombreuses limites et des autres sources d'énergie plus avantageuses telles que les énergies fossile.

Les panneaux solaires sont donc parfaits pour compléter les besoins énergétiques mais toute l'énergie ne peut être produite entièrement par leur utilisation.

L'idéal serait donc une mixité des énergies où le solaire serait utilisé au maximum de son potentiel ainsi que les autres énergies renouvelables.

L'énergie solaire est toutefois une solution d'avenir qui vaut le coup d'être plus exploitée, d'autant plus que de nombreuses améliorations sont encore possibles.

# annexe

---

## Annexe chapitre 1 :

### 1.Principe de fonctionnement :

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant au passage un « trou ». Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se replacer, et l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée. Le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du matériau au lieu de se recombiner simplement en son sein : ainsi, il apparaîtra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces, comme dans une pile.

L'une des solutions, couramment utilisée, pour extraire sélectivement les électrons et les trous utilise un champ électrique au moyen d'une jonction PN, entre deux couches dopées respectivement P et N :

- ❖ La couche supérieure de la cellule est composée d'un semi-conducteur dopé N. Dans cette couche, il existe une quantité d'électrons libres supérieure à celle du matériau intrinsèque (i.e. non dopé), d'où l'appellation de dopage N, comme négatif (charge de l'électron). Le matériau reste électriquement neutre : c'est le réseau cristallin qui supporte globalement une charge positive.
- ❖ La couche inférieure de la cellule est composée d'un semi-conducteur dopé P. Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons libres inférieure à celle du matériau intrinsèque (i.e. non dopé), les électrons sont liés au réseau cristallin qui, en conséquence, est chargé positivement. La conduction électrique est assurée par des trous, positifs (P).

Au moment de la création de la jonction P-N, les électrons libres de la région N rentrent dans la couche P et vont se recombiner avec les trous de la région P. Il existera ainsi, pendant toute la vie de la jonction, une charge positive de la région N au bord de la jonction (parce que les électrons en sont partis) et une charge négative dans la région P au bord de la jonction (parce que les trous en ont disparu) ; l'ensemble forme la Zone de Charge d'Espace (ZCE) et il existe un champ électrique entre les deux, de N vers P. Ce champ électrique fait de la ZCE une diode, qui ne permet le passage du courant que dans un sens : les électrons peuvent passer de la région P vers la région N, mais pas en sens inverse ; inversement les trous ne passent que de N vers P.

En fonctionnement, quand un photon arrache un électron à la matrice, créant un électron libre et un trou, sous l'effet de ce champ électrique ils partent chacun à l'opposé : les électrons s'accumulent dans la région N (qui devient le pôle négatif), tandis que les trous s'accumulent dans la couche dopée P (qui devient le pôle positif). Ce phénomène est plus efficace dans la ZCE, où il n'y a pratiquement plus de porteurs de charges (électrons ou trous) puisqu'ils se sont annihilés, ou à proximité immédiate de la ZCE : lorsqu'un photon y crée une paire électron-trou, ils se séparent et ont peu de chance de rencontrer leur opposé, alors que si la

# annexe

création a lieu plus loin de la jonction, l'électron (resp. le trou) nouveau conserve une grande chance de se recombiner avant d'atteindre la zone N (resp. la zone P). Mais la ZCE est très mince, aussi n'est-il pas utile de donner une grande épaisseur à la cellule.

D'un point de vue électrique, une cellule photovoltaïque est l'équivalent d'un générateur de courant auquel on a adjoint une diode. Il faut ajouter des contacts électriques (qui laissent passer la lumière en face éclairée : en pratique, on utilise un contact par une grille), une couche antireflet pour assurer une bonne absorption des photons, etc.

Pour que la cellule fonctionne, et produise le maximum de courant, on ajuste le gap du semi-conducteur au niveau d'énergie des photons. On peut éventuellement empiler les jonctions, de façon à exploiter au mieux le spectre d'énergie des photons, ce qui donne les cellules multi-jonctions.

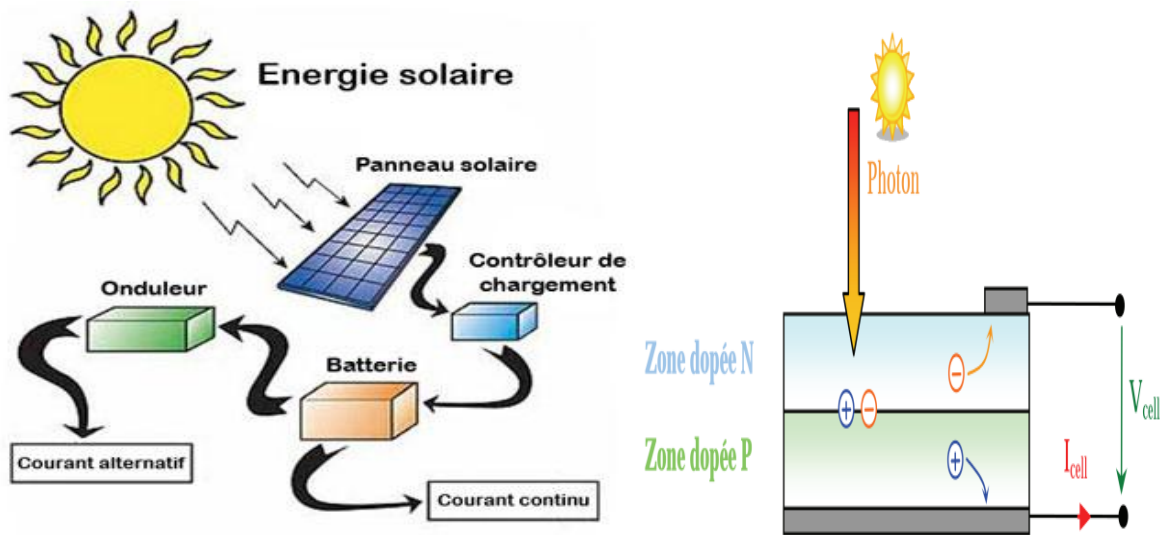


Fig.1. Principe de fonctionnement d'une cellule PV-

- La couche supérieure de la cellule est composée d'un semi-conducteur dopé N. Dans cette couche, il existe une quantité d'électrons libres supérieure à celle du matériau intrinsèque (i.e. non dopé), d'où l'appellation de dopage N, comme négatif (charge de l'électron). Le matériau reste électriquement neutre : c'est le réseau cristallin qui supporte globalement une charge positive.
- La couche inférieure de la cellule est composée d'un semi-conducteur dopé P. Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons libres inférieure à celle du matériau intrinsèque (i.e. non dopé), les électrons sont liés au réseau cristallin qui, en conséquence, est chargé positivement. La conduction électrique est assurée par des trous, positifs (P).

Au moment de la création de la jonction P-N, les électrons libres de la région N rentrent dans la couche P et vont se recombiner avec les trous de la région P. Il existera ainsi, pendant toute la vie de la jonction, une charge positive de la région N au bord de la jonction (parce que les électrons en sont partis) et une charge négative dans la région P au bord de la jonction (parce

# annexe

---

que les trous en ont disparu) ; l'ensemble forme la Zone de Charge d'Espace (ZCE) et il existe un champ électrique entre les deux, de N vers P. Ce champ électrique fait de la ZCE une diode, qui ne permet le passage du courant que dans un sens : les électrons peuvent passer de la région P vers la région N, mais pas en sens inverse ; inversement les trous ne passent que de N vers P.

En fonctionnement, quand un photon arrache un électron à la matrice, créant un électron libre et un trou, sous l'effet de ce champ électrique ils partent chacun à l'opposé : les électrons s'accumulent dans la région N (qui devient le pôle négatif), tandis que les trous s'accumulent dans la couche dopée P (qui devient le pôle positif). Ce phénomène est plus efficace dans la ZCE, où il n'y a pratiquement plus de porteurs de charges (électrons ou trous) puisqu'ils se sont annihilés, ou à proximité immédiate de la ZCE : lorsqu'un photon y crée une paire électron-trou, ils se séparent et ont peu de chance de rencontrer leur opposé, alors que si la création a lieu plus loin de la jonction, l'électron (resp. le trou) nouveau conserve une grande chance de se recombiner avant d'atteindre la zone N (resp. la zone P). Mais la ZCE est très mince, aussi n'est-il pas utile de donner une grande épaisseur à la cellule.

D'un point de vue électrique, une cellule photovoltaïque est l'équivalent d'un générateur de courant auquel on a adjoint une diode. Il faut ajouter des contacts électriques (qui laissent passer la lumière en face éclairée : en pratique, on utilise un contact par une grille), une couche antireflet pour assurer une bonne absorption des photons, etc.

Pour que la cellule fonctionne, et produise le maximum de courant, on ajuste le gap du semi-conducteur au niveau d'énergie des photons. On peut éventuellement empiler les jonctions, de façon à exploiter au mieux le spectre d'énergie des photons, ce qui donne les cellules multi-jonctions.

# annexe

## Annexe chapitre 2 :

### 2. Aspects géométriques du rayonnement solaire :

Dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la terre et orienté dans une direction fixée, notre intérêt va porter dans ce qui suit sur les aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la terre. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire [1].

### 3. Mouvements de la terre :

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'**écliptique** [1,4].

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de  $149\,675\,106\text{ km}$  [4].

La terre tourne également sur elle même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'**équateur**. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé **inclinaison** de l'ordre de  $23^{\circ}27'$ [1].

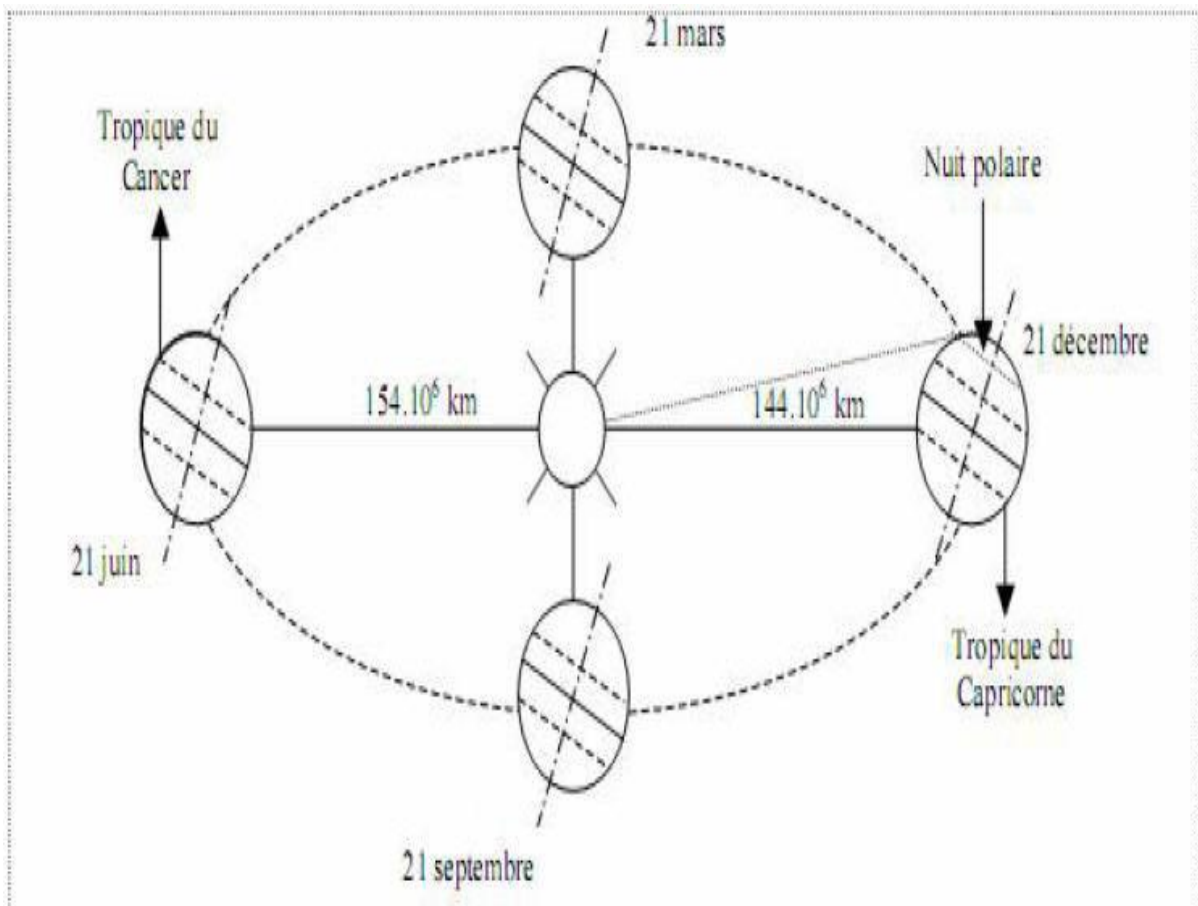


FIGURE .2 : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil

# annexe

## Annexe chapitre 3 :

### 4..Les coordonnées célestes :

#### 4.1.Les coordonnées géographiques [5]:

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre (figure3).

##### - La longitude (L) :

C'est l'éloignement par rapport au méridien de Greenwich, mesuré en degré. Elle est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, à partir du méridien **Greenwich**.

##### - La latitude ( $\Phi$ ) :

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de **0° à 90°** dans l'hémisphère nord et de **0° à -90°** dans l'hémisphère sud.

##### - L'altitude (Z) :

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une Surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre

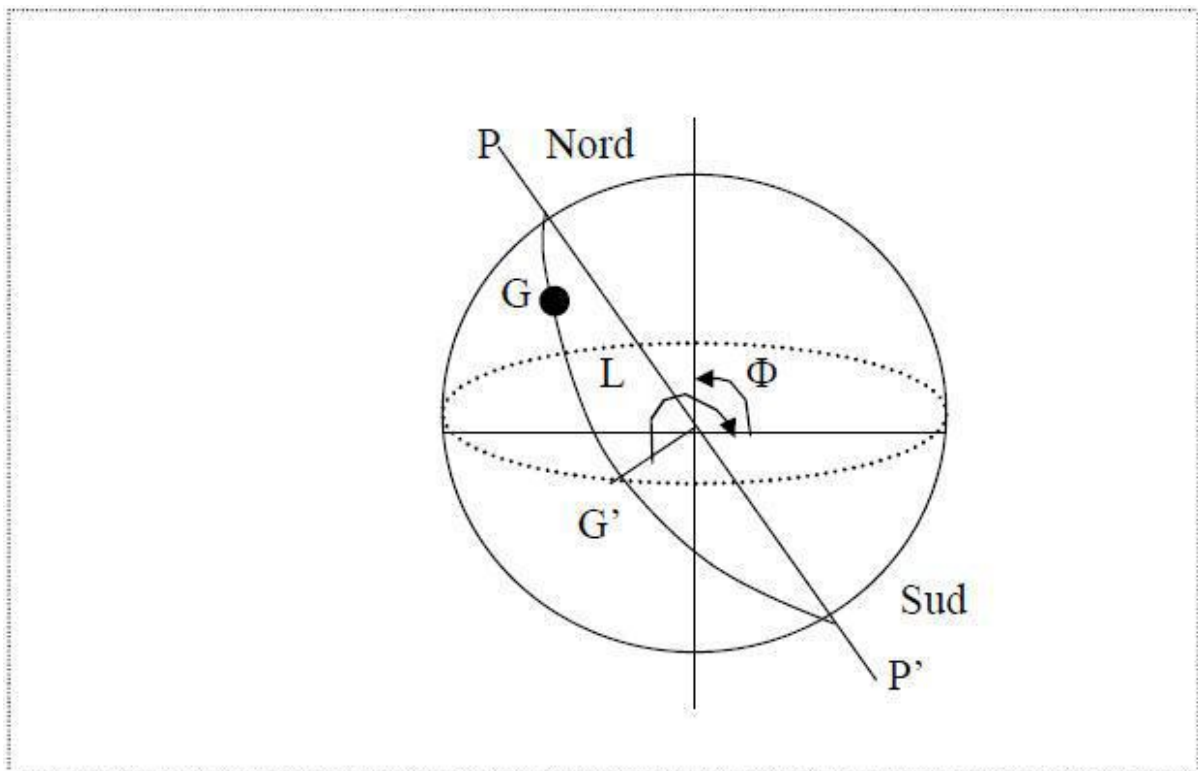


Figure3: Les coordonnées géographiques

# Références bibliographiques

---

## Références bibliographiques

### CHAPITRE 1

- [1] J. Royer et T. Djiako et E. Schiler, B. Sadasy. ‘ Le pompage photovoltaïque’ , université d’Ottawa, 1998.
- [2] S. ABADA ‘ Etude et optimisation d’un générateur photovoltaïque pour la recharge d’une batterie avec un convertisseur sepic’ , Mémoire Maître es Sciences , Université laval, 2011.
- [3] M. G. Villalva and J. R. Gazoli, and E. R. Filho ‘Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays’ ,Jornal of power electronics, ,May 2009.
- [4] A. Bilbao ‘ Réalisation d’un commande mppt numérique’ université de rovira i virgili ,2006.
- [5] H. BELGHITRI et H. ‘ Modélisation, simulation et optimisation d’ un système hybride éolien-photovoltaïque’ mémoire de magister, 2009.
- [6] A. labouret et M. villosz préface de jean louis bal ‘Energie solaire photovoltaïque’ , livre 4 édition,2008.
- [7] B. Flèche - D. Delagnes ‘Energie solaire photovoltaïque.doc’ , juin 2007,  
<http://www.scribd.com>.
- [8] M. belhad ‘ Modélisation D’ un Système De Captage Photovoltaïque Autonome’ , mémoire de magister université de bachar ,2008.
- [9] S. PETIBON ‘ Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l’ énergie pour les applications photovoltaïques’ , université de Toulouse, 2009.
- [10] L. ABBASSEN ‘ Etude de la connexion au réseau électrique d’une centrale photovoltaïque’ Mémoire de magister, université mouloud Mammeri Tizi ouzzo, 2011.
- [11] L. ZAROUR ‘ Etude technique d’ un système d’ énergie hybride photovoltaïqueéolien hors réseau’ , Thèse Magister université de constantine, 2007.

## Références bibliographiques

---

[12] Z. Bendjellouli ‘ Contribution a la modélisation d’une cellule solaire’ , Mémoire de magister université de bachar, 2009.

### CHAPITRE 2

**[1] : FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l’habitat isolé » livre édité par : EDISUD, 1983.**

**[2] : I. BENSEFIA & S. MAMOUN, « Dimensionnement d’une installation photovoltaïque d’une Maison Autonome Appliquée au Site de Tlemcen », Mémoire de fin d’étude présenté pour l’obtention du Diplôme Licence LMD en Physique Energétique, Université de Tlemcen, Juillet 2008.**

**[3] : Falk ANTONY, Christian DÜSHNER et Karlheinz REMMERS, « Le photovoltaïque pour tous Conception et réalisation d’installation », livre édité par : INES), 2006.**

**[4] : Emmanuel RIOLET, « L’énergie solaire et Photovoltaïque pour le particulier », livre édité par : EYROLLES), 2009.**

**[5] : Anne LABOURET et Michel VILLOZ, « Energie Solaire Photovoltaïque », livre édité par : DUNOD), 2006.**

**[6]: Rick DEGUNTHER, “Solar Power Your Home for DUMMIES” livre édité par: Wiley Publishing, Inc, 2008.**

### CHAPITRE 3

**Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07**

#### Site web

[1] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1074/5/Alimentation-electrique-dune-habitation-peu-frequentee.pdf>

[2] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1074/4/Methodede-dimensionnement-des-systemes-pholtovoltaïque-pour-lhabitat.pdf>

[3] [http://homeenergy.free.fr/Photo Voltaire-Clement.pdf](http://homeenergy.free.fr/Photo%20Voltaire-Clement.pdf)

[4] <http://www.tpepanneauxsolaires.fr/rentabilite.html>

[5] <http://fr.slideshare.net/gharbisamir/memoir-optoelect>

[6] [http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/autres\\_ressources/pdf/TECHNO/175-p32.pdf](http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/autres_ressources/pdf/TECHNO/175-p32.pdf)

[7] <http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/techniques/782/782-bf-thermique.pdf>

[8] [http://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/BENSEDDIK\\_DJALOUUD.pdf](http://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/BENSEDDIK_DJALOUUD.pdf)



## Références bibliographiques

---

- [9] [http://www.itismajo.it/fff/Documentazione%20Tecnica/Energie\\_solaire\\_photovoltaique.pdf](http://www.itismajo.it/fff/Documentazione%20Tecnica/Energie_solaire_photovoltaique.pdf)