

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة

العلم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد القادر  
تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen -



Faculté de TECHNOLOGIE

## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Génie Mécanique

**Spécialité** : Energétique

**Par** :

BENHABIB Souheil

BOUAYED Mohammed Abdelhakim

**Sujet**

## Etude d'une installation photovoltaïque

Soutenu publiquement, le 28/06/2022/ , devant le jury composé de :

M/ ALIANE Khaled

Professeur

Université de Tlemcen

Président

M/ SELADJI Chakib

Professeur

Université de Tlemcen

Examineur

M/ SARI HASSOUN Zakaria

MCA

Université de Tlemcen

Encadreur

Mme/ BERREZOUG Hiba Imane

MCB

Université de Tlemcen

Co-Encadreur

Année Universitaire 2021/2022

## **Remerciement**

*Au terme de la rédaction de ce mémoire, nous remercions **ALLAH** qui*

*Nous a guidé et donné la force, le courage et la volonté pour réaliser ce travail.*

*Nous dédions ce travail*

*A notre encadreur de thèse,*

**Mr SARI HASSOUN Zakaria**

*Nous vous remercions d'avoir été à l'initiative de ce travail. Vous nous avez guidés dans l'élaboration de cette thèse par votre grande disponibilité, vos conseils et votre précieuse aide. Merci de nous avoir fait partager vos connaissances, nous avons été heureux de travailler avec vous et nous tenons à vous en remercier sincèrement.*

*A notre co-encadreur de thèse,*

**Mme BERREZOUG Hiba Imane**

Votre orientation nous a été très bénéfique pour la réalisation de ce travail, votre rigueur et façon de travailler nous a permis d'être plus attentives et critique vis-à-vis de notre travail.

*A notre président de jury,*

**Monsieur le Professeur ALIANE Khaled**

Nous vous remercions de nous faire l'honneur de présider le jury de cette thèse, Soyez assuré de notre profonde reconnaissance.

*A notre examinateur*

Nos vifs remerciements vont également à notre examinateur **Professeur SELADJI Chakib** pour l'intérêt qu'ils a porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par ses propositions.

## **Dédicace**

*Le succès est une route sinueuse pleine de défis et de patience, mais pour son gout, c'est une douceur indescriptible.*

*Je tien à la fin de ce travail à remercier*

### **ALLAH**

*Le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là. Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce modeste travail à :*

#### **À mon très cher père**

*Tout l'encre du monde ne pourrait suffire pour exprimer mes sentiments envers un être très cher.*

*Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour.*

*Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin.*

*Ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester, j'espère que vous y trouverez les fruits de votre semence et le témoignage de ma grande fierté de vous avoir comme père.*

*J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.*

#### **À ma très chère mère**

*Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement.*

*Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Vous m'avez aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec à chaque fois une attention renouvelée.*

*Puisse Dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.*

***À mes chères frère et sœur RAMZI et NESRINE***

*Les mots ne suffisent pas pour exprimer l'attachement et l'affection que je porte pour vous, J'implore Dieu qu'il vous apporte le bonheur et vous aide à réaliser tous vos rêves.*

*C'est l'occasion pour moi de vous remercier très sincèrement pour vos Encouragements et de vous dire que je vous aime.*

***À la mémoire de mes grands-parents***

*Puisse Dieu vous avoir en sa sainte miséricorde et que*

*ce travail soit une prière pour votre âme.*

*Que vous reposiez dans le paradis du seigneur.*

***À ma chère belle-sœur Manel***

*En signe de l'affection et du grand amour que je vous porte, les mots sont insuffisants pour exprimer ma profonde estime.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection et de mon attachement indéfectible.*

*Que Dieu vous accorde santé, succès et réussite.*

***À mes profs durant tout mon cursus d'étude***

***À mes chères amies et collègues***

*En souvenir des moments heureux passés ensemble, avec mes vœux sincères de réussite, bonheur, santé et de prospérité*

## **Résumé**

## Résumé

Pour notre thèse on a choisi de faire une étude sur une installation photovoltaïque qui traite les avancées des nouvelles énergies ce qui nous a permis d'apprendre plus sur ces technologies qui sont la base de notre avenir , on a consacré tout le premier chapitre sur les richesses de notre pays que ce soit par ses terres ou par sa position géographique qui nous donne un avantage d'ensoleillement énorme ce qui prouve le potentiel qu'il a pour cette étude et son avenir dans le domaine des énergies renouvelables . Ensuite on n'est pas passé à la conversion photovoltaïque et tous les équipements nécessaires pour faire notre propre étude , enfin on termine par modéliser notre étude spécifique faite dans notre région Tlemcen , tout d'abord on a estimé notre cahier des charges avec nos calculs à nous pour finir avec une simulation complète de notre installation avec le logiciel PVSYST un outil indispensable pour l'exactitude des résultats tout ça avec un temps record en évitant toutes pertes de temps , cette étude nous a non seulement ouvert l'esprit sur ses nouvelles énergies mais aussi elle nous a appris comment penser différemment et comment guider notre pays vers un avenir meilleur .

## Mots clés :

l'ensoleillement, Photovoltaïque, Technologie, PVSYST

## تلخيص

في أطروحتنا ، اخترنا إجراء دراسة حول التركيب الكهروضوئي الذي يتعامل مع التطورات في الطاقات الجديدة التي سمحت لنا بمعرفة المزيد عن هذه التقنيات التي تشكل أساس مستقبلنا ، وقد خصصنا الفصل الأول بأكمله لثروة بلدنا سواء من خلال أرضها أو موقعها الجغرافي مما يمنحنا ميزة هائلة من أشعة الشمس مما يثبت إمكاناتها لهذه الدراسة ومستقبلها في مجال الطاقات المتجددة. ثم ذهبنا إلى

التحويل الكهروضوئي وجميع المعدات اللازمة للقيام بدراستنا الخاصة ، وانتهى بنا الأمر أخيراً إلى نمذجة دراستنا المحددة التي تم إجراؤها في منطقة تلمسان ، أولاً وقبل كل شيء قدرنا مواصفاتها بحساباتها. ننتهي بمحاكاة كاملة لـ يعد التثبيت الخاص بنا باستخدام برنامج PVSYST أداة أساسية لدقة النتائج كل هذا مع وقت قياسي لتجنب أي ضياع للوقت ، فهذه الدراسة لم تفتح عقولنا لطاقت جديدة فحسب ، بل علمتنا أيضاً كيفية التفكير بشكل مختلف وكيفية التوجيه بلدنا نحو مستقبل أفضل .

### الكلمات المفتاحية :

إشراق

الضوئية

تكنولوجيا

PVSYST

**Abstract**

For our thesis we chose to do a study on a photovoltaic installation which deals with the advances of new energies which allowed us to learn more about these technologies which are the basis of our future, we devoted the whole first chapter to the wealth of our country whether by its land or its geographical position which gives us an enormous advantage of sunshine which proves the potential it has for this study and its future in the field of renewable energies. Then we went to the photovoltaic conversion and all the equipment necessary to do our own study, finally ended up modeling our specific study made in our Tlemcen region, first of all we estimated our specifications with our calculations. we to finish with a complete simulation of our installation with the PVSYST software an essential tool for the accuracy of the results all this with record time avoiding any loss of time, this study not only opened our minds to its new energies but also she taught us how to think differently and how to guide our country towards a better future.

**Keywords :**

**sunshine**

**Photovoltaic**

**Technology**

**PVSYST**



# Sommaire

<b>Chapitre I Le gisement solaire.....</b>	<b>3</b>
I.1. Introduction.....	4
I.2. Le rayonnement solaire.....	5
I.2.1. soleil corps noir.....	5
I.2.2. Définition du rayonnement solaire .....	5
I.2.3. Composition.....	6
I.2.4. Variation .....	6
I.2.5. Rayonnements sur la terre .....	7
I.2.6. Le spectre électromagnétique .....	8
I.2.6.1. Définition.....	8
I.2.6.2. Les ondes radio .....	8
I.2.6.3. Les micro-ondes.....	8
I.2.6.4. Les rayons infrarouges.....	8
I.2.6.5. La lumière visible .....	9
I.2.6.6. Les rayons ultraviolets.....	9
I.2.6.7. Les rayons X.....	9
I.3. L'irradiation solaire .....	10

I.3.1. Définition .....	10
I.3.2. La durée d'insolation .....	11
I.4. Potentiel solaire en Algérie.....	12
I.5. Les conditions climatiques .....	16
I.5.1. Le climat .....	16
I.5.2. le climat méditerranéen.....	17
I.5.3. les modèles climatiques .....	17
I.5.4. Variabilité climatique .....	18
I.6. Conclusion .....	20
<b>Chapitre II    La conversion photovoltaïque .....</b>	<b>21</b>
II.1. Introduction .....	22
II.2. Les systèmes photovoltaïques solaires .....	22
II.2.1. Définition.....	22
II.2.2. Description de la technologie .....	25
II.2.2.1. Cellules monocristalline .....	25
II.2.2.2. Cellules poly cristalline .....	26
II.2.2.3. Cellules en couches minces .....	26
II.2.2.4. Cellules à triple jonction.....	27
II.2.3. Caractéristiques déterminant le choix d'une technologie de stockage.....	28

II.2.4. Système photovoltaïque hybride .....	30
II.2.4.1. Son fonctionnement.....	30
II.2.4.2. Les différents types .....	30
A. Les panneaux solaires hybrides à air .....	31
B. Les panneaux solaires hybrides à eau.....	31
C. Le rendement : un facteur important .....	31
II.2.5. Système photovoltaïque isolés avec batterie .....	32
II.2.5.1. définition .....	32
II.2.5.2. Définir la capacité de stockage des batteries solaires.....	33
II.2.5.3. Déterminer la tension de votre installation photovoltaïque.....	33
II.2.5.4. Intégrer l'autonomie souhaitée pour finaliser votre estimation .....	34
II.2.5.5. Batterie solaire : capacité et durée de vie .....	34
II.2.6. Les installations photovoltaïques raccordées au réseau .....	35
II.2.6.1. Les fonctions macroscopiques.....	35
II.2.7. Les équipements photovoltaïques .....	36
II.2.7.1. Les semis conducteur .....	37
A. La jonction p-n, clé du succès des cellules photovoltaïques .....	37
B. Le dopage des semi-conducteurs.....	39
II.2.7.2. La batterie.....	41

II.2.7.3. La fonctionnalité des batteries solaire .....	41
II.2.7.4. l'autonomie de la batterie et sa durée de vie .....	42
II.2.7.5. L'installation des batteries.....	43
II.2.7.6. Les principaux critères pour choisir sa batterie.....	44
II.2.7.7. Les différents types de batteries .....	45
II.2.7.8. Les batteries au lithium-ion.....	46
II.2.7.9. Les différents prix des batterie pour panneau solaire :.....	46
II.2.8. Les onduleurs .....	48
II.2.8.1. Définition.....	48
II.2.8.2. Caractéristiques propres à un onduleur pour systèmes photovoltaïques (PV) .....	49
II.2.8.3. L'entretien des onduleurs .....	51
II.3. Conclusion.....	52
<b>Chapitre III Modélisation.....</b>	<b>53</b>
III.1.Introduction.....	54
III.2.Instalation.....	54
III.2.1.Calculer vos besoin annuels.....	54
III.2.2.Une orientation sud pour un meilleur rendement.....	54
III.2.3.Les etapes a suivre pour installer des panneau solaire.....	55
III.3.Instalation photovoltaïque en série et en parallèle.....	57

III.3.1. l'installation en parallèle.....	57
III.3.2. L'installation en série.....	57
III.3.3. L'installation mixte.....	58
III.4. Les différents types de configuration.....	58
III.4.1. Configuration en parallèle.....	58
III.4.2. Configuration En série.....	60
III.4.3. Configuration mixte (série-parallèle).....	61
III.5. Dimensionnement.....	70
III.6. Conclusion.....	74
<b>Chapitre IV Cas pratique.....</b>	<b>75</b>
IV.1. Présentation du logiciel PVSYST :.....	76
IV.2. La base de données des modules PV.....	78
IV.3. Le model.....	78

---

---

## Liste des Figures

Figure I-1 : Courbe d'intensité lumineuse par rapport a la longueur d'onde.....	11
Figure I-2 : Principales partie du spectre électromagnétique.....	14
Figure I-3 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire en Afrique .....	19
Figure I-4 : moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale période (1992 – 2002).....	21
Figure I-5 : potentiel solaires de l'Algérie .....	22
Figure I-6 : : carte simplifier des climats mondiaux .....	23
Figure II-1 : Système photovoltaïque à inclinaison fixe. ....	30
Figure II-2 : Système photovoltaïque monté sur le toit d'une grange. ....	31
Figure II-3 : Système photovoltaïque monté sur un dispositif de poursuite .....	32
Figure II-4 : Cellule solaire monocristallin. ....	33
Figure II-5 : Cellule en couches minces. ....	34
Figure II-6 : Schéma d'une cellule solaire à triple jonction. ....	35
Figure II-7 : Panneau solaire hybride photovoltaïque thermique .....	36
Figure II-8 : Schema d'une instalation photovoltaïque connectee au reseau.....	36
Figure II-9 : atome d'une cellule photovoltaïque.....	38
Figure II-10 : le doppage N au phosphore et le dopage P au bore (semi-conducteur).....	39
Figure II-11 : Batterie GEL 12V 100Ah.....	41

---



---

Figure II-12 : fonctionnement des panneau solaire photovoltaïque.....	48
Figure II-13 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque .....	50
Figure II-14 : Filtrage de la tension par l'inductance de sortie.....	51
Figure III-1 : branchement de panneau solaire en parallèles .....	52
Figure III-2 : branchement de panneau solaire en serie .....	60
Figure III-3 : branchement mixte des panneau solaire (serie et parallele).....	61
Figure III-4 : Panneau solaire milltech siraj monocristallin .....	62
Figure III-5 : panneau solaire milltech DIA (Half cell Modules) et NIBRAS (bifacial modules).....	64
Figure III-6 : onduleur MPPT sungrow .....	65
Figure III-7 : schématisation de l'installation photovoltaïque.....	66
Figure IV-1 : diagramme de production PVSYST.....	74
Figure IV-2 : Graph du comportement électrique du module.....	76
Figure IV-3 : Graph de l'efficacité relative par rapport à l'irradiance.....	78

---

---

## Liste des Tableaux

Tableau I-1 : Potentiel solaire en Algérie .....	13
Tableau III-1 : Bilan des puissances d'une petite maison dans une ferme isolé à Ouled-mimoun (Tlemcen).....	70



---

---

## Liste des abréviations

EPV : Energie Photovoltaïque.

PV : photovoltaïque.

USA : les États-Unis (United states).

MDS : Milliards.

GIEC : Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

GES : Gaz à Effet de Serre.

EMS : Energymanagment system (système de gestion d'énergie).

BMS : batterymanagment system (système de gestion des batteries).

ESM : EnergySavingMeasure (Mesure d'économie d'énergie).

Batterie AGM : Absorbed Glass Mat (Mat de verre absorbé).

Batterie GEM : batterie à gel .

AC : Courant Alternatif.

DC : Courant Direct.

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsion (PWM Pulse Width Modulation).

MPPT : Maximum Power Point Tracker (Suivi du point de puissance maximale).

AWG : American Wire Gauge (Calibre de fil American).

PVSYST : Photovoltaïque Système.

---

---

## Liste des symboles

Twh : Tonnes \* Watts \* Heure.

Kpc : le kiloparsec et c'est l'unité la plus utilisée par les astronomes.

Kms : Kilomètre\* secondes.

% : le pourcentage.

$\lambda$  : la longueur d'onde du rayonnement du corps noir dans le vide.

K : l'indice de clarté (l'intensité et la distribution de la luminosité dans le ciel).

$W_{\text{utile}}$  : le travail utile.

$W_{\text{stock}}$  : la capacité énergétique en Watts Heure.

$P_{\text{max}}$  : puissance maximale.

XIX : 19 ème siècle.

XX : 20 ème siècle.

€ : Euro (money européenne).

$\eta$  : le rendement.

$\tau$  : la constante de temps.

°C : Degré Celsius.

$N_{\text{cycle}}$  : nombre maximale de cycle.

Ah : Ampère heure.

V : Volt.

PIC 10 : Microcontrôleur.

Si : silicium.

IVA et VA : une famille dans le tableau de Mendeleïev.

DIA : HalfCell Modules (module demi cellule).

## **Introduction Générale**

Les sources d'énergie conventionnelles, obtenues de notre environnement, tendent à échapper avec une rapidité relative due à ses utilisations irrationnelles par l'humanité. Cette origine incontrôlée des énergies naturelles, certainement mène à l'instabilité avec notre système écologique. La diminution des sources de pétrole, gaz naturel et sources naturelle de charbon mènent à faire un effort de trouver des nouvelles sources d'énergie pour permettre une réduction dans l'utilisation des sources naturelles de combustible, c'est le but souhaité des pays industrialisés du monde [1, 2].

Dans ce contexte l'énergie solaire apparaît comme une source importante telle que la quantité d'énergie solaire qui arrive sur la surface de terre dans un jour est dix fois plus que l'énergie consommée [3].

L'énergie solaire photovoltaïque (ou énergie photovoltaïque ou EPV) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. Elle est dite renouvelable, car sa source (le Soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. En fin de vie, le panneau photovoltaïque aura produit 20 à 40 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage.

La cellule photovoltaïque, composant électronique de base du système, utilise l'effet photoélectrique pour convertir en électricité les ondes électromagnétiques (rayonnement) émises par le Soleil. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module ou capteur solaire photovoltaïque et ces modules regroupés entre eux forment une installation solaire. L'électricité est consommée ou stockée sur place, ou transportée par le réseau de distribution et de transport électrique.

Les trois genres de systèmes photovoltaïques que l'on rencontre généralement sont les systèmes autonomes, hybrides et connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du service public de distribution d'électricité; on les retrouve souvent dans les régions éloignées.

Pour notre études on a séparé ce mémoire en quatre chapitres où on va consacrer deux chapitre pour la recherche bibliographique, le deuxième chapitre pour la modélisation et en fin la simulation de notre travailler qui est l'étude d'une système photovoltaïque pour le quatrième chapitre.

Dans le premier chapitre on commence par introduire le gisement solaire en Algérie et l'importance des ressources qu'on a dans notre pays qui nous permettent d'avancer dans le domaine de l'utilisation d'énergie solaire en faisant la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique grâce au système de panneau photovoltaïques .

Par la suite dans le deuxième chapitre on s'est principalement consacré à la conversion photovoltaïque ses principes et tous les équipements nécessaires pour faire cette conversion photovoltaïque comme batterie, onduleur, types de panneau solaire.

Et enfin pour le troisième chapitre on a fait une modélisation complète d'un système photovoltaïque en commençant par introduire tout ce qu'il faut pour modéliser un système pour enfin poser notre cahier de charge et faire les calculs pour savoir tous les besoins de notre système , ce qui nous emmène à la dernière étape la plus importante c'est la simulation avec un logiciel spécifique qui est le PVSYST avec une introduction qui définit l'importance et les différents outilles pour faire notre simulation et donner le rapport de notre étude qu'on a réalisé.

## **Chapitre I    Le gisement solaire**

## **I.1. Introduction**

La terre et son atmosphère reçoivent du Soleil en un peu plus d'une demi-heure l'équivalent de la consommation mondiale annuelle d'énergie, soit environ 100.000 TWh ou encore 8,7 Mds de tonnes équivalent pétrole en 2010 .[4]

A partir de 70 km d'altitude, le rayonnement solaire subit au cours de son trajet vers la surface terrestre des phénomènes de diffusion et d'absorption dus aux gaz, aérosols et nuages présents dans l'atmosphère[5] . De ce fait, c'est en moyenne moins de la moitié du rayonnement solaire qui parvient jusqu'à la surface du globe.

L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de : l'énergie solaire envoyée par le Soleil (fluctuations décennales, saisonnières, et ponctuelles) , la nébulosité (nuages, brouillards,), la latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du Soleil et donc sur l'énergie reçue au sol par unité de surface.

L'application de l'énergie solaire à un site donnée, nécessite la connaissance complète et détaillée de l'ensoleillement du site . La connaissance du rayonnement solaire au niveau du sol est un élément important pour les systèmes de conversion de l'énergie solaire. Cette information peut être recueillie par différentes méthodes à savoir: mesure au sol par des pyranomètres ou des cellules de références, ou par des mesures satellitaires. La meilleure manière de connaître la quantité d'énergie solaire dans un site donné, est d'installer des pyranomètres dans plusieurs endroits du site, de s'occuper de leurs entretiens et de leurs enregistrements quotidiens. Lorsque les mesures sont collectées, un contrôle de qualité rigoureux est obligatoire afin de crédibiliser la base de données enregistrées. Afin de faire un bon dimensionnement des systèmes de conversion solaire, une base de données de rayonnement est indispensable. L'installation de la station radiométrique au site, elle nous permet de mieux caractériser le site d'un point de vue énergétique. [6]

## I.2. Le rayonnement solaire

### I.2.1. soleil corps noir

Le soleil est l'étoile du Système solaire. Dans la classification astronomique, c'est une étoile de type naine jaune d'une masse d'environ  $1,989 1 \times 10^{30}$  kg, composée d'hydrogène (75 % de la masse ou 92 % du volume) et d'hélium (25 % de la masse ou 8 % du volume). Le Soleil fait partie de la galaxie appelée la Voie lactée et se situe à environ 8 kpc ( $\sim 26\,100$  a.l.) du centre galactique . Le Soleil orbite autour du centre galactique en une année galactique de 225 à 250 millions d'années. Autour de lui gravitent la Terre (à la vitesse de 30 km/s), sept autres planètes, au moins cinq planètes naines, de très nombreux astéroïdes et comètes et une bande de poussière. Le Soleil représente à lui seul environ 99,854 % de la masse du système planétaire ainsi constitué .

L'énergie solaire transmise par le rayonnement solaire rend possible la vie sur Terre par apport d'énergie lumineuse (lumière) et d'énergie thermique (chaleur), permettant la présence d'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement ultraviolet contribue à la désinfection naturelle des eaux de surfaces et à y détruire certaines molécules indésirables (quand l'eau n'est pas trop turbide) [7] . La polarisation naturelle de la lumière solaire (y compris de nuit après diffusion ou réflexion, par la Lune ou par des matériaux tels que l'eau ou les cuticules végétales) est utilisée par de nombreuses espèces pour s'orienter.

Le rayonnement solaire est aussi responsable des climats et de la plupart des phénomènes météorologiques observés sur la Terre. En effet, le bilan radiatif global de la Terre est tel que l'énergie thermique à la surface de la Terre est en moyenne à 99,97 % ou 99,98 % d'origine solaire . Comme pour tous les autres corps, ces flux thermiques sont continuellement émis dans l'espace, sous forme de rayonnement thermique infrarouge ; la Terre reste ainsi en équilibre dynamique.

### I.2.2. Définition du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil.

Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. [8] Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. Une partie



de ce rayonnement est filtrée par la couche d'ozone avant d'atteindre la troposphère. Via la photosynthèse il est nécessaire à la plupart des espèces qui vivent sur la Terre.

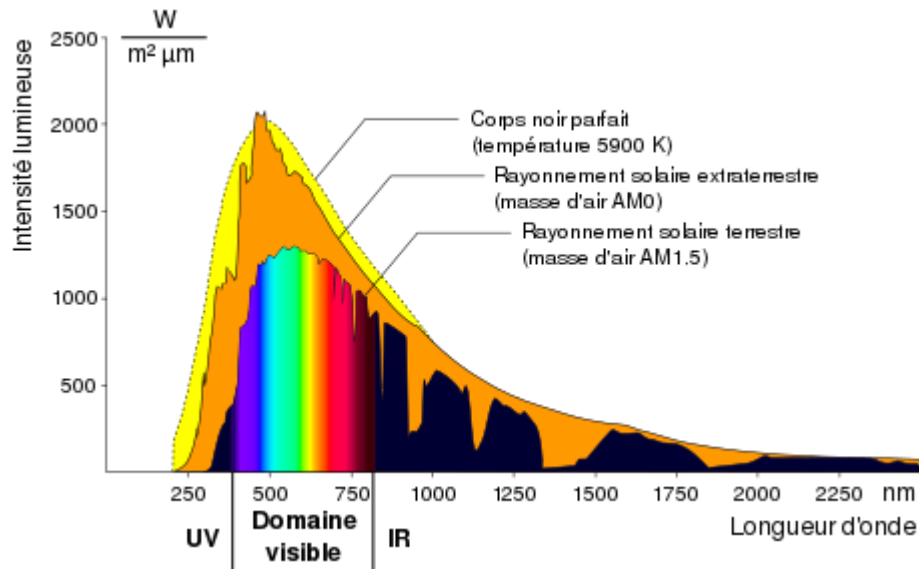
### **I.2.3. Composition**

L'émission d'ondes électromagnétiques par le Soleil est convenablement modélisée par un corps noir à 5 800 kelvins, et peut donc être décrit par la loi de Planck. Le maximum d'émission est dans le vert ( $\lambda=504$  nm), et la répartition du rayonnement est à peu près pour moitié dans la lumière visible, pour moitié dans l'infrarouge, avec 1 % d'ultraviolets [9].

Arrivé au niveau de la mer, c'est-à-dire ayant traversé toute l'atmosphère terrestre, une partie du rayonnement solaire a été absorbée. On peut repérer notamment sur le spectre ci-contre les bandes d'absorption de l'ozone (qui absorbe une partie importante des ultraviolets), du dioxygène, du dioxyde de carbone et de l'eau.

### **I.2.4. Variation**

Le rayonnement solaire reçu au sol varie dans le temps, d'une part en fonction des variations de l'activité solaire, et d'autre part en fonction des saisons (selon inclinaison de la Terre) et au sein de chaque saison en fonction des variations naturelles et anthropiques de la nébulosité. Une étude récente a reconstitué l'évolution du rayonnement solaire reçu en surface en Europe de l'Ouest sur plus d'un siècle (1900-2014) [10] .



**Figure I-1 : Courbe d'intensité lumineuse par rapport à la longueur d'onde [11]**

### I.2.5. Rayonnements sur la terre

Une faible partie du rayonnement solaire parvient jusqu'à la surface de la Terre, des ondes radio décimétriques aux rayons ultraviolets les plus mous, le reste étant réfléchi ou absorbé par l'atmosphère et l'ionosphère.

Lorsqu'il atteint la surface de la Terre, en fonction de l'albédo de la surface frappée, une partie plus ou moins importante du rayonnement est réfléchi. L'autre partie de ce rayonnement est absorbée par la surface de la Terre (convertie en chaleur) ou par les êtres qui y vivent, en particulier les végétaux (grâce à la photosynthèse). Cette source d'énergie, appelée énergie solaire, est à la base de la vie.

Le rayonnement solaire total reçu sur la Terre est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. En moyenne sur le globe terrestre, 61 % du rayonnement reçu est direct [12]. En fonction de l'endroit où l'on se situe sur Terre, cette part varie fortement. À Hambourg par exemple, 60 % du rayonnement annuel est diffus, alors qu'au Caire le rayonnement diffus représente seulement 29 % [13].

La rayonnement solaire dépend fortement de nombreux paramètres : La latitude du site (éloignement par rapport à l'équateur) La saison (inclinaison relative de la terre par rapport au soleil qui

change au court de l'année)L'heure de la journée (angle variable du soleil dans le ciel )Les condition météo et atmosphérique (nébulosité , pollution , nuage) Le spectre électromagnétique .

## **I.2.6. Le spectre électromagnétique**

### **I.2.6.1. Définition**

Le spectre électromagnétique regroupe l'ensemble de toutes les ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde et de leur fréquence.

Les ondes électromagnétiques, contrairement aux ondes mécaniques, n'ont pas besoin d'un support matériel pour se déplacer. Selon leur longueur et leur fréquence, les ondes électromagnétiques se classent en différentes catégories. Celles qui sont les plus connues sont celles de la lumière visible puisqu'elles sont perceptibles par l'oeil, mais il existe aussi d'autres formes de rayonnements que l'œil ne peut pas percevoir.(Figure I-2)

### **I.2.6.2. Les ondes radio**

- Les ondes ayant la plus petite fréquence du spectre.
- Elles transportent peu d'énergie.
- Les micro-ondes, un type d'ondes radio, peuvent faire vibrer les particules et en augmenter la température.

➤ Utilisation: radio, télévision, four à micro-ondes, cellulaire

### **I.2.6.3. Les micro-ondes**

➤ Utilisation: transmissions par satellite, par téléphone cellulaire et par internet; four à micro-ondes

### **I.2.6.4. Les rayons infrarouges**

- Les rayons infrarouges ont une longueur d'onde légèrement plus grande que le rouge visible.
- Bien qu'ils soient invisibles, il est possible de percevoir la chaleur qu'ils transmettent.

➤ Utilisation: télécommande à distance, communication avec les satellites

### **I.2.6.5. La lumière visible**

- C'est le seul type d'onde électromagnétique visible par les êtres humains.
  - C'est un ensemble des six couleurs (rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet) qui composent la lumière blanche.
- Utilisation: éclairage, laser, photographie, écrans d'ordinateurs

### **I.2.6.6. Les rayons ultraviolets**

- Ils sont invisibles pour l'être humain, mais certains animaux sont en mesure de les percevoir.
  - Ils transportent une plus grande quantité d'énergie que la lumière visible.
  - Ils permettent la synthèse de la vitamine D par nos cellules.
  - Ils font bronzer, mais ils peuvent causer le cancer de la peau.
- Utilisation: traitement de certaines maladies, stérilisation d'instruments chirurgicaux

### **I.2.6.7. Les rayons X**

- Ils transportent une grande quantité d'énergie.
  - Ils peuvent traverser des objets ou des substances.
  - Une exposition prolongée provoque des brûlures et des cancers.
- Utilisation: radiographie, inspections des bagages

### **Les rayons gamma**

- Ils transportent une très grande quantité d'énergie.
- Ils traversent des objets ou des substances très facilement.
- Ils sont très dangereux: ils peuvent causer des brûlures, des cancers et des mutations génétiques.

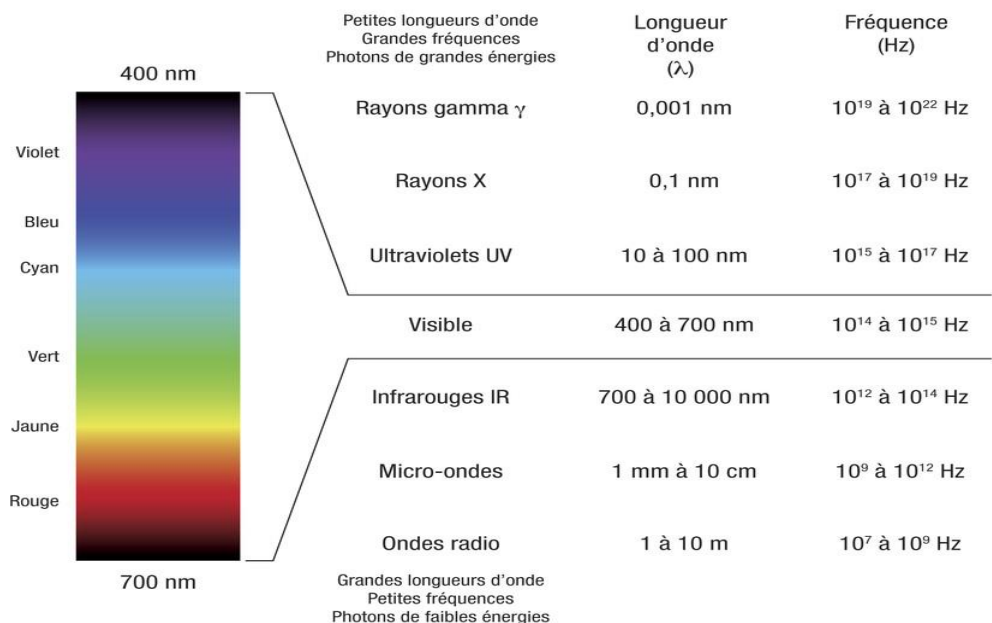


Figure I-2 : Principales partie du spectre électromagnétique[14]

### I.3. L’irradiation solaire

#### I.3.1. Définition

L'irradiation solaire est une grandeur radiométrique qui mesure la quantité d'énergie solaire reçue par unité de surface. Elle peut être exprimée en kilowattheures par mètre carré (kWh/m<sup>2</sup>) ou en joules par mètre carré (J/m<sup>2</sup>) dans le Système international d'unités. Elle est distincte de l'éclairement énergétique solaire, aussi appelé « irradiance solaire » par anglicisme, qui est un flux exprimé en W/m<sup>2</sup> et dont l'irradiation solaire est l'intégrale sur une période de temps.

L'irradiation solaire peut être mesurée dans l'espace ou sur la surface de la Terre après avoir pris en compte l'absorption et la diffusion atmosphériques. La valeur mesurée dépend de l'inclinaison du capteur de l'appareil de mesure ainsi que de son spectre d'analyse.

Puisque cette grandeur caractérise le gisement solaire, elle peut être utilisée dans les calculs de rendement des installations thermiques et photovoltaïques ou pour modéliser le climat.

Les stations météorologiques mesurent, en général, les intensités de l'irradiation solaire globale et diffuse sur des surfaces horizontales. Les systèmes stationnaires de conversion solaire, telle que les cellules photovoltaïques sont inclinées vers le soleil afin de maximiser la quantité de l'irradiation solaire incidente sur la surface du module photovoltaïque (PV). Par conséquent, l'irradiation solaire incidente sur une surface inclinée doit être déterminée par la conversion des intensités de l'irradiation solaire mesurées sur une surface horizontale afin de concevoir la taille du système et d'estimer son rendement. L'irradiation incidente mesurée est convertie en une irradiation sur une surface inclinée par une relation géométrique relativement simple entre les deux surfaces. Il est évident que la composante diffuse de l'irradiation provient de tous les points du ciel, sauf du soleil. Il existe un nombre relativement important de modèles qui tentent de mettre en corrélation l'irradiation diffuse sur une surface inclinée à celle mesurée sur une surface horizontale. L'abondance de ces modèles témoigne de la complexité de la tâche de convertir l'irradiation solaire diffuse mesurée sur un plan horizontal à celle sur une surface inclinée.

En traversant des obstacles, l'irradiation solaire est atténuée. Dans les modèles les plus simples, tels que celui de Liu&Jordan, l'irradiation diffuse est considérée comme isotropique, ce qui signifie que les contributions de toutes les parties du ciel sont identiques. Or ces modèles peuvent mener à des erreurs non négligeables pour certaines expositions, notamment les faces orientées sud et pour certaines couvertures nuageuses [15]. Aussi pour minimiser les erreurs, il est conseillé d'utiliser des algorithmes plus évolués qui considèrent l'irradiation diffuse comme anisotropique. Ainsi certains modèles, tiennent compte des conditions d'ensoleillement pour évaluer non seulement l'intensité mais aussi la distribution de la luminosité dans le ciel qui est donné par ce qui est appelé l'indice de clarté ( $K$ ). On sait en effet qu'à un  $t$  instant donné, la portion de l'atmosphère proche du soleil est une plus grande source d'irradiation diffuse que la zone proche du zénith de plus, cette distribution varie tout au long de la journée et elle doit être réévaluée à tout moment.

### **I.3.2. La durée d'insolation**

La durée d'insolation correspond à la durée pendant laquelle le rayonnement solaire direct reçu sur un plan normal dépasse un seuil fixe par convention à  $120\text{W.m}^{-2}$ . En absence permanente de nuages, la durée d'insolation est pratiquement égale à la durée du jour, qui s'appelle aussi durée astronomique ou théorique du jour. Elle est définie par [16] :

$$S = \frac{2}{15} \times W_0 \quad (1)$$

S : la durée d'astronomique du jour.

$W_0$  : la durée d'insolation en une journée.

## I.4. Potentiel solaire en Algérie

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes [1]. Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564 106 tonnes d'hydrogène en 560 106 tonnes d'hélium, la différence (4 mille de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie

$$E = m. c^2 \quad (2)$$

E : énergie.

M : masse.

C : constante physique.

Ce qui représente une énergie totale de 36.1022 KW. La terre étant à une distance de 150.106 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de 1,8.1014 KW [5]. La valeur du rayonnement solaire, reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne "I0" appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m-2. En première approximation, on peut calculer la valeur de "Ic" en fonction du numéro du jour de l'année "nj" par la relation suivante [18] :

$$I_c = I_0[1 + 0,033 \times \cos(0,984 \times nj)] \quad (3)$$

$I_c$  : la valeur de rayonnement solaire.

$I_0$  : la constante solaire.

$N_j$  : numéro du jour.

L'Algérie a un potentiel énorme de sources d'énergie renouvelables, en particulier de l'énergie solaire, où elle est la principale source dans le bassin méditerranéen. D'après Boudries et Dizene[] , l'Algérie reçoit annuellement une exposition au soleil équivalant à 2500 kWh / m<sup>2</sup> et la durée moyenne annuelle du soleil varie d'une faible valeur de 2650 h sur la ligne côtière à 3500 h dans le sud.

L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m<sup>2</sup> soit près de 3 KWh/m<sup>2</sup> au nord et dépasse 5,6 KWh/m<sup>2</sup> au Grand Sud (Tamanrasset) [20].

**Tableau I-1 : Potentiel solaire en Algérie[17]**

Région	Zone côtière	Haut plateaux	Sud	Total
Surface (%)	4	10	86	100
Surface (Km <sup>2</sup> )	95,270	238,174	2,048,297	2,381,741
Durée d'ensoleillement moyenne (h/an)	2650	3000	3500	
Moyenne d'énergie reçue (KWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650	
Potentiel d'énergie journalier (TWh)	443.96	1240.89	14870.63	16555.48

Le Sud, qui représente plus de 86% du territoire Algérien, offre une durée de vie de soleil supérieure à 8 h/ jour, avec des valeurs supérieures à 12 h/ jour durant l'été. De plus, et vue de sa localisation géographique, la durée du soleil ne présente pas de différences importantes entre les différents mois de l'année. Cela permet une disponibilité égale et longue du soleil tout au long de l'année.



De plus, comme le montre le tableau 01, le potentiel de l'énergie solaire est varié de 1700 KWh/m<sup>2</sup> au nord à une valeur de 2650 KWh/m<sup>2</sup> au Sud ce qui correspond à l'énergie solaire quotidienne d'une moyenne de 4,66 KWh/m<sup>2</sup> au nord à une valeur moyenne de 7,26 KWh/m<sup>2</sup> dans le Sud. Cela signifie que le potentiel énergétique annuel sur 86% du territoire est de l'ordre de 2650 KWh/m<sup>2</sup>.

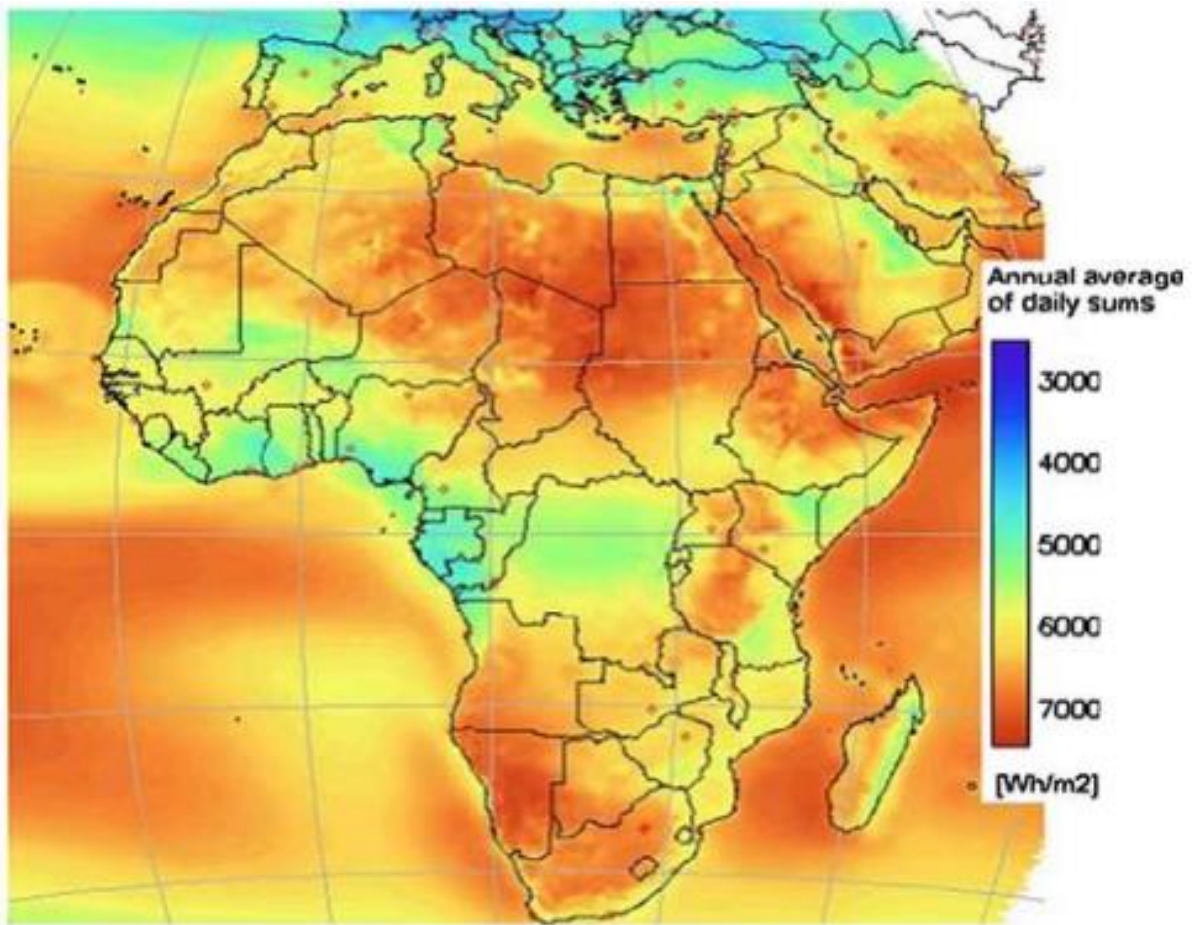


Figure I-3 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire en Afrique [19]

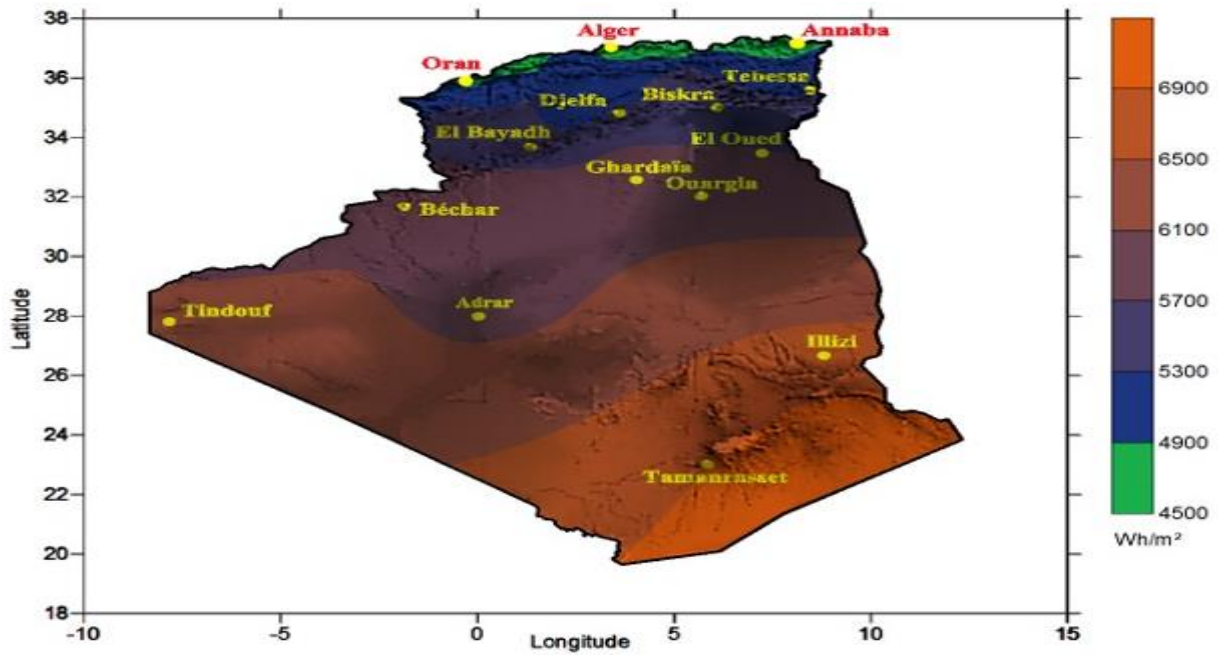


Figure I-4 : moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale période (1992 – 2002)[21]

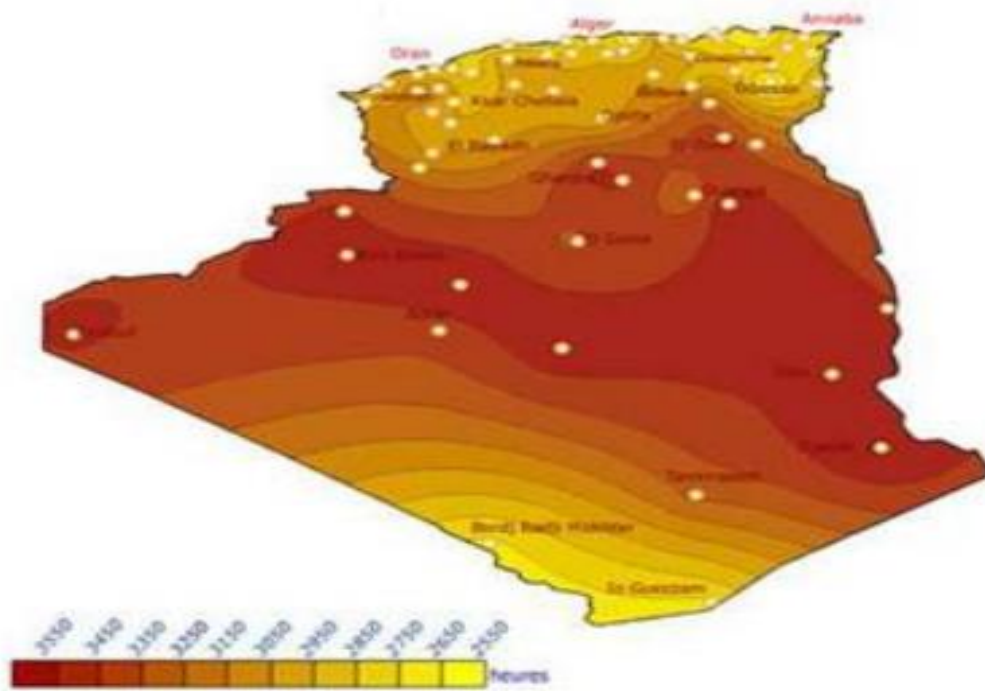


Figure I-5 : potentiel solaires de l'Algérie[22]

## **I.5. Les conditions climatiques**

### **I.5.1. Le climat**

Le climat est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. L'étude du climat est la climatologie. Elle se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles.

La caractérisation du climat est effectuée à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels.

Ces analyses permettent de classer les climats des différentes régions du monde selon leurs caractéristiques principales.

Le climat a fortement varié au cours de l'histoire de la Terre sous l'influence d'une pluralité de phénomènes astronomiques, géologiques, etc., et plus récemment sous l'effet des activités humaines (réchauffement climatique).

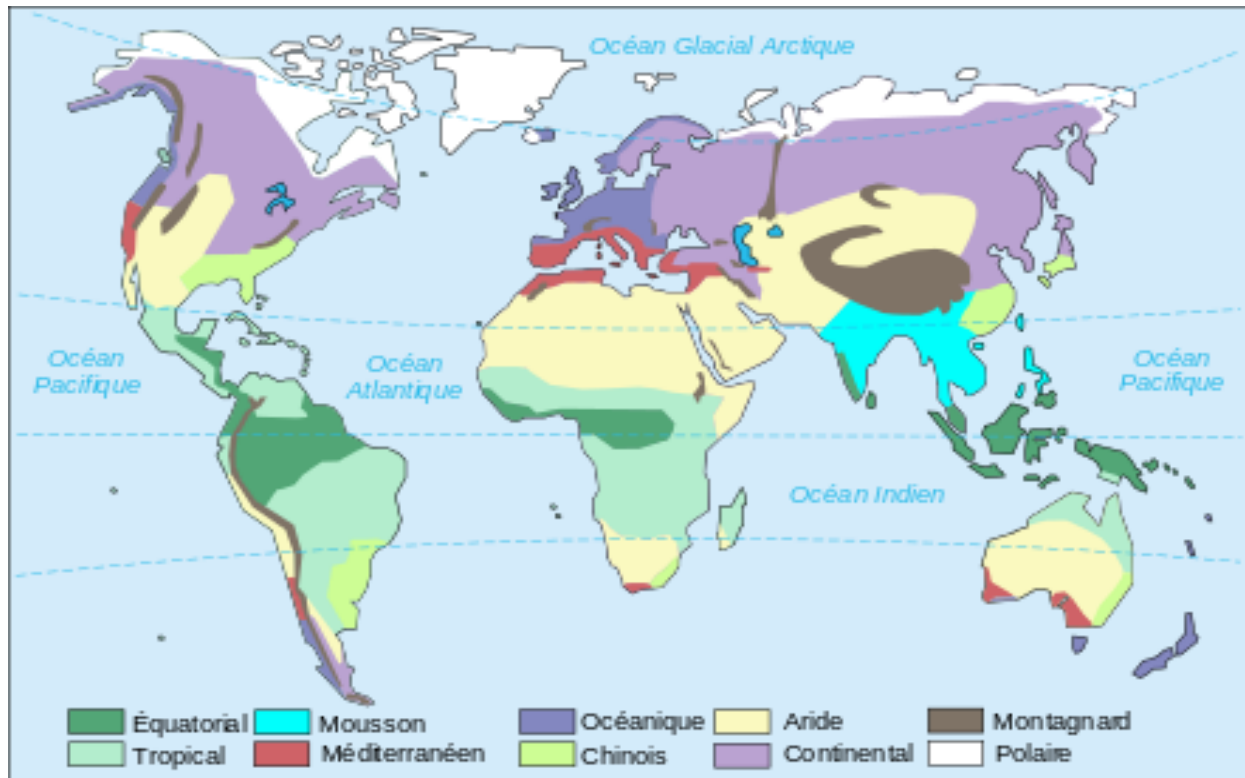


Figure I-6 : : carte simplifier des climats mondiaux[23]

### I.5.2. le climat méditerranéen

Le climat méditerranéen est caractérisé par des étés chauds et très secs, d'où de nombreux incendies de forêts, et des hivers doux et humides avec des précipitations violentes susceptibles d'entraîner des inondations. Ce climat doit son nom à la proximité de la Méditerranée mais peut se rencontrer dans d'autres parties du monde (Afrique du Sud, Chili), et peut présenter d'assez fortes influences continentales (Madrid, Ankara, Tachkent).

### I.5.3. les modèles climatiques

Le système climatique est très complexe : les interactions affectent simultanément l'atmosphère, les océans, les calottes glaciaires, les systèmes hydrologiques continentaux, la biosphère marine ou terrestre. Simuler ces interactions nécessite la collecte et le traitement de masses considérables d'informations. L'apparition des images satellitaires a permis de visualiser de manière directe l'organisation à grande échelle de la circulation atmosphérique et, de manière plus indirecte, celle de la

circulation océanique. Les premières tentatives de modélisation datent du XIX<sup>e</sup> siècle, avec la formulation des équations qui déterminent le mouvement de l'atmosphère, les équations de Navier-Stokes. Une des premières tentatives de modéliser le système climatique est celle de l'anglais Lewis Fry Richardson, publiée en 1922. Mais c'est seulement avec l'arrivée des ordinateurs que la modélisation a pu trouver les capacités de calcul énormes qu'elle nécessite. La première étape du travail de modélisation consiste à couvrir la Terre d'un maillage tri-dimensionnel. On écrit alors, aux nœuds de ce maillage, des équations d'évolution qui permettent, d'un pas de temps à l'autre, de faire varier des paramètres tels que la pression, la température, les vents ou les courants ; un modèle atmosphérique incorpore des équations supplémentaires pour représenter l'effet collectif des nuages près du sol (les stratus), comme des grands nuages convectifs (les cumulonimbus), la présence de végétation, le débit des rivières, etc. L'allongement de la durée des simulations a permis d'explorer le comportement des modèles numériques sur des périodes de plus en plus longues, et de tester leur capacité à reproduire des climats passés: par exemple, le dernier maximum glaciaire, il y a 21 000 ans, ou encore le climat chaud de l'Holocène entre 10 000 et 5 000 ans avant l'époque actuelle, quand le Sahara était humide. Le progrès le plus important a été le passage d'une modélisation de la circulation atmosphérique à une représentation du système climatique complet : atmosphère, océans et continents, en prenant en compte leurs interactions physiques, chimiques et biologiques (24).

#### I.5.4. Variabilité climatique

Le climat global varie incessamment à toutes les échelles de temps - temps profond géologique (centaine à dizaine de millions d'années), temps du Quaternaire (million d'années), temps de la préhistoire et de l'histoire humaines (dizaine de milliers à millier d'années), temps de l'époque actuelle (centaine à dizaine d'années), selon des oscillations irrégulières continues enchaînant des périodes, des stades et des phases plus ou moins longs de chauds et de froids relatifs plus ou moins intenses.

Les causes de ces variations sont essentiellement naturelles jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, et majoritairement humaines depuis la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle ; le 5<sup>e</sup> rapport du GIEC, publié en 2014, estime avec une "haute confiance" qu'en l'absence de mesures additionnelles prises, « les scénarios de base conduisent à une augmentation de la température moyenne globale en 2100 située entre 3,7 °C et 4,8 °C comparée aux valeurs pré-industrielles »<sup>7</sup>. Leurs effets principaux sont d'une part géomorphologiques, variations de l'épaisseur et de l'étendue des surfaces marines et terrestres

englacées, du niveau et de l'étendue de l'océan mondial, de l'étendue et du modelé des terres émergées... et d'autre part environnementaux, changement et/ou évolution des écosystèmes – migrations, disparitions, installations... de flores et de faunes selon les déplacements des zones climatiques.

## **I.6. Conclusion**

Nous avons vu que les problèmes environnementaux tels que la pollution, l'augmentation des GES, le changement climatique et l'épuisement des ressources naturelles risquent l'équilibre écologique de notre biosphère. Les énergies fossiles semblent un facteur aggravant cette crise environnementale et que les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, sont devenues des alternatives incontournables dans toutes démarches productives.

L'Algérie, à l'image des autres pays du Maghreb, de par sa situation latitudinale, possède un gisement solaire assez important, classé parmi les premiers à l'échelle planétaire. Avec ce potentiel, notre pays est tenu de penser sérieusement à la période d'après pétrole, la tâche est de taille, mais elle est indispensable pour le profit des générations futures.

## **Chapitre II La conversion photovoltaïque**



## II.1. Introduction

Actuellement, la production de l'énergie domestique et dans l'industrie est basée, en grande partie, sur une ressource limitée: le pétrole. Les sources du pétrole deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation reste la même, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits pour réduire la consommation. Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important [21]. La recherche des ressources d'énergie alternatives est devenue donc une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement, dans le domaine de la production d'énergie nucléaire, mais également dans le secteur des sources d'énergie illimitées, telles que la production d'électricité par le vent et la transformation d'énergie solaire [22]. Dans ce dernier cas, la conception, l'optimisation 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 50 % de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur PV de l'ordre de 50 %; en plus le générateur PV ne fonctionne plus dans les conditions optimums [23].

## II.2. Les systèmes photovoltaïques solaires

### II.2.1. Définition

Les panneaux photovoltaïques (solaires électriques) contiennent des semi-conducteurs tels que le silicium qui convertissent directement le rayonnement solaire en électricité. Contrairement aux sources d'énergies non renouvelables, l'énergie solaire est gratuite, elle ne produit aucune émission et est à la portée de tous. Les panneaux photovoltaïques n'ont pas de pièces mobiles et exigent peu d'entretien.[28]

#### 1) Emplacement de votre système photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques doivent avoir une bonne exposition au sud pendant les heures d'ensoleillement maximal, soit de 10 à 15 h. Ils donnent les meilleurs résultats lorsqu'ils sont

perpendiculaires aux rayons du soleil, c'est-à-dire inclinés à un angle égal à la latitude du site, soit de 42 à 45° de l'horizontale pour le sud de l'Ontario.[29]

Les systèmes photovoltaïques fixes peuvent être montés sur le sol (Figure I-1) ou sur n'importe quel toit placé face au sud, y compris un toit de grange (Figure II-2). Les granges sont généralement conçues pour une occupation humaine de faible densité, et elles ne répondent pas aux mêmes exigences structurelles que d'autres constructions. L'ajout de panneaux solaires peut accroître la charge supportée par le toit. Ces constructions peuvent aussi avoir des dommages structurels dus à l'humidité dégagée par les animaux et par les gaz de fumier, ou simplement à l'âge. Si vous avez le moindre doute quant à la santé structurelle de votre grange, veuillez consulter un ingénieur en structures.



**Figure II-1 : Système photovoltaïque à inclinaison fixe. Avec la permission de Bill Kemp[30]**



**Figure II-2 : Système photovoltaïque monté sur le toit d'une grange. Avec la permission de TDL Electronics[31]**

Les systèmes photovoltaïques à système de poursuite, montés sur le sol (Figure II-3), tournent de l'est vers l'ouest en même temps que le soleil. Ce dispositif permet un accroissement de la production des modules photovoltaïques atteignant 25 %. Cependant, pour que les avantages du système de poursuite soient pleinement mis à profit, les panneaux doivent avoir aussi une bonne exposition vers l'est et vers l'ouest.

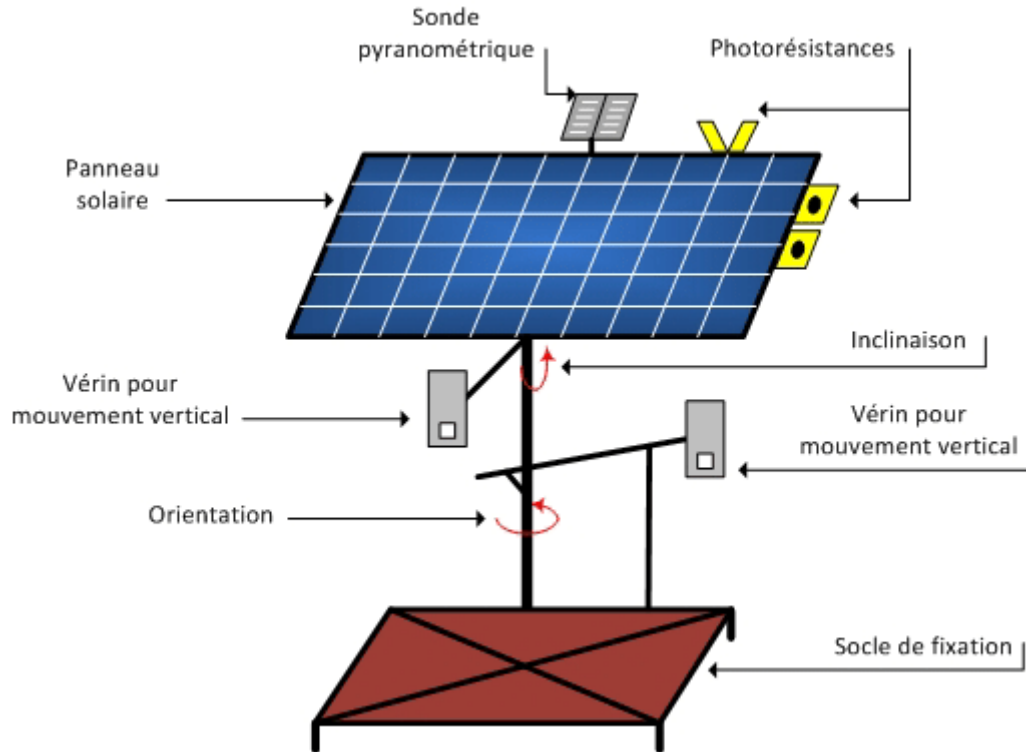


Figure II-3 : Système photovoltaïque monté sur un dispositif de poursuite(32)

## II.2.2. Description de la technologie

Les différents types de cellules photovoltaïques sont les suivants : Cellules monocristallin Cellules poly cristallin Cellules en couches minces Cellules à triple jonction

### II.2.2.1. Cellules monocristalline

Les cellules monocristalline (Figure II-4) comportent une plaquette de silicium purifié détachée d'un gros cristal de ce matériau semi-conducteur. Ce type de cellules photovoltaïques est apparu en 1955, et c'est le plus ancien. Comme chaque plaquette est découpée à partir d'un même cristal, toutes les cellules sont d'une teinte bleu foncé uniforme. Ce sont les cellules les plus répandues et les plus facilement disponibles; en laboratoire, elles convertissent jusqu'à 25 % du rayonnement solaire reçu en électricité, mais dans la pratique leur rendement est plutôt voisin de 16 %.



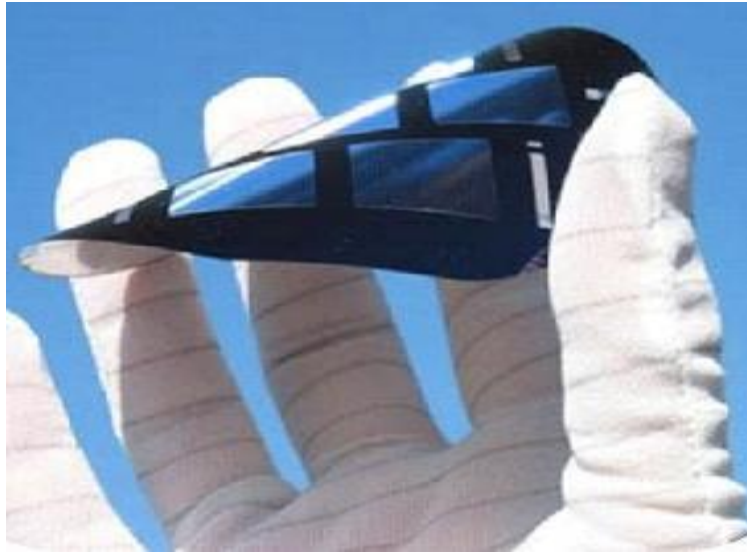
**Figure II-4 : Cellule solaire monocristallin. [33]**

### **II.2.2.2. Cellules poly cristalline**

Les cellules polycristalline sont fabriquées à partir du même matériau que les cellules monocristallin, mais au lieu d'un gros cristal, elles sont formées de plusieurs cristaux moulés dans un bloc carré. Les différentes structures cristallines donnent à chaque plaquette plusieurs teintes de bleu, ce qui permet de distinguer les cellules polycristallin des cellules monocristallin. Le découpage des plaquettes à partir d'un cube de cristaux multiples et non d'un gros cristal permet de réduire les pertes pendant la production, mais il entraîne aussi une légère diminution du rendement des cellules (1 à 2 %).

### **II.2.2.3. Cellules en couches minces**

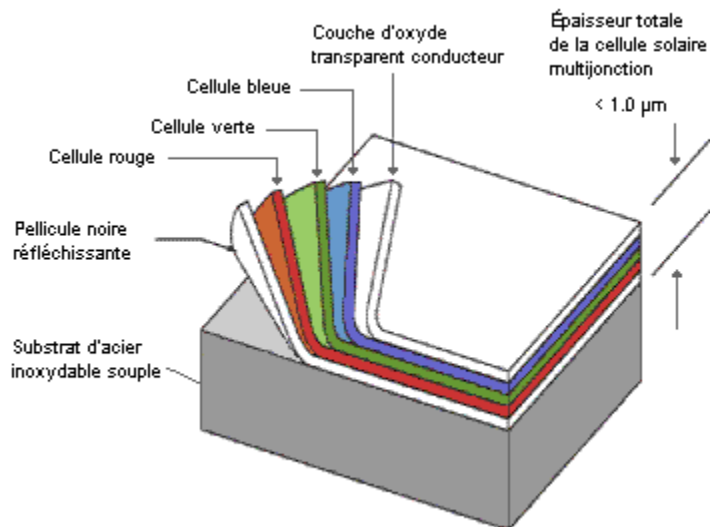
Les cellules en couches minces (Figure II-5) ne sont pas fabriquées a partir d'une plaquette de silicium entière, mais elles sont constituées d'une couche de semi-conducteur d'une épaisseur que quelques micromètres, ce qui permet une forte réduction des coûts de production. Cependant, actuellement, les cellules de ce type ont un rendement beaucoup moins élevé que les types plus anciens à cristaux, soit seulement 10 % en laboratoire et 6 à 8 % dans la pratique.



**Figure II-5 : Cellule en couches minces. [34]**

#### **II.2.2.4. Cellules à triple jonction**

Les cellules à triple jonction (Figure II-6) sont constituées de couches de différents semi-conducteurs (gallium, indium, germanium, arsenic) qui absorbent un spectre plus large du rayonnement solaire; elles ont un rendement de plus de 40 % en laboratoire et de plus de 30 % dans la pratique, et on les emploie dans les satellites. Étant donné leur coût relativement élevé, leurs applications commerciales se limitent à de petites surfaces sur lesquelles la lumière peut être concentrée par un jeu de miroirs.



**Figure II-6 : Schéma d'une cellule solaire à triple jonction. [35]**

Un montage en série d'un grand nombre de cellules constitue un module photovoltaïque, et plusieurs modules montés sur un cadre forment un panneau photovoltaïque. Là où il n'y a pas de réseau, les panneaux génèrent un courant électrique de façon simple et rentable et permettent donc d'alimenter un système autonome; ils peuvent aussi être branchés au réseau pour permettre au propriétaire de vendre l'électricité ainsi produite.

### II.2.3. Caractéristiques déterminant le choix d'une technologie de stockage

L'un des principaux inconvénients de l'énergie solaire est son caractère intermittent. Pour une utilisation permanente, il est donc nécessaire de stocker une partie de l'énergie produite. Pour ce faire il existe plusieurs méthodes de stockage : sous forme d'eau, d'hydrogène, dans un volant d'inertie, dans une batterie électrochimique (plomb, lithium) ou un supercondensateur. Leur choix se fait suivant des caractéristiques fondamentales qui sont [36]

- *Wstoc* : la capacité énergétique en Wh, qui est une caractéristique très importante lors du dimensionnement. L'énergie exploitable dépend néanmoins du rendement de charge ou décharge et varie donc avec le temps de transfert.

En charge ou décharge très rapide, le rendement se dégrade et l'énergie extractible peut être très inférieure à la capacité énergétique de l'élément de stockage. A l'opposé, en régime lent, c'est l'auto-décharge qui va pénaliser le bilan.

Enfin, les accumulateurs ne peuvent pas toujours être déchargés complètement. L'énergie exploitable est donc inférieure à l'énergie totale stockée. Souvent, la capacité énergétique est définie sur la base d'une énergie totale stockée supérieure à celle réellement exploitable notée  $W_{\text{util}}$ .

-  $P_{\text{max}}$  : la puissance maximale de charge ou de décharge parfois différentes. En effet si l'on prend l'exemple des accumulateurs électrochimiques, suivant le taux de charge (valeur du courant), la capacité en ampère-heure chargée ne sera pas la même. Une batterie de capacité nominale  $C$  chargée complètement à un taux  $C20$  (courant de charge  $I=C/20$ ) ne pourra fournir que la moitié de cette capacité si l'on la décharge à un taux égal à  $C1$  ( $I=C/1$ ). La puissance disponible est donc liée à la constante de temps  $\tau$  ( $P_{\text{max}}W_{\text{util}}\tau =$ ) -  $\eta$  : le rendement est le rapport de l'énergie restituée sur l'énergie emmagasinée. Sa définition est souvent simpliste car elle n'est fournie que pour un seul point de fonctionnement. Or, de façon caricaturale, il y a des « pertes à vide » ou d'autodécharge et des « pertes en charge ». Le rendement doit donc être défini sur un ou plusieurs cycles réalistes en rapport avec l'application. Ainsi un système optimisé pour une faible « constante de temps » aura un meilleur rendement lors de sollicitations rapides.

-  $N_{\text{cycl}}$  : le nombre maximal de cycles de charge/décharge ou cyclabilité. Tout dispositif de stockage subit une fatigue ou usure lors des cycles. Cela constitue généralement la première cause de vieillissement devant la dégradation thermique classique.

Les processus de fatigue sont souvent complexes et la cyclabilité n'est pas toujours bien définie. Dans tous les cas, elle est fortement liée à l'amplitude des cycles et/ou à l'état de charge moyen. Mais comme les cycles sont souvent très variables, la quantification de  $N_{\text{cycl}}$  est délicate. Les valeurs fournies constituent des ordres de grandeurs.

Les coûts d'investissement (c'est la part la plus marquante pour l'acheteur) et de fonctionnement (maintenance, énergie perdue lors des cycles, vieillissement) : les systèmes les moins coûteux à l'investissement sont généralement ceux qui se dégradent le plus vite en cyclage et dont le rendement est le plus mauvais. Pour minimiser le coût, il est indispensable d'effectuer une analyse sur



la durée de vie escomptée du système complet incluant le dispositif de stockage. Enfin, dans une démarche de développement durable, le coût global sur le cycle de vie, incluant les dépenses de matières premières, d'énergie et autres coûts environnementaux de la fabrication au recyclage, doit être considéré. Le coût d'investissement est généralement spécifié en €/kWh pour les accumulateurs d'énergie et en €/kW pour ceux plutôt dimensionnés en puissance, à faible constante de temps. Mais en réalité, il serait logique de répartir le coût entre ceux de l'énergie stockée exploitable  $W_{\text{util}}$  et de la capacité en puissance maximale.

- Autres caractéristiques : l'énergie massique (particulièrement importante dans les applications embarquées), elle revêt une moindre importance dans les applications stationnaires, l'énergie volumique, la sécurité (explosion, rejets...), etc...

## **II.2.4. Système photovoltaïque hybride[37]**

### **II.2.4.1. Son fonctionnement**

Le panneau solaire hybride, aussi appelé mixte, est un système qui fonctionne à la fois avec des capteurs photovoltaïques (pour produire de l'électricité) et avec des capteurs thermiques (pour produire de la chaleur).

Sur la face supérieure des panneaux, côté soleil, des cellules photovoltaïques produisent de l'électricité à partir des rayons solaires. Sur la face inférieure, des capteurs solaires thermiques captent la chaleur émise par le soleil. Grâce à un fluide caloporteur, ils la transportent jusqu'à un ballon de stockage.

Un panneau solaire hybride permet donc de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur.

### **II.2.4.2. Les différents types**

On distingue deux types de systèmes : les panneaux hybrides à air, également appelés panneaux aérovoltaiques, et les panneaux solaires hybrides à eau.

### **A. Les panneaux solaires hybrides à air**

Avec cette technologie, un dispositif de ventilation est installé à l'arrière de vos panneaux photovoltaïques. Il permet de récupérer l'air chaud, puis de le diffuser à l'intérieur de votre habitation ou d'un ballon thermodynamique.

La chaleur produite naturellement sous vos panneaux est donc utilisée pour chauffer votre logement. Elle a également une autre fonction : celle d'aérer vos panneaux photovoltaïques et donc de faire baisser leur température. En effet, ceux-ci sont moins efficaces lorsqu'ils sont soumis à une chaleur trop importante.

### **B. Les panneaux solaires hybrides à eau**

Avec un fonctionnement similaire, certains panneaux mixtes utilisent l'eau à la place de l'air pour produire de la chaleur. Cela crée donc de l'eau chaude sanitaire, que vous pouvez utiliser dans votre logement. Si vous êtes équipés de radiateurs à eau, vous pouvez également vous chauffer de cette façon.

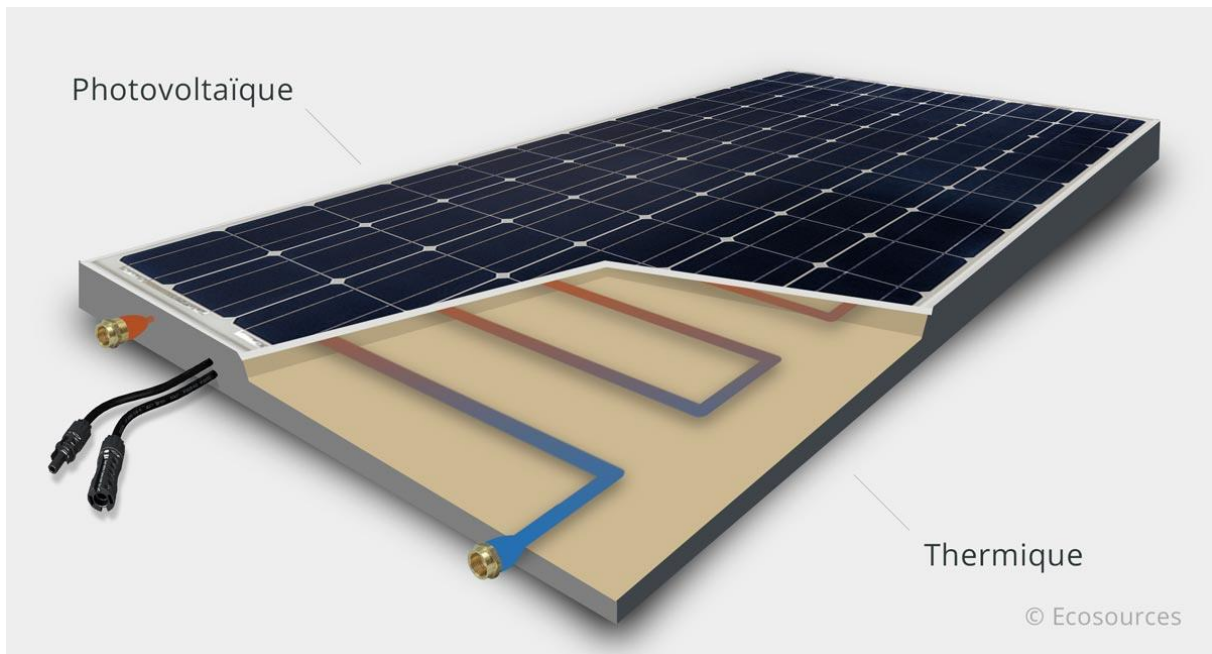
Un tel système permet également de refroidir efficacement les panneaux photovoltaïques, ce qui augmente leur rendement.

### **C. Le rendement : un facteur important**

Plusieurs études ont observé le rendement énergétique de panneaux hybrides à eau en comparaison de panneaux photovoltaïques et thermiques mis côte à côte. Les deux dispositifs étaient soumis aux mêmes conditions d'ensoleillement, d'orientation et d'inclinaison. Les deux systèmes ont permis de chauffer l'eau à 45°C toute l'année. Mais la production d'électricité est supérieure pour les panneaux hybrides.

Cela s'explique par le fait que les panneaux hybrides permettent aux cellules photovoltaïques de mieux fonctionner en leur assurant un refroidissement en cas de fortes chaleurs. Ainsi, leur rendement est augmenté.

Le rendement des panneaux hybrides est donc sensiblement le même que celui des panneaux solaires thermiques pour la production de chaleur, mais il est plus élevé que les panneaux photovoltaïques pour la production d'électricité. La différence de rendement étudiée est de l'ordre de 13%.



**Figure II-7 : Panneau solaire hybride photovoltaïque thermique[38]**

## II.2.5. Système photovoltaïque isolés avec batterie[39]

### II.2.5.1. définition

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes. Vous pouvez brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, mais vous risquez d'endommager la batterie si son niveau de charge dépasse les 90%. C'est pour cela qu'il est vivement recommandé d'installer

un régulateur solaire entre le panneau solaire photovoltaïque et la/les batteries solaires. Le rôle du régulateur dans une installation solaire est très important car le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (pas en dessous de 40%) ni trop haut (ne pas dépasser 95%). Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie. Nous vous recommandons de bien vérifier que le cyclage (nombre de cycles complets de charge - décharge de la batterie) est clairement indiqué par le fabricant. Le cyclage indique la durée de vie de la batterie solaire. Les batteries solaires de qualité ont une durée de vie de plus de 500 cycles, soit de 7 ans jusqu'à 15 ans. Les principales utilisations d'une batterie solaire sont : installation solaire en site isolé, camping car, caravaning, nautisme.

### **II.2.5.2. Définir la capacité de stockage des batteries solaires**

La capacité d'une batterie solaire est exprimée en Ampères Heure (Ah) ce qui désigne le débit totale d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...)

Avec un régulateur solaire (qui se branche entre les panneaux solaires et la batterie), vous réglez la charge de la batterie, qui ne doit pas dépasser 90%, ni ne doit descendre sous les 40%, car une surcharge comme une décharge trop profonde endommage ces batteries et diminue leur durée de vie.

Donc, si nous reprenons notre exemple, une batterie 100 Ah – 12V, pourra se décharger au mieux de 60Ah (60% x 100Ah). Cela représente par rapport à votre besoin quotidien en énergie  $60 \text{ Ah} \times 12\text{V} = 720 \text{ Wh}$

### **II.2.5.3. Déterminer la tension de votre installation photovoltaïque**

Ensuite, il faut déterminer la tension de stockage de l'énergie solaire : 12V, 24V ou 48V. La règle pour cela est assez simple : plus vous utilisez d'énergie, plus vous devez utiliser une tension élevée, afin de diminuer les déperditions d'énergie, qui surviennent quand l'énergie est transportée ou stocké.

Le montage des batteries se fait en série ou en parallèle pour augmenter la tension ou la capacité :

- Le montage en parallèle (qui consiste à relier les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-") permet d'additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).
- Le montage en série permet d'additionner la tension des batteries, en revanche la capacité en Ah reste celle d'une seule batterie.

#### **II.2.5.4. Intégrer l'autonomie souhaitée pour finaliser votre estimation**

Vous devez fixer le nombre de jour d'autonomie de votre installation photovoltaïque, c'est-à-dire le nombre de jours pendant lesquels vos batteries n'ont pas besoin d'être rechargées tout en conservant une consommation d'énergie normale. En général, cela représente le nombre de jours consécutifs sans soleil auquel vous pouvez faire face.

En continuant avec notre exemple, si vous avez un besoin d'énergie de 900 Wh par jour et que vous choisissez une autonomie de 3 jours, votre besoin de stockage sera de  $3 \times 900 \text{ Wh} = 2700 \text{ Wh}$  (pour simplifier, car il faudrait ajouter à cela une déperdition de charge de 15% à 30% à cause du câblage, de l'onduleur ...). Soit en 12V, une capacité de  $2700 \text{ Wh} / 12\text{V} = 225 \text{ Ah}$ .

Comme indiqué plus haut il est recommandé de ne pas décharger sa batterie au delà de 50%, donc il faut prévoir le double en capacité de batterie, soit 450 Ah. Donc vous pourriez choisir avec une bonne marge de sécurité 4 batteries de 150 Ah – 12V qui vous donneront une capacité cumulée de 600 Ah.

#### **II.2.5.5. Batterie solaire : capacité et durée de vie**

Une installation photovoltaïque autonome (dite aussi site isolé) comporte une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie produites par les panneaux photovoltaïques. Ces batteries spécifiques sont appelées "batterie à décharge lente" (ou pour simplifier batterie solaire).

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.

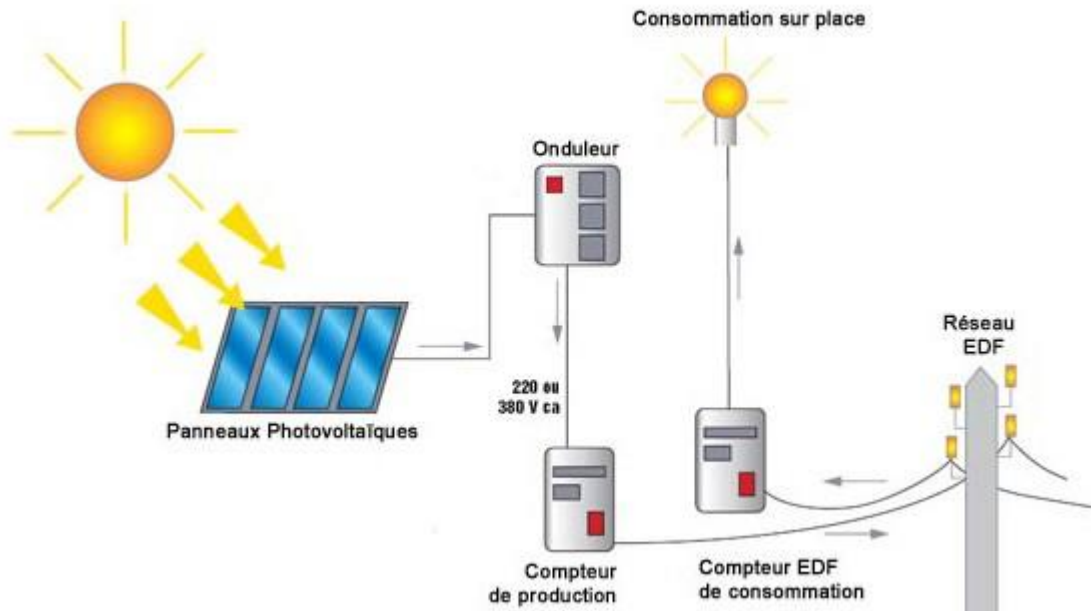
Il existe des batteries solaires fonctionnant en 2 Volts, 6 Volts ou 12 Volts (tension nominale), dont la capacité (en Ampères heure) est inversement proportionnelle à la tension : les batteries ayant la capacité de stockage la plus élevée sont les batteries 2V. Ces batteries sont différenciées par la géométrie des plaques positives (planes ou tubulaires) et par la forme de l'électrolyte (liquide, gel).

## **II.2.6. Les installations photovoltaïques raccordées au réseau**

L'énergie photovoltaïque est utilisée dans deux domaines d'applications : le PV en site isolé et le PV connecté au réseau. Ces deux applications ont des fonctions et mettent en œuvre des chaînes de conversion très différentes. Dans la suite, nous allons présenter plus particulièrement les fonctions et les topologies de champs PV connectés au réseau. Nous appelons « champ PV » un ensemble de modules.

### **II.2.6.1. Les fonctions macroscopiques**

Ayant comme but final la production d'énergie, une installation photovoltaïque nécessite la mise en place d'une chaîne de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique basée sur l'effet photovoltaïque. Quelle que soit son architecture, cette chaîne de conversion peut se décomposer en plusieurs sous-systèmes délimités selon leurs fonctionnalités. Un premier aperçu d'un schéma conceptuel des systèmes photovoltaïques connectés au réseau, identifiant les principaux sous-systèmes fonctionnels et leurs fonctions générales.



**Figure II-8 : Schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseaux[40]**

On peut identifier des fonctions de bases – production, conversion, interface réseau – représentées par des cases grises foncées – des fonctions auxiliaires – protection, supervision et stockage, dont les cases portent la couleur gris clair. Les fonctions de base sont associées au système proprement dit de production d'énergie (elles apparaissent dans toutes les configurations de systèmes photovoltaïques), tandis que les fonctions auxiliaires aident au bon fonctionnement du système de base et sont présentées en [PIC10]. Par exemple l'anti-îlotage évite à la centrale PV de fonctionner lorsque le réseau n'est plus présent et évite la création d'un réseau local.

### II.2.7. Les équipements photovoltaïques

Pour la réalisation d'un système photovoltaïque on doit passer par plusieurs étape notamment l'étapes la plus importante c'est le choix des matériaux utiliser pour notre installation donc pour cela nous commençons tout d'abord par choisir ces type de matériaux ensuite les raccordé pour un fonctionnement homogène et fluide afin d'assurer un rendement optimale

### **II.2.7.1. Les semis conducteur**

Les matériaux semi-conducteurs constituent le cœur des cellules photovoltaïques. Leurs atomes possèdent des électrons présentant des niveaux d'énergie discrets bien définis (selon la théorie des bandes). Ils sont alors sur leur bande de valence. Cependant, l'arrivée de photons peut changer la donne.

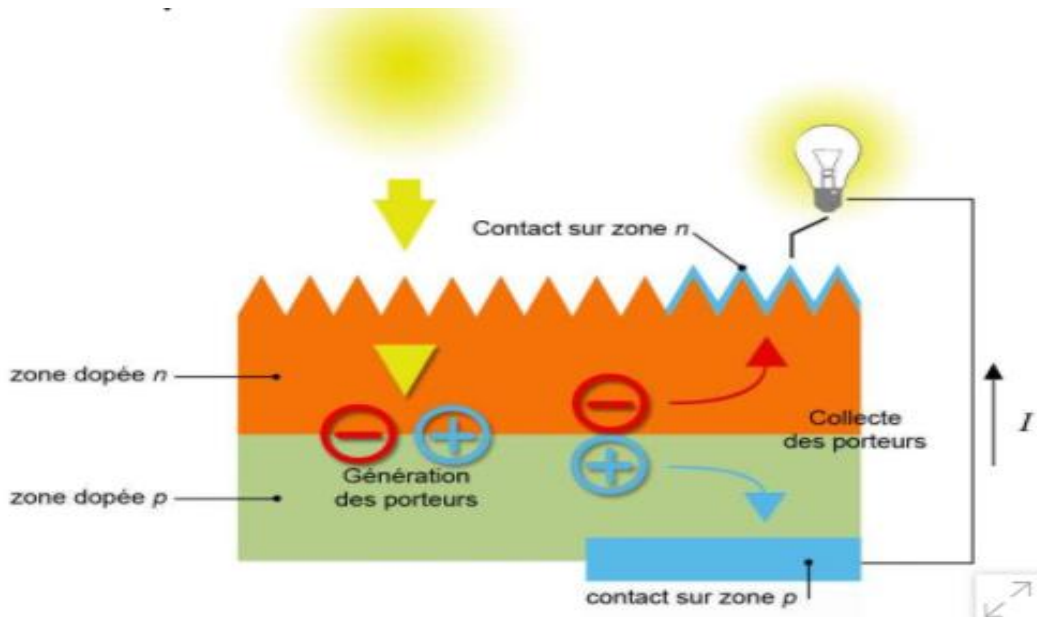
Lors de collisions avec les atomes, les photons peuvent transférer leur énergie aux électrons, au point de les exciter et ainsi de les forcer à quitter leur bande de valence pour rejoindre la bande de conduction (ce qui est possible grâce à la faible épaisseur de la bande interdite). Ils peuvent alors se déplacer dans la matière, tout en laissant un « trou » derrière eux. Pour rappel, les électrons sont chargés négativement. Les trous ont donc une charge positive.

Cette première étape est importante, mais elle ne suffit pas pour générer le courant souhaité. Il faut parvenir à séparer les trous des électrons pour éviter leur recombinaison.

#### **A. La jonction p-n, clé du succès des cellules photovoltaïques**

La meilleure solution pour séparer les charges consiste à utiliser un champ électrique qui doit, pour bien faire, apparaître spontanément durant la fabrication des cellules. C'est pourquoi le fonctionnement même des cellules photovoltaïques repose sur l'utilisation de jonctions p-n.





**Figure II-9 : atome d'une cellule photovoltaïque[41]**

En interagissant avec les atomes du semi-conducteur, les photons provoquent la formation d'une paire électron-trou. Les charges sont séparées grâce à la jonction p-n qui se crée lorsque l'on met en contact deux couches de semi-conducteurs dopés différemment

Les cellules photovoltaïques au silicium cristallin, les plus vendues dans le monde, se composent en réalité d'un semi-conducteur dont les parties supérieures et inférieures sont dopées différemment. Elles se distinguent par le nombre de charges négatives qu'elles possèdent. La première est dite «dopée de type n» (pour négatif), car elle renferme un surplus d'électrons par rapport au matériau non dopé, tout en restant neutre électriquement. La seconde est quant à elle «dopée de type p» (pour positif), car elle affiche un déficit en électrons.

Lorsque les deux couches sont mises en contact, les électrons en excès de la partie n diffusent spontanément vers la région déficitaire. Les couches n et p deviennent alors respectivement positive et négative. Il se crée donc un champ électrique qui tend à repousser les électrons excités par les photons vers la couche n, et les trous vers la couche p, où des collecteurs se chargent de les récolter. On peut ainsi mesurer une différence de potentiel entre les deux structures. Si la cellule est illuminée et que l'on ferme le circuit en

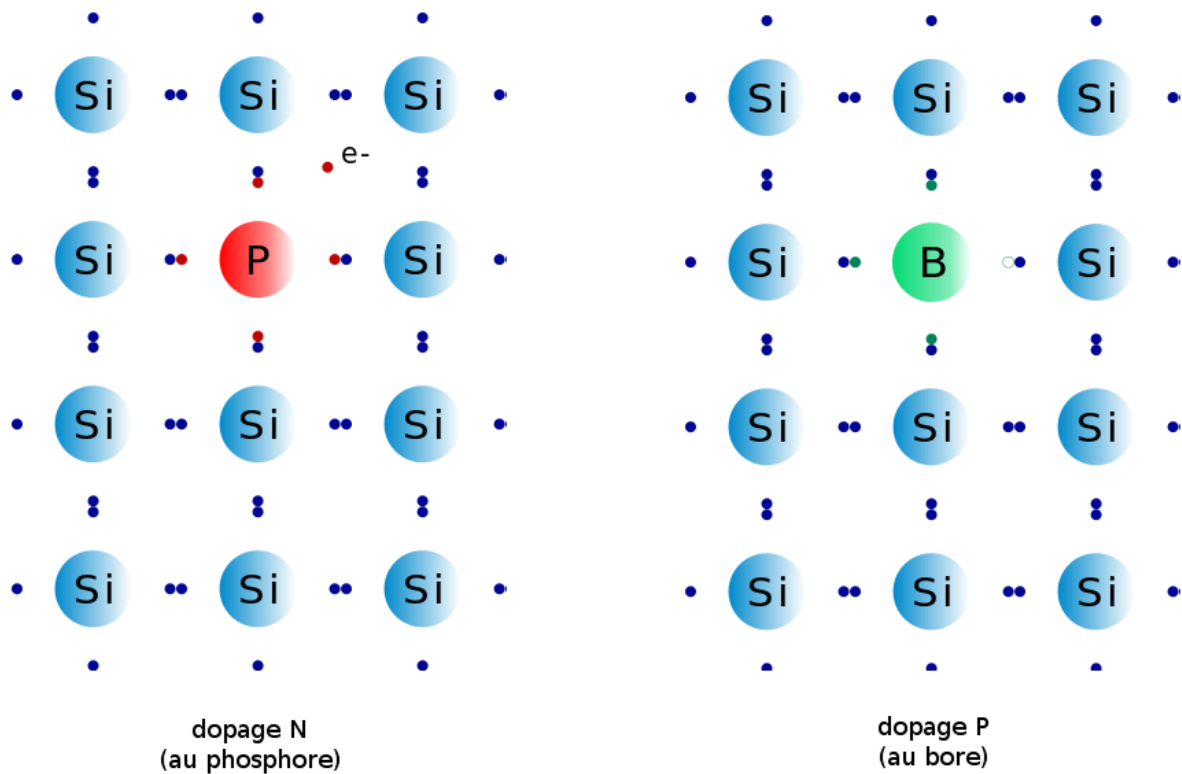
raccordant ses deux bornes à un réseau électrique ou sur un appareil, un courant électrique est fourni par la cellule.

### **B. Le dopage des semi-conducteurs**

L'efficacité du système repose donc sur la facilité avec laquelle le semi-conducteur peut donner des électrons, ainsi que sur le dopage des différentes couches qui améliore la conductivité des charges. Concrètement, en quoi consiste ce dopage ?

Les atomes de silicium (Si) possèdent quatre électrons de valence. Cet élément est donc classé dans la colonne IVA du tableau de Mendeleïev. Tous ces électrons de valence établissent des relations avec les atomes voisins au sein du matériau. Il n'y a donc pas d'électron à donner pour la réalisation de la jonction p-n.

Pour résoudre ce problème, des chercheurs ont eu l'idée de remplacer des atomes de Si par des atomes possédant cinq électrons périphériques, comme les atomes de phosphore, d'arsenic ou d'antimoine (colonne VA du tableau de Mendeleïev). Quatre d'entre eux se lient aux atomes de silicium voisins, tandis que l'agitation thermique suffit pour faire monter le cinquième électron sur sa bande de conduction, d'où il peut alors répondre à l'existence de la jonction p-n.



**Figure II-10 : le dopage N au phosphore et le dopage P au bore (semi-conducteur)[42]**

- Grâce au dopage N, le silicium devient un peu plus conducteur : en effet, l'introduction du phosphore a pour effet de déplacer la bande de conduction vers le bas : les électrons du silicium sont donc plus rapidement conducteurs.
- Grâce au dopage P, le silicium devient également un peu plus conducteur : le bore apporte certes « un trou d'électrons », mais ce dernier peut recevoir un électron voisin qui laisse alors un trou derrière lui. Le trou s'est alors déplacé et ceci constitue bien un sorte de déplacement de charges (« virtuellement » positive) et augmente donc la conductivité du matériau également.[42]

Ces deux façons de doper un semi-conducteur sont donc antagonistes : l'une apporte un électron en plus au cristal semi-conducteur et l'autre en retire un.

Tous ces concepts vont dorénavant servir de fil rouge à ce dossier. En effet, quelles que soient les cellules décrites, elles possèdent toutes des matériaux dopés établissant des jonctions p-n. Avant de plonger dans l'anatomie d'une cellule au silicium cristallin, découvrons comment ses principaux constituants sont fabriqués.

### II.2.7.2. La batterie

Une batterie pour panneau solaire permet de stocker l'énergie produite par vos panneaux. Grâce à elle, vous pouvez l'utiliser quand vous le souhaitez, et pas seulement lorsqu'il fait jour et beau. Il en existe différents types, dont il est utile de connaître les caractéristiques principales : vous ferez ainsi le choix le plus adapté à votre mode de vie et à votre installation solaire. L'objectif : maximiser vos économies, et avancer vers l'autonomie énergétique.

### II.2.7.3. La fonctionnalité des batteries solaire

Une installation photovoltaïque doit toujours **être reliée à un onduleur**. En effet, l'électricité produite par les panneaux est en courant continu. Or, les appareils électriques ont besoin d'un courant alternatif pour fonctionner. L'onduleur permet de transformer ce courant continu en courant alternatif. Une **batterie solaire est dotée d'un onduleur intégré**. Le courant continu est ainsi dirigé vers la batterie, puis passe par son onduleur, avant de pouvoir être utilisé dans la maison. La vie d'une batterie solaire est rythmée par des cycles de charge et de décharge. Ces derniers sont gérés par un Energy Management System (EMS), capable d'analyser à la fois la quantité de courant produite par les panneaux et l'état de charge de la batterie, afin de la remplir ou la vider selon les besoins. Le Battery Management System (BMS) vient compléter les fonctionnalités de l'ESM, afin de préserver la durée de vie de la batterie et d'en optimiser la sécurité.[43]

Les panneaux solaires permettent de convertir l'énergie du soleil en électricité. Cependant, ce fonctionnement implique que le soleil soit nettement présent dans le ciel, c'est-à-dire qu'il fait jour et beau. La batterie solaire vous permet de stocker l'électricité produite non consommée. Lorsque le temps ne permet pas une production optimale de vos panneaux (mauvais temps, faible ensoleillement), la batterie solaire vous permet de profiter de cette électricité stockée. Pouvoir stocker de l'énergie grâce à une batterie de panneau solaire vous permet donc ne pas avoir recours à l'électricité fournie par le réseau national, qui prend habituellement le relais lorsque vos panneaux solaires ne sont pas en mesure de la produire eux-mêmes. Investir dans une batterie solaire, c'est donc faire **un pas de plus vers l'autoconsommation**. En effet, la batterie permet d'**emmagasiner l'électricité solaire** que

vous n'utilisez pas immédiatement. C'est elle qui vous permet d'allumer la lumière la nuit, de regarder la télévision les jours de pluie, etc.

La batterie solaire constitue une option dans l'installation de panneaux photovoltaïques. Son achat et sa mise en place n'ont donc rien d'obligatoire, et reposent sur un choix pleinement personnel. Sans batterie, des panneaux solaires permettent déjà de faire 20 à 50 % d'économies d'énergie selon les spécialistes. Cela peut cependant impliquer de nombreuses adaptations dans votre mode de vie :

- programmer des appareils comme le lave-vaisselle ou le lave-linge pour qu'ils se mettent automatiquement en route lors des heures les plus ensoleillées de la journée ;
- penser à ne passer l'aspirateur que par beau temps ;
- mettre en charge les téléphones et autres appareils du même type en journée ;
- faire attention à l'utilisation de l'éclairage.

Pour vous aider à appréhender cette nouvelle gestion de l'électricité disponible, il existe des outils de domotique permettant d'optimiser l'autoconsommation photovoltaïque. Par exemple, des prises intelligentes permettent d'analyser en temps réel l'électricité produite par les panneaux solaires ou disponible dans la batterie, et de diriger l'électricité où il le faut. Ainsi, vous utilisez au maximum l'énergie que vous produisez vous-même, et vous diminuez la part d'électricité achetée en complément. Ce système est toujours installé sur mesure, puisqu'il dépend précisément de vos appareils, de votre consommation et de votre mode de vie.[43]

#### **II.2.7.4. l'autonomie de la batterie et sa durée de vie**

L'autonomie de votre installation photovoltaïque est le nombre de jours pendant lesquels votre batterie permet de répondre à votre consommation, sans avoir besoin d'être rechargée.

Toutes les batteries ne vous permettent pas d'être autonome pendant la même durée. Si votre batterie est capable de stocker 3000 Wh et que votre consommation quotidienne est

de 1000 Wh, l'autonomie est de 3 jours. C'est la durée moyenne d'autonomie d'une batterie chargée.

La durée de vie des batteries solaires diffère en fonction du type de batterie et de son utilisation. Pour prolonger au maximum sa durée de vie, il est conseillé de descendre le moins souvent possible en dessous de 40 % et de ne pas dépasser les 95 %.

La durée de vie se mesure en nombre de cycles. Chaque cycle correspond à une charge et une décharge. Voici les moyennes observées selon le type de batterie :

- Batterie au plomb ouverte — entre 400 et 500 cycles.
- Batterie AGM — entre 600 et 900 cycles.
- Batterie GEM — entre 800 et 1300 cycles.

#### **II.2.7.5. L'installation des batteries**

Une **batterie solaire doit être reliée au régulateur de charge**, qui est lui-même connecté au panneau solaire. Le régulateur de charge a pour fonction de modifier la tension délivrée à la batterie, en fonction de la tension qui provient des panneaux solaires. La borne positive de l'un doit être connectée à la borne positive de l'autre. Il en va de même pour les bornes négatives. Lors de l'installation d'une batterie solaire, la batterie doit être reliée au régulateur de charge avant les panneaux. Ensuite, le réseau électrique du logement peut être relié à son tour au régulateur de charge. Ce mode d'installation permet de protéger le circuit électrique du logement contre les décharges profondes de la batterie. Lors d'une décharge profonde, la batterie ne fournit plus que quelques volts (or, il en faut 12 pour que le courant puisse être utilisé dans un logement). La recharge est alors plus longue, et vous pouvez vous retrouver à court de courant durant plusieurs heures. En outre, la décharge profonde produit une accumulation de sulfates dans la batterie, ce qui dégrade ses performances, voire provoque des courts-circuits, ce qui la rend inutilisable.[43]

### **II.2.7.6. Les principaux critères pour choisir sa batterie**

Les batteries solaires se déclinent en plusieurs types, selon leur mode de fonctionnement. Elles n'offrent pas toutes les mêmes caractéristiques. Il est donc important de sélectionner la batterie pour panneau solaire qui correspond à vos besoins en termes de capacité de stockage, de rendement, d'entretien, de durée de vie et encore de résistance.

#### **➤ La capacité de stockage**

Il s'agit de la quantité d'énergie qu'une batterie est capable de stocker. Plus elle est élevée, plus vous pouvez accumuler d'énergie à utiliser plus tard. Il est souvent possible de coupler des batteries entre elles afin d'accroître cette capacité de stockage. Celle-ci se mesure en kilowattheure (kWh).

#### **➤ La puissance de sortie**

C'est la quantité d'énergie qu'une batterie solaire est capable de délivrer en instantané. Si la puissance de sortie est faible, seuls les petits appareils électriques peuvent fonctionner. Si elle est élevée, beaucoup plus d'appareils peuvent fonctionner en même temps. La puissance de sortie se mesure en kilowatts (kW).

#### **➤ La capacité de décharge maximum**

Comme expliqué plus haut, il est déconseillé de décharger complètement une batterie solaire : cela diminue leur durée de vie.

La capacité de décharge maximum désigne le pourcentage de décharge qu'il ne faut pas dépasser afin de ne pas endommager le système en profondeur. Par exemple, si votre batterie a une capacité de stockage de 10 kWh et une capacité de décharge de 95 %, il ne faut pas dépasser 9,5 kWh de consommation avant d'effectuer une recharge.

Plus la capacité de décharge maximum est élevée, plus c'est confortable pour vous.

#### **➤ Le rendement**

Le rendement correspond à la quantité d'énergie qu'elle peut restituer par rapport à celle nécessaire pour la recharger.

Par exemple, une batterie de 10 kW qui a un rendement de 80 % pourra restituer 8 kW.

Plus cette valeur est élevée, plus la batterie est rentable.

### **II.2.7.7. Les différents types de batteries**

#### **➤ Les batteries à plomb ouvert**

Ce type de batterie se révèle **particulièrement résistant**. Leur principal inconvénient réside dans l'entretien régulier qu'elles demandent. Il faut en effet veiller à ce que :La batterie reste propre ;

Le niveau d'électrolyte qu'elle contient reste à environ plus ou moins 2 cm au-dessus des plaques, ce qui nécessite d'ouvrir la batterie ;

Les bornes restent bien connectées, ce qui peut requérir de les enduire de vaseline neutre.

En outre, une batterie pour panneau solaire à plomb ouvert produit de l'oxygène et de l'hydrogène lorsqu'elle est en fonctionnement. Il est donc important de pouvoir la placer dans un endroit bien aéré. Cependant, il faut veiller à ce que la température ambiante ne descende pas trop en hiver, car cette batterie solaire est sensible au froid et au gel. La durée de vie de ce type de batterie solaire peut dépasser les 10 ans, selon l'utilisation qui en est faite. En effet, son cycle de vie peut être raccourci si elle n'est pas suffisamment déchargée lors de chaque cycle. Elle est donc particulièrement recommandée pour une utilisation intermittente, comme dans les maisons secondaires par exemple.

#### **➤ Les batteries AGM (Absorbed Glass Mat)**

Plus sécurisantes que les batteries à plomb ouvert, car elles sont étanches et ne dégagent donc pas de chaleur, les batteries AGM sont également des batteries au plomb. Elles ont également l'avantage de ne pas réclamer d'entretien. Cependant, elles supportent un nombre



de cycles de charge et de décharge plus faible, et leur durée de vie est estimée à une dizaine d'années. En revanche, elles affichent un faible taux d'autodécharge : lorsqu'elle n'est pas utilisée, la **batterie se décharge donc très lentement**. Elle est donc un choix particulièrement recommandé dans les résidences secondaires, puisqu'elle ne perdra pas beaucoup de sa charge entre deux séjours.

### ➤ Les batteries en gel

Les batteries en gel pour panneau solaire représentent la **technologie plomb poussée à son maximum**. Du gel de silice est ajouté afin de figer l'électrolyte. Leur nombre de charges et de décharges élevé les rend particulièrement **appropriées à une utilisation quotidienne**. Elles ne réclament pas d'entretien, et se montrent résistantes, surtout face aux températures négatives. Mais elles peuvent perdre en performances lorsqu'elles sont soumises à des surcharges. En revanche, elles sont bien adaptées aux décharges intenses, même de 100 %, si elles ne restent pas déchargées trop longtemps. Par ailleurs, elles ont un rythme de charge plus lent que les autres modèles de batterie.

#### II.2.7.8. Les batteries au lithium-ion

Il s'agit du **type de batterie le plus récent**, qu'on retrouve dans de nombreux objets quotidiens tels que les téléphones portables, les voitures électriques, etc. Sans entretien, légères et résistantes face aux décharges profondes, elles **peuvent être utilisées pendant une vingtaine d'années**. Elles permettent de stocker autant d'énergie qu'une batterie au plomb, mais dans un petit espace, ce qui permet d'obtenir des batteries plus compactes.

#### II.2.7.9. Les différents prix des batterie pour panneau solaire :

Les types de batteries pour panneau solaire étant très variés, il n'est pas possible d'évoquer un prix moyen. Tout dépend de plusieurs facteurs :

- La catégorie de la batterie : plomb ouvert, AMG, gel, lithium-ion ;
- Les caractéristiques techniques de la batterie : tension, capacités de stockage ;
- La marque et le modèle spécifiquement choisis.

Cependant, on peut répartir des fourchettes de prix comme suit par kilowattheure :

- Batterie à plomb ouvert : de 80 à 250 € ;
- Batterie AMG : de 200 à 400 € ;
- Batterie gel : de 250 à 500 € ;
- Batterie lithium : de 600 à 1 000 €.\*

Un exemple de batterie :



**Figure II-11 : Batterie GEL 12V 100Ah[44]**

Les batteries Ultracell sont des batteries de technologie Deep Cycle à décharge profonde. Fabriquées en Angleterre depuis 1999 ; elles bénéficient du label éco-durable et vous suivront dans de nombreuses applications. Selon les disponibilités, nous pouvons être amenés à vous livrer un autre modèle de batterie mais toujours en privilégiant la qualité et jamais en gamme inférieure.

- Tension nominale : 12V.
- Capacité : 100 Ah (10 heures, 1.80V/cell, 25°C).
- Résistance : environ 4,9 mΩ.
- Température de fonctionnement :
  - Décharge : + 15°C à 50°C.
  - En charge : 0°C à + 40°C.
  - Stockage : - 15°C à + 40°C.
- Capacité en fonction de la température :
  - 103% à + 40°C.
  - 100% à + 25°C.

- 86% à 0°C.
- Durée de vie (20°C) : 8 ans.
- Auto-décharge : les batteries Ultracell peuvent être stockées 6 mois à 25°C avant d'être rechargée.  
Le temps diminue au fur et à mesure que la température augmente.
- Dimensions (L x l x H) : 330 x 173 x 220 mm.
- Poids : 30,4 kg.

## **II.2.8. Les onduleurs**

### **II.2.8.1. Définition**

L'onduleur solaire, ou onduleur photovoltaïque, est un dispositif qui a pour mission de convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC). C'est un composant indispensable des systèmes photovoltaïques étant donné que les panneaux solaires photovoltaïques génèrent de l'électricité en courant continu. La plupart des appareils utilisés dans une maison ou dans des locaux professionnels fonctionnent avec du courant alternatif. L'onduleur vous permet donc d'obtenir un courant utilisable par tous vos appareils.[45]

On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant, en fonction de la source d'entrée continue : source de tension ou source de courant. La technologie des onduleurs de tension est la plus maîtrisée et est présente dans la plupart des systèmes industriels, dans toutes les gammes de puissance (quelques Watts à plusieurs MW) [46]

### Fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques

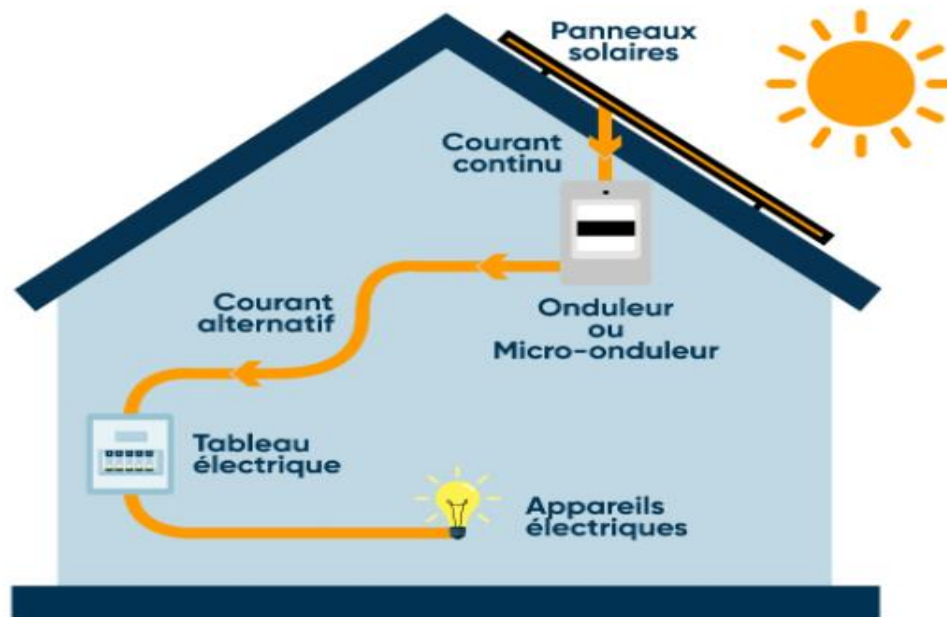
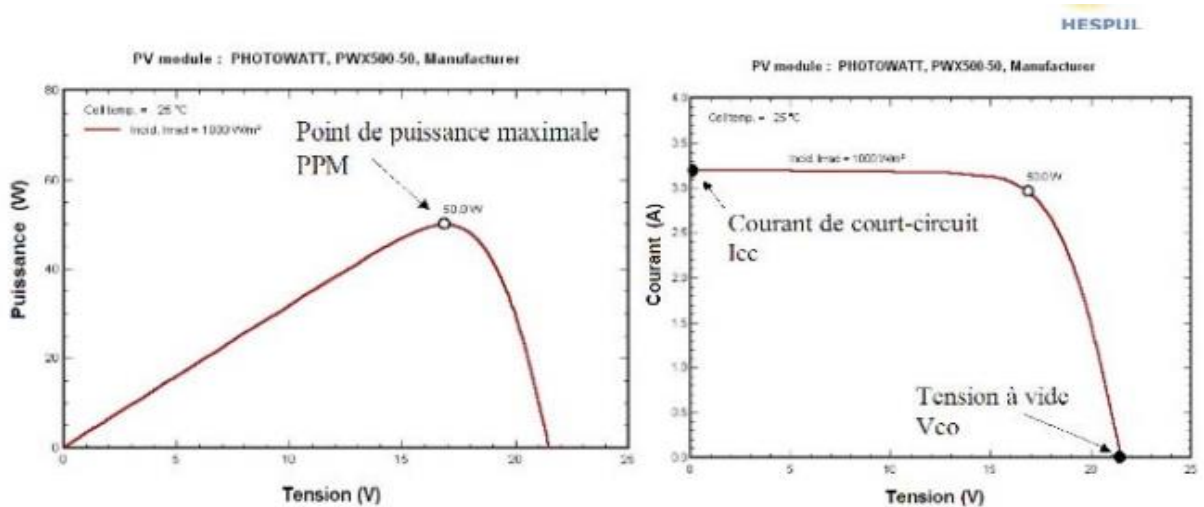


Figure II-12 : fonctionnement des panneau solaire photovoltaïque[47]

#### II.2.8.2. Caractéristiques propres à un onduleur pour systèmes photovoltaïques (PV)

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, mais l'objectif de conversion AC\*/DC\* est le même. La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système. En effet, le générateur PV (ensemble de modules PV) a une courbe caractéristique IV non linéaire (figure 1). Pour un éclairement et une température donnés, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant). Le générateur n'est alors ni vraiment une source de tension ni vraiment une source de courant non plus. La tension de circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement : augmente si l'éclairement augmente.[48]



**Figure II-13 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque[48]**

Le meilleur point de fonctionnement du système correspond au point de cette courbe où la puissance, produit de la tension et du courant, est maximisée. Il se situe au milieu de la caractéristique. (figure 1)

En régime permanent établi, la tension et le courant du capteur sont considérés comme constants. L'utilisation d'un onduleur de tension plutôt qu'un onduleur de courant est alors essentiellement motivée par des raisons technologiques.

L'onduleur de tension impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsions (MLI\* ou PWM\* en anglais). Ces créneaux ne posent aucun problème pour l'alimentation d'un moteur, mais sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau. On place alors entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) une inductance qui joue le rôle de filtre et permet à l'onduleur de fournir au réseau des courants quasi sinusoïdaux : d'un point de vue formel elle transforme l'onduleur de tension en onduleur de courant

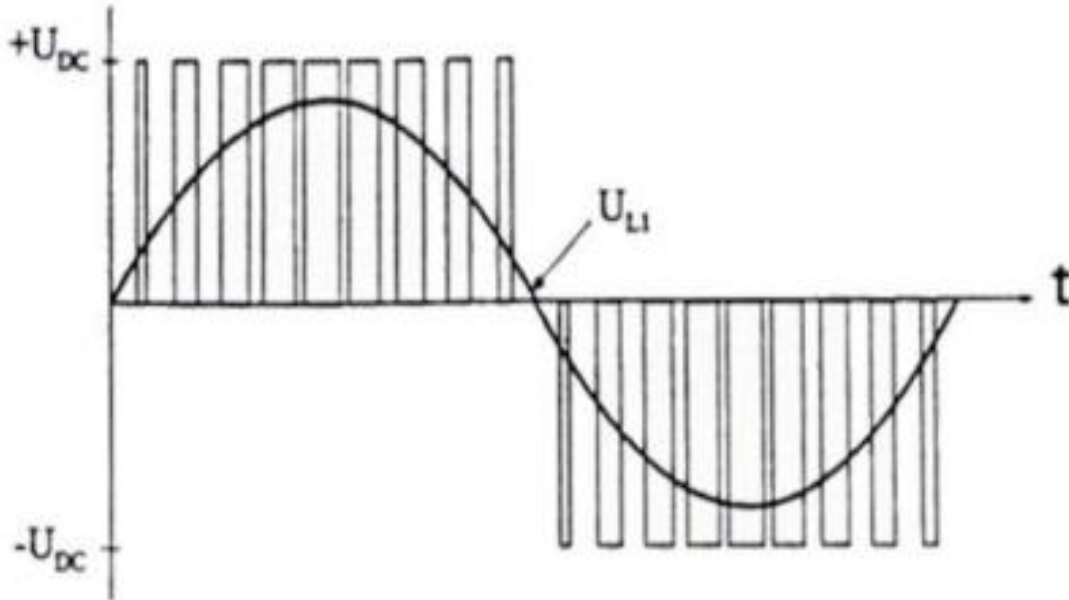


Figure II-14 : Filtrage de la tension par l'inductance de sortie[50]

### II.2.8.3. L'entretien des onduleurs

En tant que composant clé du système photovoltaïque, l'onduleur central doit être opérationnel le plus longtemps possible. Les intempéries, l'usure et la poussière peuvent à terme impacter sa durée de vie. Mais il est tout à fait possible de préserver ses performances en adoptant les bons gestes :

- **Un diagnostic complet de l'appareil** et une inspection des câbles par des services de maintenance qualifiés chaque année.
- **Un remplacement des pièces** au premier signe d'usure pour prévenir les éventuelles pannes.
- **Un nettoyage régulier** des saletés et des poussières qui couvrent l'onduleur.

### **II.3. Conclusion**

Dans ce chapitre on a vu les différents systèmes photovoltaïques. D'abord, le système isolé avec batterie. Dans ce système, les batteries stockent l'énergie solaire produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Aussi les systèmes hybrides ou alimentés directement. Enfin, on a introduit les différents équipements importants pour notre installation photovoltaïque comme les différents types de batterie et onduleur.

## **Chapitre III Modélisation**



## III.1. Introduction

Dans ce chapitre on va s'intéresser à la modélisation d'une installation photovoltaïque donc on va séparer ce chapitre en deux parties. Une partie on va la laisser pour définir comment organiser une installation photovoltaïque ainsi que tous le matériel nécessaire et disponible à la porter de main en Algérie. La deuxième partie, on va identifier notre cahier de charge avec le calcul détaillé de notre système pour compléter notre modélisation avec un schéma détaillé de notre travail.

## III.2. Installation

Quelques pré requis sont à vérifier avant de procéder à une installation solaire.

### III.2.1. Calculer vos besoins annuels

Tout d'abord, vous devez estimer au mieux vos besoins en matière d'électricité. Cela peut se faire très simplement, en regardant la consommation annuelle de votre foyer sur votre facture. Cet élément est important afin de déterminer la quantité d'électricité que vous devez essayer de produire à l'année avec votre installation. Cela vous donne une indication importante sur la puissance totale de votre future installation. En fonction de la surface de votre toit, vous pourrez estimer la puissance totale et voir si elle est suffisante pour couvrir vos besoins.

Vérifier l'inclinaison du toit et choisir l'orientation de votre installation

### III.2.2. Une orientation sud pour un meilleur rendement

Il est important de vérifier l'orientation de votre toit avant de vous lancer dans un projet solaire. En effet, si celui-ci est trop mal orienté, votre production pourrait être très faible. Si vous avez la possibilité d'installer des panneaux solaires en direction du sud, c'est idéal. Le sud-est et le sud-ouest sont également corrects. En revanche, si vous n'avez pas d'autre possibilité que l'orientation nord, vous devrez certainement réfléchir à une façon différente de produire de l'énergie verte.

Une inclinaison à 30° (51-52)

Une deuxième vérification est nécessaire : celle de l'inclinaison de votre toit. En effet, les panneaux solaires ont un rendement maximal lorsque les rayons du soleil ont un angle de 90° par rapport au soleil. Un toit incliné entre 30° et 35° permet un rendement maximal au cours de l'année.

Faire un bilan de l'ensoleillement sur votre terrain

Effectuer un bilan de l'ensoleillement sur votre terrain. Cela permet d'avoir une idée précise du rendement que vous pouvez espérer en tenant compte des données : localisation, orientation, inclinaison, situation géographique.

Il sera peut-être nécessaire d'élaguer les arbres qui font de l'ombre sur votre toit pendant une partie de l'année : cela pourrait réduire fortement votre production.

### III.2.3. Les étapes à suivre pour installer des panneaux solaires

Une fois que vous avez validé les prérequis obligatoires à votre installation solaire, il est temps de passer à l'installation. Vous avez encore quelques choix à faire avant de vous lancer.

Choisir le type de panneaux et la technique de pose

Vous devrez également déterminer, à l'aide d'un professionnel, le type de cellule solaire et la technique de pose. **Des rendements différents en fonction de votre choix**

La grande majorité des particuliers optent pour les **panneaux à base de silicium**. Il s'agit des plus courants et ils ont un rapport qualité/prix très intéressant.

Parmi eux, les **panneaux solaires monocristallins** sont composés d'un cristal de silicium unique. Ils ont le meilleur rendement, mais sont également les plus chers. Leur production est plus importante lorsqu'ils sont en présence d'un rayonnement direct. Ils ont une couleur très foncée, proche du noir.

Les **panneaux poly cristallins** sont composés de plusieurs cristaux de silicium. Ils ont un rendement légèrement inférieur, mais qui reste très intéressant. Ils ont un excellent rapport qualité/prix, c'est la raison pour laquelle ils sont très répandus. Ils captent très bien les rayonnements indirects et sont de couleur bleue.

Enfin, les **panneaux solaires amorphes** sont moins courants. Bien que leur prix soit très attractif, leur rendement est vraiment faible par rapport aux autres types de panneaux. Ils sont composés d'une couche très fine de silicium.

### Deux techniques de pose

Enfin, il vous reste un dernier choix à faire concernant la façon dont vous souhaitez poser les panneaux solaires sur votre toit. Deux options s'offrent à vous.

La première est la plus courante : il s'agit de la **surimposition**. Les panneaux sont posés par-dessus le toit, en parallèle du plan de la toiture. C'est le système le plus simple, le plus rapide, mais aussi le moins cher. En effet, il ne comporte pas de difficultés particulières à installer. Son inconvénient majeur est que les panneaux solaires sont alors très visibles.

La deuxième solution est **l'intégration au bâti**. Il s'agit de retirer une partie des tuiles de votre toit pour y insérer des panneaux solaires. Le rendu final est alors beaucoup plus discret, puisque la toiture est à la même hauteur que les panneaux. Ceux-ci assurent alors en partie **l'isolation de la maison**. Souvent, le montant des travaux est assez onéreux puisqu'il faut retirer une partie du toit. Il vaut mieux la choisir en cas de construction ou de réfection totale du toit.

Il est également possible de choisir de poser des panneaux solaires au sol si vous n'avez pas la possibilité de les installer sur votre toit. [50-51]

## III.3. Installation photovoltaïque en série et en parallèle

### III.3.1. l'installation en parallèle

Les connexions strictement parallèles sont principalement utilisées dans des systèmes plus petits et plus fondamentaux, et généralement avec des régulateurs PWM, bien qu'il s'agisse d'exceptions. Connecter vos panneaux en parallèle augmentera les ampères et maintiendra la même tension. Ceci est souvent utilisé dans les systèmes 12V avec plusieurs panneaux, car le câblage de panneaux 12V en parallèle vous permet de maintenir vos capacités de charge à 12V.

L'inconvénient des systèmes parallèles est qu'il est difficile de parcourir de longues distances avec des ampérages élevés sans utiliser des câbles très épais. Des systèmes aussi élevés que 1000 watts peuvent produire plus de 50 ampères, ce qui est très difficile à transférer, en particulier dans les systèmes où vos panneaux sont à plus de 3 mètres de votre régulateur, auquel cas vous devriez aller à 4 AWG ou plus et donc plus coûteux à long terme. De plus, les systèmes en parallèle nécessitent des équipements supplémentaires tels que des connecteurs de branche ou un boîtier de combinaison.

### III.3.2. L'installation en série

Les connexions en série strictes sont principalement utilisées dans des systèmes plus petits avec un régulateur MPPT. Connecter vos panneaux en série augmentera le niveau de tension et maintiendra l'ampérage de la même manière. La raison pour laquelle les connexions en série sont utilisées avec les régulateurs MPPT est qu'ils peuvent accepter une entrée de tension supérieure, tout en pouvant charger vos batteries de 12 V ou plus. Les régulateurs MPPT peuvent accepter une entrée de 100 volts. L'avantage de la série est qu'il est facile de transférer sur de longues distances. Par exemple, vous pouvez avoir 4 panneaux 100 Watt en série, l'exécuter à 30 mètres et utiliser uniquement un fil fin de calibre 14AWG.

L'inconvénient des systèmes en série est l'ombrage. Lorsque les panneaux sont câblés en série, ils dépendent tous les uns des autres. Si un panneau est ombré, cela affectera toute la chaîne. Cela ne se produira pas dans une connexion parallèle.

### III.3.3. L'installation mixte

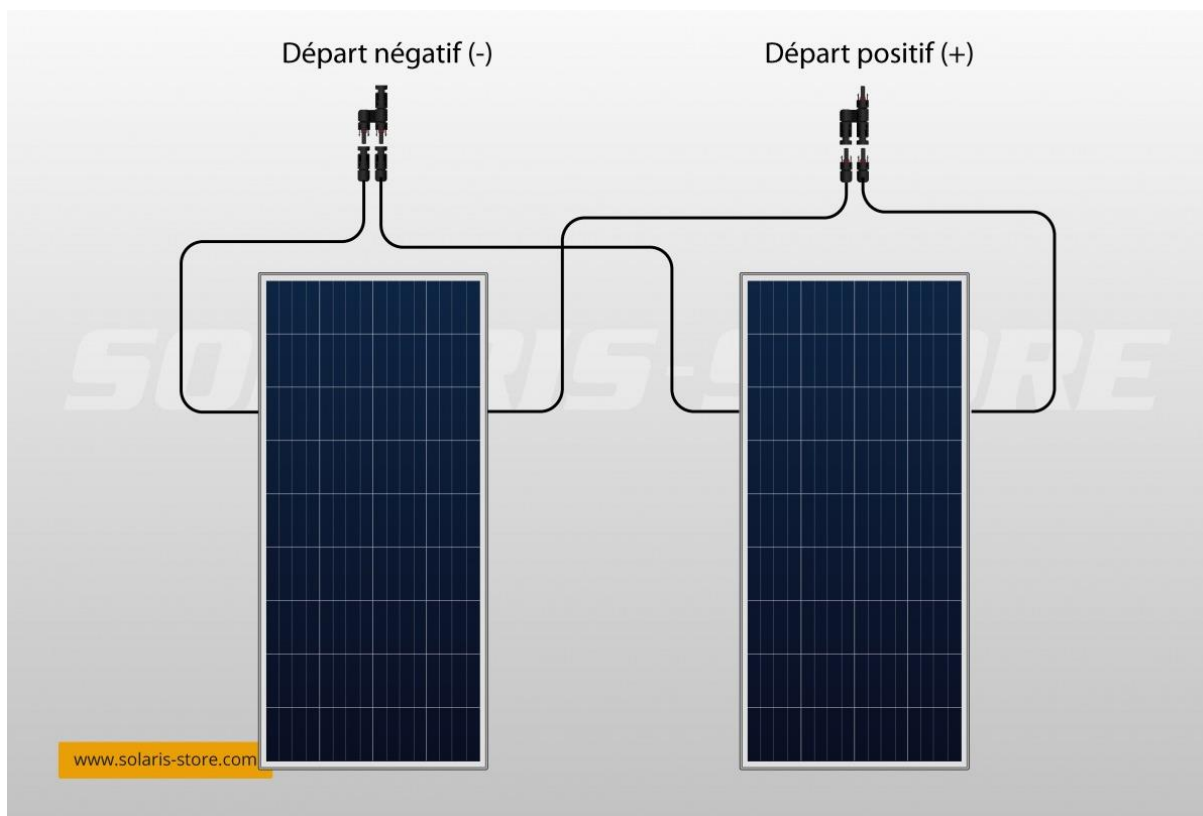
Les panneaux solaires sont généralement limités par un facteur, le régulateur de charge. Les régulateurs de charge sont uniquement conçus pour accepter une certaine quantité d'ampérage et de tension. Souvent, pour les grands systèmes, afin de rester dans les paramètres d'ampérage et de tension, nous devons faire preuve de créativité et utiliser une connexion série en parallèle. Pour cette connexion, une chaîne est créée par 2 panneaux ou plus en série. Ensuite, une chaîne égale doit être créée et mise en parallèle. 4 panneaux en série doivent être parallèles avec 4 autres panneaux en série, sinon il y aura une grave perte de puissance. Vous pouvez en voir plus dans l'exemple ci-dessous.

Il n'y a pas vraiment d'inconvénient aux connexions série-parallèle. Ils sont généralement utilisés en cas de besoin quand les autres options ne sont pas disponibles.

## III.4. Les différents types de configuration

### III.4.1. Configuration en parallèle

Une connexion parallèle est réalisée en reliant l'ensemble des éléments positifs de deux panneaux, ainsi que leurs négatifs. Ceci peut être accompli de différentes manières, mais généralement pour les petits systèmes, il sera fait via un connecteur de branche. Le connecteur de branche a une forme en Y l'un a deux entrées pour le positif, une pour le négatif, et l'autre deux entrées pour le négatif, une pour le positif. Voir l'image ci-dessous.



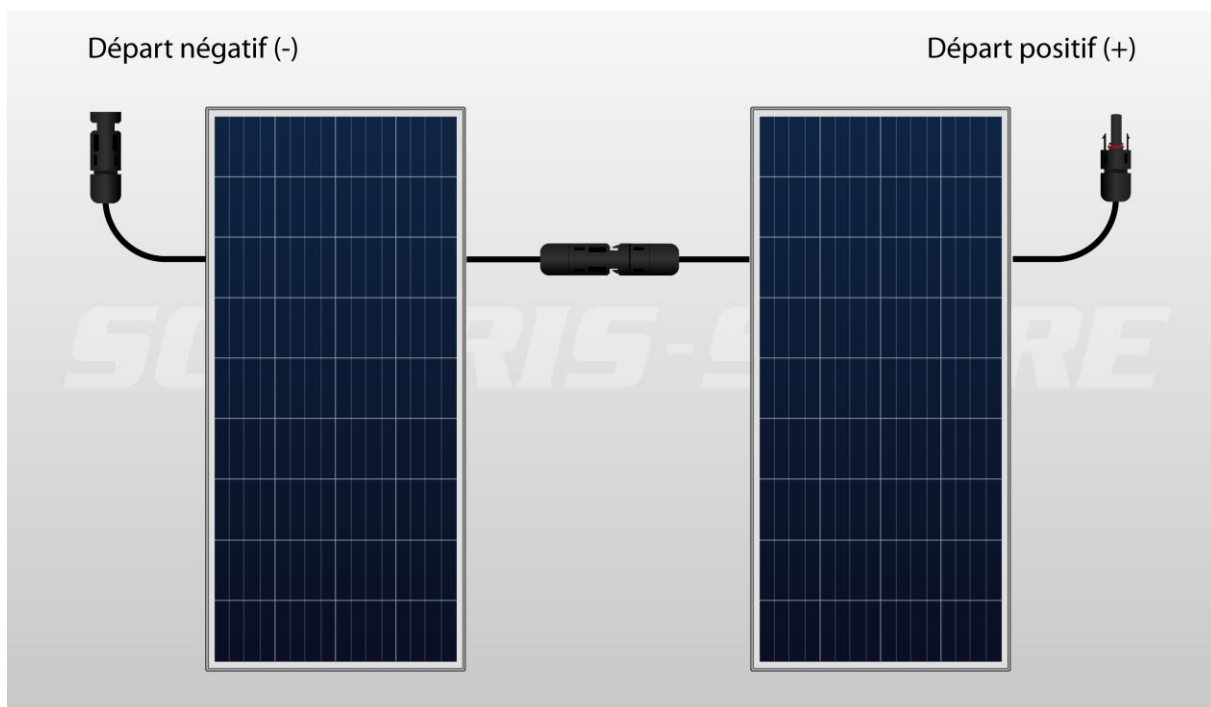
**Figure III-1 : branchement de panneau solaire en parallèles[52]**

Comme vous pouvez le constater, vous avez un emplacement pour la borne négative du panneau 1 et le terminal négatif du panneau 2. Ainsi que les équivalents positifs. Ensuite, les sorties négative et positive seront utilisées pour se connecter à votre régulateur de charge via un câble PV solaire.

Regardons un exemple numérique. Supposons que vous disposiez de 2 panneaux solaires de 100 W et d'un groupe de batteries 12V. Étant donné que chaque panneau est de 12 V et que le groupe de batteries que vous souhaitez charger est de 12 V, vous devez mettre en parallèle votre système pour que la tension soit la même. La tension de fonctionnement est de 18,9 V et le courant de fonctionnement est de 5,29 ampères. La mise en parallèle du système maintiendrait la tension identique et augmenterait les ampères par le nombre de panneaux en parallèle. Dans ce cas, vous avez  $5,29 \text{ Ampères} \times 2 = 10,58 \text{ Ampères}$ . La tension reste à 18,9 volts. Pour vérifier, vous pouvez faire  $10,58 \text{ ampères} \times 18,9 \text{ volts} = 199,96 \text{ watts}$ , soit à peu près 200 watts.

### III.4.2. Configuration En série

Une connexion en série est réalisée en reliant le positif d'un panneau au négatif de l'autre panneau. Avec cela, vous n'avez besoin d'aucun équipement supplémentaire, à l'exception des câbles fournis avec le panneau. Voir le diagramme ci-dessous.



**Figure III-2 : branchement de panneau solaire en serie[52]**

Regardons un exemple numérique. Supposons que vous disposiez de 2 panneaux solaires de 100 W et d'un groupe de batteries 24V. Étant donné que chaque panneau est de 12 V et que le groupe de batteries que vous souhaitez charger est de 24 V, vous devez alors utiliser votre système en série pour augmenter la tension. Pour des raisons de sécurité, utilisez la tension de circuit ouvert pour calculer les connexions en série. Dans ce cas, le panneau 100 Watt a un circuit ouvert de 22,5 V et 5,29 ampères. La connexion en série serait de  $22,5 \text{ volts} \times 2 = 45 \text{ volts}$ . Les ampères resteraient à 5,29. La raison pour laquelle nous utilisons une tension à circuit ouvert est que nous devons tenir compte de la tension d'entrée maximale du régulateur de charge.

\* Si vous voulez vérifier, cela ne fonctionnera pas avec la tension à circuit ouvert. Vous pouvez utiliser la tension de fonctionnement, donc  $18,9 \text{ volts} \times 2 = 37,8 \text{ volts}$ .  $37,8 \text{ volts} \times 5,29 \text{ ampères} = 199,96 \text{ watts}$ , soit à peu près 200 watts.

### III.4.3. Configuration mixte (série-parallèle)

Une connexion série-parallèle est réalisée en utilisant à la fois une connexion série et une connexion parallèle. Chaque fois que vous regroupez des panneaux en série, que ce soit 2, 4, 10, 100, etc., cela s'appelle une chaîne. Lorsque vous effectuez une connexion série-parallèle, vous mettez essentiellement en parallèle deux chaînes égales ou plus.

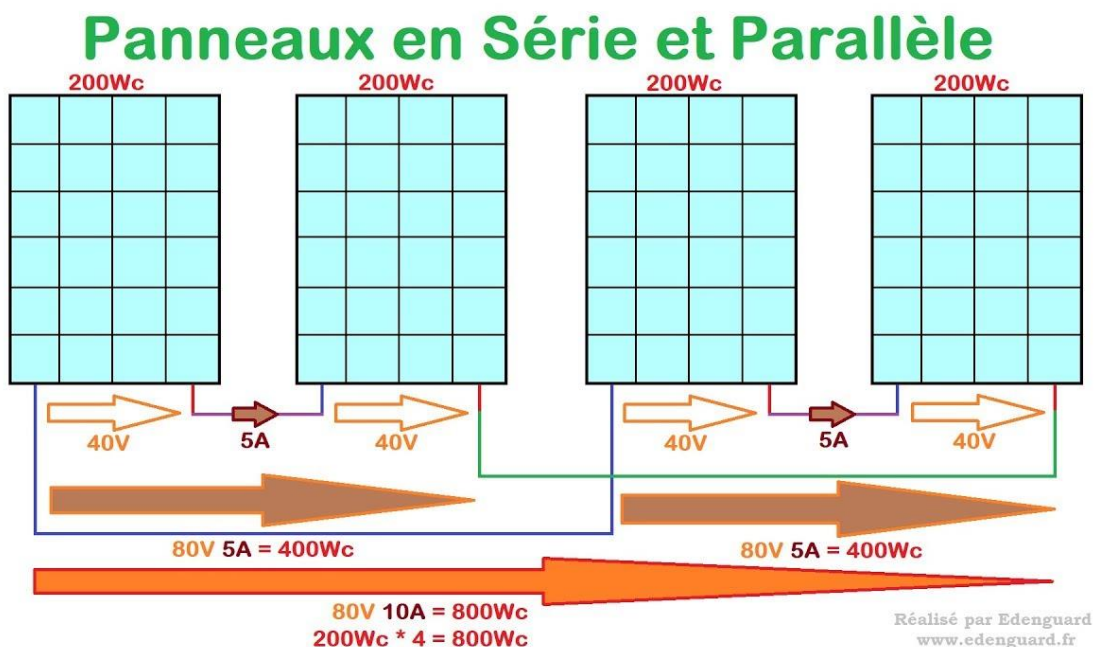


Figure III-3 : branchement mixte des panneau solaire (serie et parallele)[53]

Comme vous pouvez le constater, cette série de connexions en parallèle comporte 2 chaînes de 4 panneaux. Les cordes sont mises en parallèle.

Regardons un exemple numérique pour ce diagramme. Ceci est principalement utilisé sur notre régulateur Renogy 40 Amp MPPT car il peut accepter jusqu'à 800 watts de puissance, mais seulement 100 volts, raison pour laquelle vous ne pouvez pas tout faire en



série. La mise en parallèle de 8 panneaux également provoquerait une intensité de courant trop élevée.

Pour cet exemple, vous utiliseriez la tension de circuit ouvert de 22,5 volts et le courant de fonctionnement de 5,29 ampères. En créant une chaîne de 4 panneaux, vous aurez une tension de 22,5 volts  $\times$  4 = 90 volts, ce qui est inférieur à la limite de 100 volts. Ensuite, en parallèle sur l'autre chaîne, la tension restera 90 volts et les ampères doubleront, soit 5,29 ampères  $\times$  2 = 10,58 ampères.

*\* Gardez à l'esprit qu'il existe généralement un autre facteur à prendre en compte lors du dimensionnement du régulateur MPPT, appelé le courant de suralimentation. Ceci sera discuté dans la section du régulateur de charge.*

*\* Si vous voulez vérifier, cela ne fonctionnera pas avec la tension à circuit ouvert. Vous pouvez utiliser la tension de fonctionnement, donc 18,9 volts  $\times$  4 = 75,6 volts. 75,6 volts  $\times$  10,58 ampères = 799,85 watts, soit à peu près 800 watts.*

Les différents matériaux disponible en Algérie pour une installation photovoltaïque :

Pour notre étude on a fait plusieurs recherche sur les différents sociétés de fourniture des matériaux (panneau PV , Batterie , Onduleur , Câblage ...) disponible en algerie et on a trouver plusieurs fournisseur ( laguarsolar , dimel , milltech ) et par la suite on a baser notre recherche sur ces sociétés

La société milltech :

Situe dans la zone industrielle de Boukherana, pres de Chelghoum El Aid (a 400 km d'Alger, la capitale) et occupant une surface de plus de 6 hectares, l' usine est équiper d'une chaine de production de panneaux photovoltaïques de la dernière génération, et capable de produire annuellement 200 MW (plus de 600 000 panneaux/ ans).Grace a sa capacité de produire des modules standards et haute tension (1500 V) dans les technologies monocristallines et poly cristallines (modules PERC a venir), des modules verre-verre et bifaciaux, ainsi que des modules halfcutcell, [54]

La société milltech propose une large gamme de panneau PV et parmi tous ces modèles on a :

Le modèle siraj c'est le modèle standard disponible en 4 modèles différents

5BB MONO-PERC 60 CELL /320W

5BB MONO-PERC 72 CELL /385W

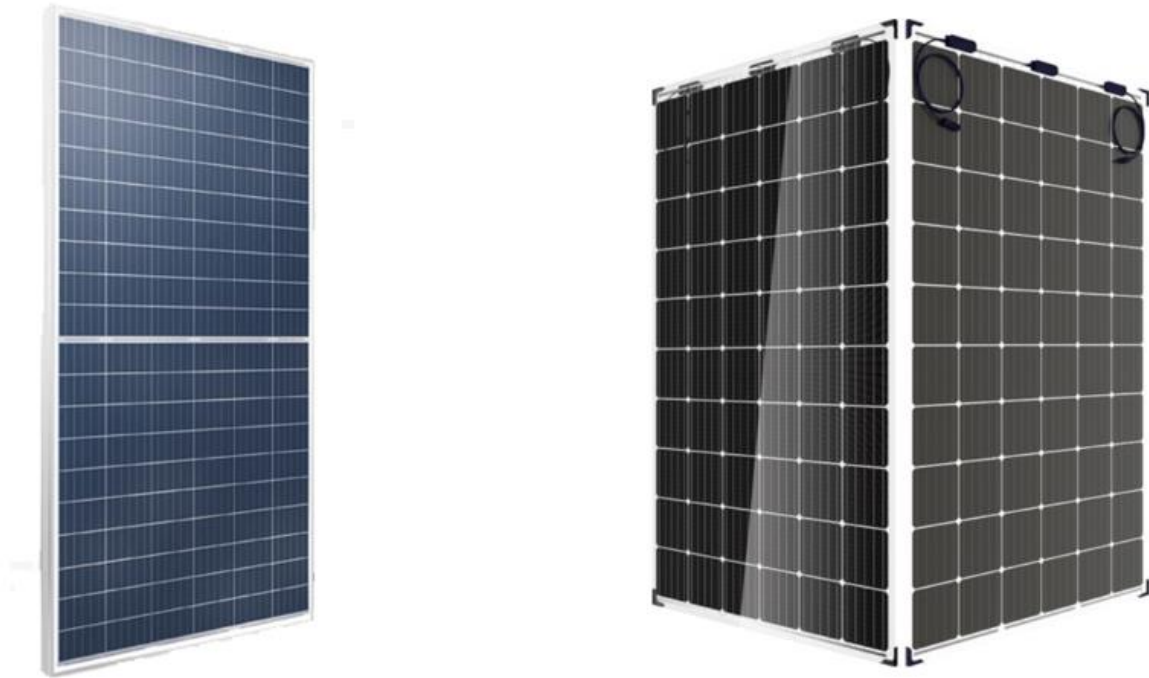
5BB POLY 60 CELL /275W

5BB POLY 72 CELL /330W



**Figure III-4 : Panneau solaire milltech  
siraj monocristallin[54]**

Et aussi d'autre modèle comme le DIA (Half cell Modules) ou le modèle NIBRAS (bifacial modules)



**Figure III-5 : panneau solaire milltech DIA (Half cell Modules) et NIBRAS (bifacial modules)[54]**

Et aussi cette société propose une gamme d'onduleur lancer récemment pour compléter sa gamme de produit en association avec le Lidder mondial sungrowcomme étant le représentant officiel en Algerie Ainsi, que ce soit pour les les professionnels, IPPistes ou bien EPCistes, MILLTECH peut fournir, installer, mettre en service et entretenir toute la gamme onduleurs Sungrow connus pour leur robustesse, et adaptes au besoin des clients.



**Figure III-6 : onduleur MPPT sungrow [54]**

La société lagua solar :

Lagua Solaire est fournisseur des produits et systèmes d'énergie solaire: face aux nouveaux défis du marché de l'énergie, il accompagne les entreprises et les collectivités, quelles que soient leur taille et leur activité.

Lagua Solaire a développé de nouvelles solutions et possède toutes les compétences nécessaires pour faciliter, optimiser et gérer l'ensemble du projet, de l'étude à la fourniture des produits.

Déployés sur la l'Algérie entière, la société porte une attention particulière à chacun de ces clients pour aller toujours plus loin dans l'accompagnement, et elle devient un véritable partenaire sur le long terme. Pour tisser une relation de confiance avec toutes ses clientèles [56]

De ce fait la société possède plusieurs types de matériaux nécessaires pour les installations PV en commençant par les panneaux PV , lagua solaire en propose deux

Le IF-P 5BB POLY CRYSTALLINE disponible en deux modèle le 160W et aussi aussi le 165W

Le IF-P 5BB POLY CRYSTALLINE disponible en quatre modele 330W 335W 340W 345W

Ainsi elle possède aussi différents types de batterie en gel idéal pour les relier au installations des module PV elle en propose deux modèle [55]

Les batteries sako en gel disponible en deux modèles en 12V avec 200AH OU 260AH

Les batterie champion en gel disponible en deux modèles en 12V avec 200AH OU 150AH

La société Dimel :

Dimel exerce depuis 2006 dans le domaine de l'énergie solaire en terme d'études de fournitures et d'installation la société a un parcours et des valeurs qui leur permettent de disposer d'une expertise ciblée sur nos domaine d'intervention , tous ses acquis sont mobilisées pour analyser dans le détails les projets de leur clients , elle présente une large gamme de produits d'équipements d'outillage avec une disponibilité permanente et un service de livraison actif et dynamique en assurant le conseil , la garantie et le service après vente , l'objectif de dimel et de garantir a ces client des produit de haute qualité avec des normes technologique de plus en plus compétitives , tous sa dans le respect de l'environnement .[56]

Elle propose plusieurs types de panneau en différents type de matériaux en mono cristalline ainsi que le poly cristalline

Les panneaux solaires dimel monocristallin disponible en cinq modèles DM50W DM85W DM100W DM150W DM190W

Les panneau solaire dimel polycristallin disponible en cinq modeles DP100W DP135W DP150W DP250W DP300W

Dimel propose aussi un large choix de batterie en gel

Le modèle LEOCH AGM-GEL 12V disponible en six modèles 100AH 120AH 150AH 200AH 260AH 65AH et même des onduleur MPPT régulateur de charge

Régulateur de charge EPEVER MPPT disponible en plusieurs modèles de voltage 40A en 12V/24V et 60A 80A 100A en 12/24/36/48V

Méthode de calcul d'une installation PV :

A / Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

Pour dimensionner la surface de panneaux nécessaires on procède en trois étapes :

**Etape 1** : Calcul de l'énergie qui sera consommée par jour (voir bilan des puissances et énergies )

**Etape 2** : Calcul de l'énergie à produire Pour que les besoins du client soit assurés il faut que l'énergie consommée ( $E_c$ ) égales l'énergie produite ( $E_p$ ) à un coefficient près

$$E_c = \frac{E_p}{K} \quad (1)$$

$E_c$  : énergie consommée.

$E_p$  : énergie produite.

$K$  : coefficient de correction.

Le coefficient  $k$  tient compte des facteurs suivant :

- l'incertitude météorologique ;
- l'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison ;
- le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par : la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des module dans le temps (vieillessement et poussières) ;
- le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (90%) ;

- le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%) ;
- les pertes dans les câbles et connexions

Pour les systèmes avec parc batterie, le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,75. La valeur approchée que l'on utilise pour les système avec batterie sera souvent de 0,65.

Etape 3 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque (ensemble des panneaux) à installer. La puissance crête des panneaux à installer dépend de l'irradiation du lieu d'installation. On la calcule en appliquant la formule suivante :

$$P_c = \frac{E_p}{K} \quad (2)$$

$P_c$  : puissance crête.

$E_p$  : énergie produite.

$K$  : coefficient de correction.

$I_r$  : irradiation (moyenne du rayonnement solaire dans une journée).

Ce qui revient à écrire :

$$P_c = \frac{E_c}{K} \quad (3)$$

$E_c$  : énergie consommé

B / Dimensionnement du parc batteries :

Pour réaliser le dimensionnement de la batterie, on procède de la façon suivante :

**Etape 1 :** On calcule l'énergie consommée ( $E_c$ ) par les différents récepteurs

**Etape 2 :** On détermine le nombre de jour d'autonomie nécessaire

**Etape 3 :** On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisée

**Etape 4 :** On calcule la capacité ( $C$ ) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U} \quad (4)$$

$C$  : capacité de la batterie en ampere heure

$N$  : nombre de jour d'autonomie

$D$  : decharge maximale admissible ( 0,8 pour les batterie au plomb)

$U$  : tension de la batterie (V)



### III.5. Dimensionnement

Présentation du cahier des charges :

**Tableau III-1 : Bilan des puissances d'une petite maison dans une ferme isolé à Ouled-mimoun (Tlemcen)**

Récepteur alimenté par onduleur					
Appareils	Nombre	Puissance unitaire	Fréquence ou durée d'utilisation quotidienne	Puissance	Energie
Projecteur	1	50 W	occasionnel 2h/jour	50 W	100 W/h
Lampe FLUO	10	13 W	Fonctionnement 5h	130W	650 W/h
Lampes LED	20	13 W	Fonctionnement 5h	260 W	1300 W/h
Réfrigérateur 200 litre	1	100 W	Permanent 12h	100 W	1200 W/h
Congélateur	1	100 W	Permanent 12h	100 W	1200 W/h
Plaque électrique	1	2000 W	4h/jour	2000 W	8000 W/h
téléviseur LCD	1	200 W	4h/jour	200 W	800 W/h
Chargeur téléphone portable	4	5 W	2h/jour	20 W	40 W/h
Chargeur ordinateur portable	1	150 W	2h/jour	150 W	300 W/h
				$P_{total}=3010$ W	$E_c=13590$ wh

Cahier des charges et données complémentaires :

Site : ouledmimoun 34° de latitude Nord / Altitude de l'auberge ≈ 700 m

Pente de toit :  $34^\circ$  par rapport à l'horizontale / l'orientation des panneaux est plein sud ( $180^\circ$ )

Le site est prévu pour fonctionner de début mai à fin décembre

L'autonomie doit être de 1 jours en cas de mauvais temps.

Les batteries seront du type accumulateurs en gel , stationnaire. (chaque accumulateur génère une tension de 2V)

L'onduleur sera de type onduleur-chargeur (type Studer Inno Compact); compte tenu de la puissance mise en jeu l'ensemble batteries, panneaux et onduleur fonctionnera en 24 V CC.

Les panneaux seront du type JINKOSOLAR 345W

Calcule de l'énergie à produire  $E_p$

Remarque :

K : c'est le coefficient de correction il varie entre 0.6 et 0.7. Dans les systèmes isolés avec batterie comme notre cas on prend la moyenne c'est 0.65 donc  $K = 0.65$ .

$$E_p = \frac{13590}{0.65} = 20907 \text{ W}$$

Calcule de la puissance crête  $P_c$  du générateur photovoltaïque nécessaire

On prendra un irradiation moyenne de 5 KWh/m<sup>2</sup> / jour pour la période estivale de fonctionnement

$$P_c = E_p / I_r = 20907 / 5 = 4181 \text{ watt crête}$$

A partir de la puissance crête des panneaux JINKOSOLAR JKM345 on détermine le nombre de panneaux solaire nécessaires a l'installation

$$N = P_c / \text{puissance crête unitaire panneau} = 4181 / 345 = 12$$

Nombre de panneau = 12 panneaux

Après on calcule la capacité des accumulateurs nécessaires à ce système ainsi que leur nombre

Remarque : Pour notre étude on a pris des batteries TESLA POWERWALL2 DE 50V

De cela on calcule  $C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U}$

On prend une seule journée d'autonomie pour le nombre N

On prend une décharge maximale de 0,7 pour la batterie

$$C = \frac{(13590 * 1)}{(0,7 * 51)}$$

$$C = 385 \text{ AH}$$

puisque on a une puissance crête de 4181 W est supérieure à 2500W implique que on doit raccorder 2 batteries de 51V en parallèle

on a trouvé la capacité des accumulateurs nécessaires à ce système C= 385 AH

donc on a pris des batteries de 51V avec 268AH on va relier 2 batteries en parallèles

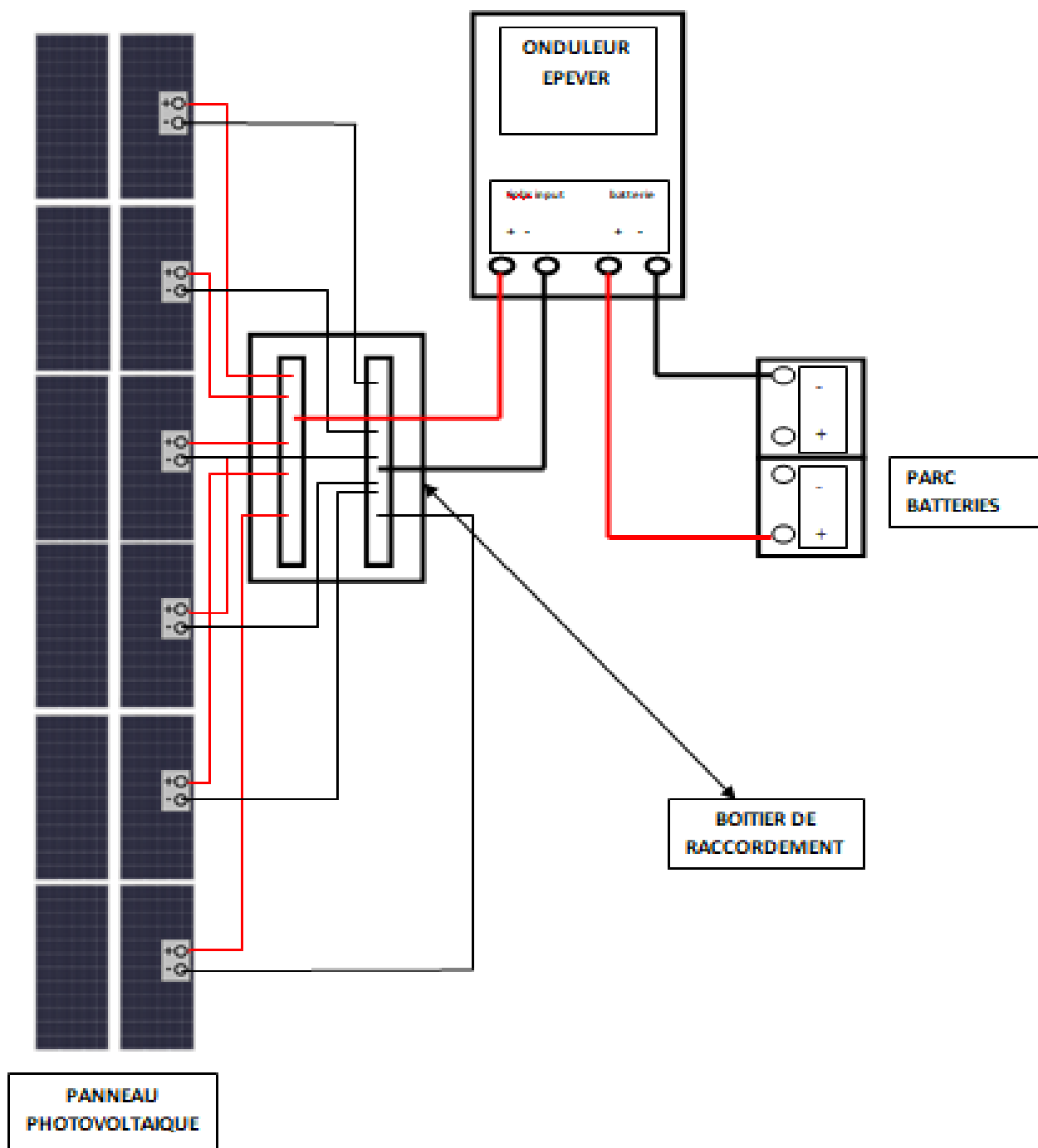


Figure III-7 : schématisation de l'installation photovoltaïque

### **III.6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons essayé de bien détailler toutes les démarches à faire pour une bonne modélisation d'un système photovoltaïque .Nous avons expliqué d'abord comment faire cette installation en illustrant avec un exemple à nous calculer selon un cahier de charge et ce qui nous a permis d'apprendre exactement tous les difficultés par quoi on passe avant d'attaquer notre projet ou avant d'investir surtout sur notre projet et cette modélisation nous a permis de limiter les erreur par la suite sur l'étape de la simulation et cela va certainement beaucoup nous aider à avoir une simulation plus rapide et fiable .

## **Chapitre IV Cas pratique**

## **Introduction**

Dans ce quatrième chapitre on va présenter notre logiciel PVSYST qui le logiciel principale pour une simulation complète de notre installation photovoltaïque tout d'abord on va commencer par une définition complète du logiciel en présentant son mode de fonctionnement et aussi comment il peut nous aider a garantir des résultat fiable et plus exact ainsi on montrant ses capacité et ses outils qu'il utilise pour le calcul de ce système

### **IV.1. Présentation du logiciel PVSYST :**

PV SYST est logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverse information telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie.

Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'information pour une étude très complète.

Le logiciel comprend principalement deux modes de fonctionnement.

Le premier est une application de pré dimensionnement assez simple à prendre en main et accessible au néophyte. Le deuxième permet une étude beaucoup plus approfondie et prend en compte beaucoup plus de paramètre

De plus il se base sur du matériel concret pour ses calculs, contrairement au premier mode qui effectue ses calculs pour un cas très général.

Pour chacun des deux modes, le principe est le même : on donne la localisation géographique et l'installation, puis on entre les données concernant l'installation. Viens ensuite une partie résultats où l'on choisit les données qui nous intéresse.[57]

Diagramme de la simulation de la production :

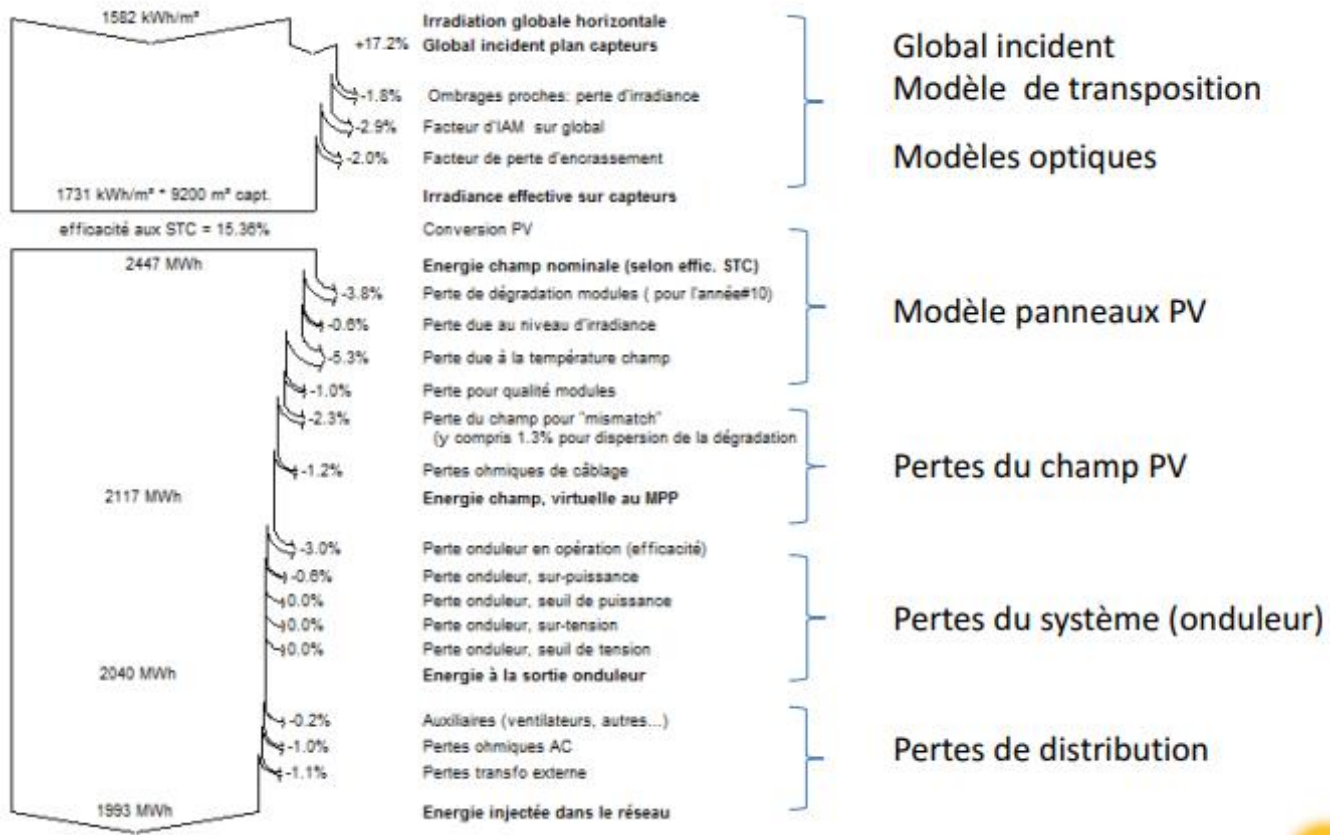


Figure IV-1 : diagramme de production PVSYST[57]

Base de donne météo :

Le logiciel PVSYST intègre des bases de donner météorologique pour connaitre exactement le climat dans la zone voulu la ou on pose notre étude il se base généralement sur deux source de météo principale jusqu'à aujourd'hui il sont fait pour une utilisation interne

Métronome 7.1 : pour n'importe quel point du globe

NASA-SSE: données par 1° x 1°, moins fiables

Et pour l'importation des donner météo externe on utilise :

Plus de 15 sources de diverses provenances – données mesurées

Gratuites ou payantes



Grandes disparités entre les différentes sources (+/- 5 à 8 % annuelles)

Les module photovoltaïque :

## **IV.2. La base de données des modules PV**

La base de données de Pvsyst contient 13'500 modules du marché

- Alimentée par les demandes des fabricants
- Publiée avec chaque version du logiciel
- Les données de base correspondent aux spécifications des modules 3 types de paramètres additionnels affectent les résultats de la simulation
- Rserie: normalement fixée selon l'efficacité relative (default -3% à 200 W/m<sup>2</sup>)
- Rshunt: peu d'impact, corrélée à Rserie
- IAM: fonction d'incidence: valeur par défaut de Pvsyst ou fonction personnalisée

Les fabricants tentent de booster les performances en agissant sur ces paramètres :

Pour toute modification, nous demandons un rapport des mesures complémentaires (norme IEC 61853) effectuées par un laboratoire indépendant.

Certains laboratoires font leur publicité sur les «PAN files» de Pvsyst !

## **IV.3. Le model**

reproduire le comportement électrique du Module PV pour toutes les condition d'irradiance et de température

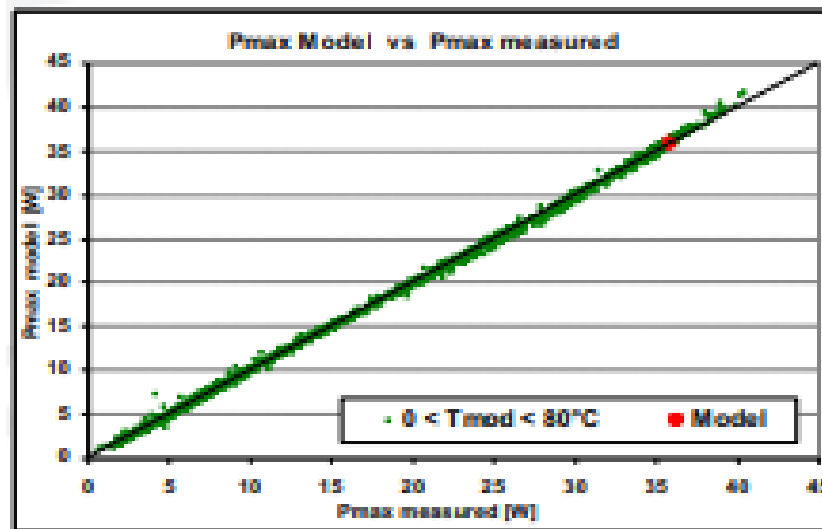


Figure IV-2 : Graph du comportement électrique du module[57]

Modèle utilisé dans PVsyst:

- modèle standard à une diode
- modifié selon projet de mesures au soleil (2004-2010)

Précision: différences modèle-mesures de l'ordre de 1 à 2% pour toutes conditions et toutes technologies

**Problème:** pour établir les paramètres du modèle pour un module PV donné: les spécifications «standard» du fabricant ne suffisent pas: il faut faire des hypothèses sur certains paramètres[58]

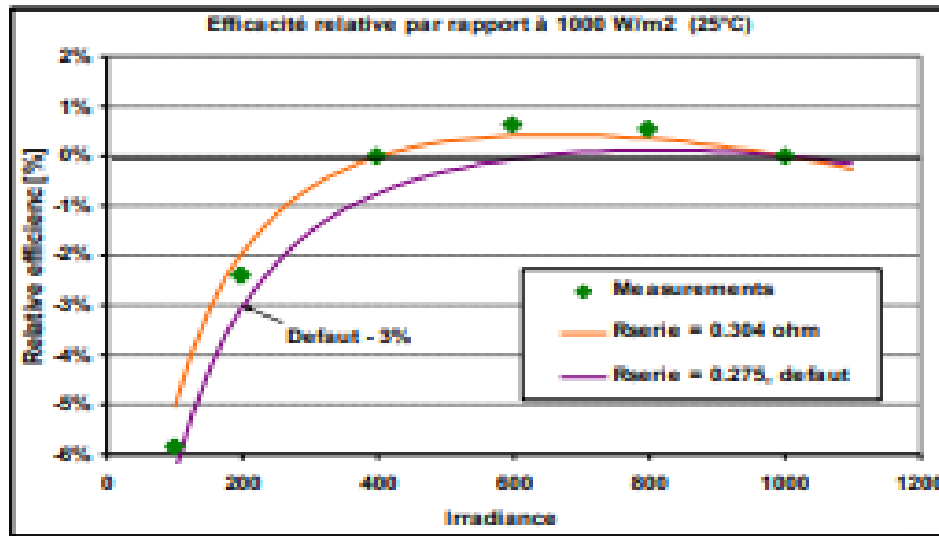


Figure IV-3 : Graph de l'efficacité relative par rapport à l'irradiance[57]

#### Remarque :

Rshunt : valeur défaut selon la technologie

Rserie : déterminé par l'efficacité à basse irradiance

Base de donner autre composant (batterie onduleur ...)

- Onduleurs: 3'800 modèles
- Alimentée par les fabricants
- Impact plus faible sur les performances (efficacité, limitation de puissance, déphasage)  
Mise en place d'un label de certification

Pour les autres types de systèmes:

BD alimentée par PVsyst, car les modèles (paramètres) sont plus complexes à définir

Batteries (au plomb, prochainement au Lithium):environ 300 modèles

Régulateurs pour les systèmes autonomes et le pompage

Convertisseurs Champ PV => Batterie Pompes modèle complexe, nombreux modes de définition

A venir pour systèmes réseau avec stockage:

- Onduleurs pour systèmes isolés (batterie => circuit AC autonome)
- Onduleurs – Redresseurs (réversibles)
- Appareils «tout-en un»
- Appareils et stratégies de régulations spécifiques

### **Outils pédagogique :**

PVsyst offre de nombreux outils pédagogiques et pratiques :

- Géométrie solaire: outil de calculs et tables/graphiques
- Données Météo: outils d'analyse de la qualité des données importées
- Conception de systèmes: assistance de décision et dimensionnement
- Plans suiveurs: de différents types, visualisation, backtracking
- Ombrages: éditeur 3D selon les standards de programmes graphiques
- Ombrages électriques: graphiques de combinaison des courbes I/V
- Systèmes autonomes et pompage: nombreuses courbes de fonctionnement
- Comparaison des données mesurées avec les mesures
- Batch mode pour analyses paramétriques
- Analyse CO2 détaillée selon matériaux, provenances, etc.

### **Installation**

Il suffit de télécharger la version ‘ Démonstration de PVSYST ’, sur le site de l’éditeur. Cette version est largement suffisante pour pouvoir faire une simulation réaliste de son installation. Bien que la documentation soit assez claire, il n’existe pas vraiment de manuel permettant d’utiliser facilement le logiciel. L’aide contextuelle (en anglais) est atteignable par F1 (ou les petits boutons ‘ ? ’) depuis n’importe où dans le logiciel.

## Création du projet dans PVSYST

Lancez le logiciel PV SYST : lancez le logiciel et créez un nouveau projet et choisissez le type de système photovoltaïque et renommez votre projet.

Création de la localisation : cliquez sur 'nouveau site' et choisissez la ville sur le MAPS et trouvez les coordonnées pour le site exact.

Chercher les données : importation des données climatiques et l'irradiation de latitude et de longitude à partir de la base des données « METEONORM ».

Renseigner les informations météorologiques : cliquez sur 'OK' cliquez sur 'Save' dans la fenêtre de confirmation du nom du fichier 'Ville'.

Orientation et inclinaison : cliquez sur 'Orientation' rentrez les paramètres importants qui sont le 'Plane Tilt' ou inclinaison des panneaux et le 'Azimuth' ou orientation par rapport au sud.

Obstacle à l'horizon.

Ombre proche.

Choix (panneaux, onduleur et batteries) : cette partie de logiciel permet de définir les composants les plus importants de votre installation ( les panneaux, les onduleurs et les batteries).

Simulation : cliquez sur 'Simulation', cliquez sur le bouton 'Simulation' et cliquez sur le bouton 'OK' lorsque les calculs sont terminés.

Rapport fourni : en fin de simulation, PVSYST permet d'obtenir un rapport au format PDF relativement complet sur votre installation, sa production attendu par un an, par mois, les pertes dans les systèmes,



Version 7.1.1

# PVsyst-Simulationreport

## Standalone system

Project: PROJET MEMOIRE

Variant:

Nouvelle variante de simulation Standalone system with batteries System power: 414

0Wp

Ouled Mimoun-Algeria

| Author

### Project summary

#### Geographical Site

Latitude 34.90°N  
 Longitude  
 Elevation -1.03°W

#### Project settings

0.20

#### Metadata

Ouled Mimoun

### System summary

#### Standalone system

#### PV Field Orientation

Fixed plane  
 Tilt/Azimuth 34/180°

#### System information

#### PV Array

Nb. of modules 12 units  
 P<sub>nom</sub> total 4140 Wp

#### Standalone system with batteries

#### User's needs

Daily household consumers  
 Constant over the year  
 Average 13.7 kWh/Day

#### Battery pack

Technology Lithium-ion, NCA  
 Nb. of units 2 units  
 Voltage 50V  
 Capacity 536 Ah

### Result summary

Available Energy	4100 kWh/year	Specific production	990 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	61.03%
Used Energy	3099 kWh/year			Solar Fraction SF	61.81%

### Table of contents

Project and result summary					2
General parameters,	PV Array	Characteristics,	System losses		3
Detailed User's needs					4



### General parameters

<b>Standalone system</b>				<b>User's needs</b>
<b>PV Field Orientation</b>			<b>Models used</b>	Daily household consumers Constant over the
n	34/180°		Transposition Perez Diffuse Perez, Meteor norm	
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Jinkosolar		Manufacturer	Tesla
Manufacturer Model	JKM345M-60H		Technology	Powerwall 2 Lithium-ion, NCA
			Nb. of units	2 in parallel
(Original database) Unit Nom. Power	PV system		Discharging SOC	min. Stored energy
Number of PV modules (STC) / Modules		3770 Wp 62 V		50 V
<b>Controller</b>	Univ. MPPT converter		<b>Battery Management control</b>	
Controller Technology			Charging	SOC=0.96/0.80
Temp. coeff.	97.0/95.0%			
<b>Total PV power</b>		4 kWp		
Nominal (STC) Total		12 modules		
Module area				

### Array losses

<b>Thermal Loss factor</b>	Uc (const) 20.0 W/m²K		<b>DC wiring losses</b>	<b>Series Loss</b>	<b>Diode Loss</b> 0.7V																		
<b>Module Quality Loss</b>	-0.8%		<b>Module mismatch loss</b>	<b>Strings Mismatch loss</b>																			
			Loss Fraction	2.0% at MPP																			
<b>IAM loss factor</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>0°</td> <td>30°</td> <td>50°</td> <td>60°</td> <td>70°</td> <td>75°</td> <td>80°</td> <td>85°</td> <td>90°</td> </tr> <tr> <td>1.000</td> <td>0.999</td> <td>0.987</td> <td>0.962</td> <td>0.892</td> <td>0.816</td> <td>0.681</td> <td>0.440</td> <td>0.000</td> </tr> </table>					0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°	1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°															
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000															

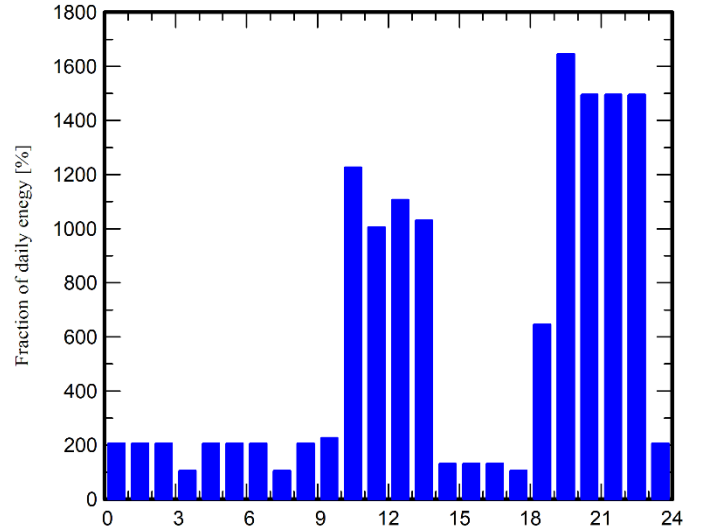
### Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average=13.7kWh/day

#### Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lamps(LED or fluo)	30	13W/lamp	5.0	1950
PC	1	150W/app	2.0	300
TELEPHONE	4	5W/app	2.0	40
Fridge / Deep-freeze	2		12	2400
PLAQUEELEC	1		4	8000
TELEVISION	1	200Wtot	4.0	800
PROJECTEUR	1	50Wtot	2.0	100
Stand-by consumers			24.0	144
<b>Total daily energy</b>				<b>13734Wh/day</b>

#### Hourly distribution



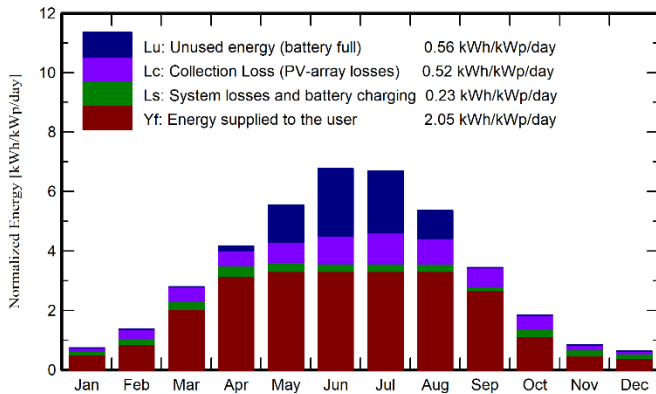
## Main results

### System Production

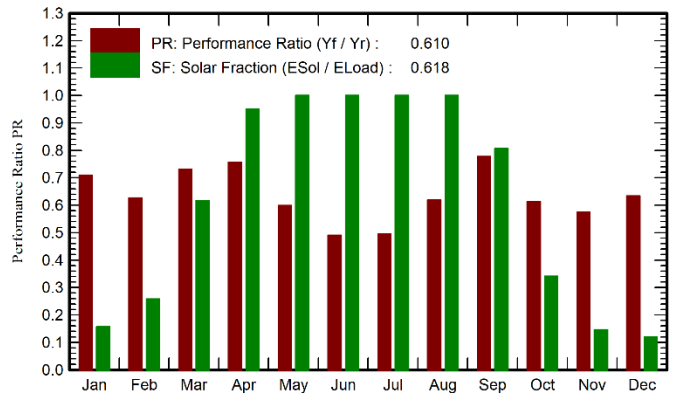
AvailableEnergy 4100kWh/year  
 UsedEnergy 3099kWh/year  
 Excess(unused) 845kWh/year  
**Loss of Load**  
 TimeFraction 41.4%  
 MissingEnergy 1914kWh/year

Specificproduction 990kWh/kWp/year  
 PerformanceRatioPR 61.03%  
 SolarFractionSF 61.81%  
**Battery aging (State of Wear)**  
 CyclesSOW 89.8%  
 StaticSOW 79.3%  
 Batterylifetime 4.8years

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



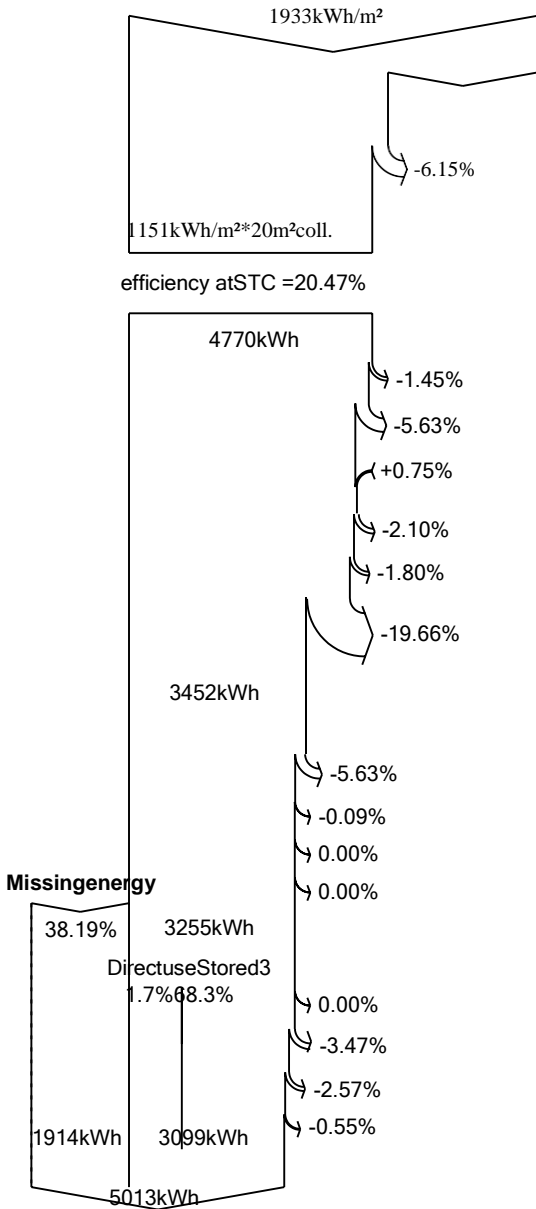
### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	91.7	21.3	66.6	0.0	359.1	66.7	425.8	0.157
February	102.4	31.9	110.1	0.0	285.0	99.5	384.6	0.259
March	155.0	76.1	279.9	0.0	163.2	262.5	425.8	0.617
April	174.2	117.1	435.4	17.7	20.5	391.5	412.0	0.950
May	210.3	165.9	605.9	158.8	0.0	425.8	425.8	1.000
June	232.6	197.6	709.8	280.8	0.0	412.0	412.0	1.000
July	248.5	201.6	709.7	266.9	0.0	425.8	425.8	1.000
August	226.1	158.4	562.6	120.0	0.0	425.8	425.8	1.000
September	169.3	93.1	332.7	0.6	79.6	332.4	412.0	0.807
October	139.1	47.0	162.3	0.0	280.5	145.2	425.8	0.341
November	100.4	22.3	69.2	0.0	351.5	60.5	412.0	0.147
December	83.7	18.7	55.7	0.0	374.8	50.9	425.8	0.120
<b>Year</b>	<b>1933.2</b>	<b>1151.1</b>	<b>4099.9</b>	<b>844.8</b>	<b>1914.3</b>	<b>3098.6</b>	<b>5012.9</b>	<b>0.618</b>

### Legends

GlobHorGI	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user Energy
obEff	Effective Global, corr. for IAM and shading	E_Load	Energy need of the user (Load) Solar fraction
E_AvailE	Available Solar Energy	SolFrac	Ratio (EUsed/ELoad)
UnusedE	Unused energy (battery full)		
_Miss	Missing energy		

## Lossdiagram



### Global horizontal irradiation

-36.56% **Global incident in coll. plane**

IAM factor on global

### Effective irradiation on collectors

PV conversion

### Array nominal energy (at STC eff.)

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

Unused energy (battery full)

### Effective energy at the output of the array

Converter loss during operation (efficiency)

Converter loss due to power threshold

Converter loss over nominal conv. voltage

Converter loss due to voltage threshold

### Converter losses (efficiency, overload)

### Battery Storage

Battery stored energy balance

Battery efficiency loss

Charge/Disch. Current Efficiency Loss

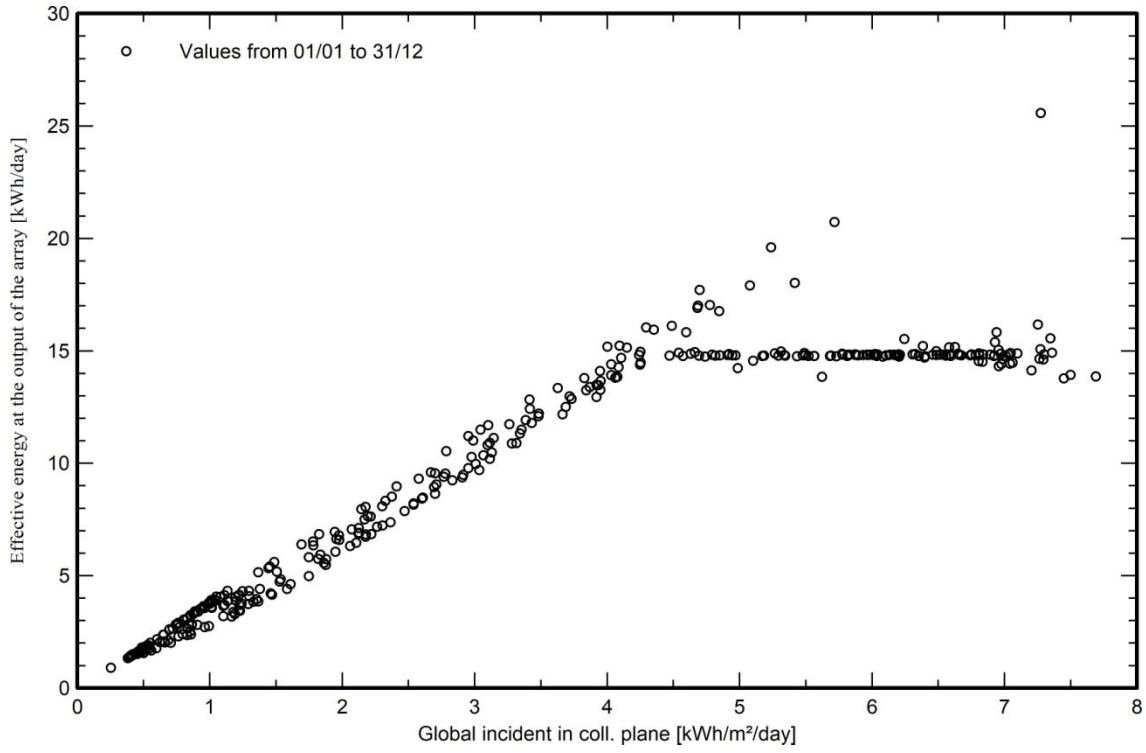
Battery self-discharge current

### Energy supplied to the user

### Energy need of the user (Load)

# Specialgraphs

## Diagrammed'entrée/sortiejournalier





## **Conclusion**

Dans ce dernier chapitre on a présenté notre logiciel de simulation qui nous a permis de modéliser parfaitement notre installation avec tous les petits détails, après par la suite on a fait notre simulation avec ce logiciel en passant par la géographie exacte du lieu ainsi que les données météorologiques ce qui nous a permis de faire un travail complet et de savoir de quoi notre système a besoin en équipements et a également savoir le coût de notre inhalation pour qu'après en lançant le Project réellement sa sera beaucoup plus facile de le gérer .

## **Conclusion générale**



Le secteur économique de l'énergie en Algérie occupe une place prédominante dans l'économie de l'Algérie, les hydrocarbures à eux seuls représentent 60 % des recettes du budget et 98 % des recettes d'exportation. Cependant, l'État algérien commence à envisager des solutions écologiques en investissant dans les énergies renouvelables.

Selon le Programme algérien de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (PENREE) de 2012, l'Algérie visait une puissance installée d'origine renouvelable de 22 000 MW d'ici 2030.

Au terme de notre travail mené sur ces différentes ressources et richesses de notre magnifique pays, nous avons constaté que L'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, avec une durée d'ensoleillement sur la totalité du territoire national pouvant atteindre les 3900 heures par année.

Pour cela on s'est plus particulièrement dirigé vers la conversion photovoltaïque en mettant des panneaux solaires sur des endroit isoler et en utilisant des batterie raccorder au panneaux ou bien au réseau de la ville , plusieurs sociétés on vue le jour en Algérie visant la production national de batteries et aussi de panneaux solaires 100% local ce qui va limiter au maximum le cout de nos installations .

Notre étude est faites sur une petite maison dans une ferme, nous avons essayé de faire une petite installation isolé avec batterie, on a commencé par identifier notre cahier de charge ensuite, faire une étude théorique. Enfin, on s'est dirigé vers une simulation détailler à l'aide d'un logiciel important qui est le PVSYST , ce dernier nous a permis un gain de temps énorme en nous fournissant toutes les données géographiques exactes et météorologiques dont nous avons eu besoin ainsi que le rapport financier, qui nous a permis de limiter le coût de cette installation et de travailler directement sur terrain sans crainte d'avoir des pertes énormes .

En fin de cette étude en espérant voir ce types de projet se réaliser en vrai en invitant les sociétés à donner plus de chance au ingénieurs de montrer leur idées jeûnes et innovantes en faisant beaucoup plus de programme d'apprentissage du PVSYST et qui peut rajouter un plus à notre pays dans la voie du développement pour concrétiser toutes ces idées.

## **Références bibliographiques**

Reference :

- [1] Wernher Swigers and Johan H.R. Enshin "An integrated Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Panels" Press Poly techniques et Universitaires Romandes 1999.
- [2] Betka Achour "Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil" Thèse de Magister, université de Biskra.
- [3] I.H. Atlas, A.M. Sharaf "A Novel Fuzzy Logic Controlleur for Maximum Power Extraction from a PV array Driving A three Phase Induction Motor" IEEE Transactions on Conversion Energy 1994 pp : 853-856.
- [4] Key World Energy Statistics 2012, Agence Internationale de l'Energie
- [5] N.B. La limite entre l'atmosphère terrestre et l'espace a été définie "arbitrairement" à l'altitude de 100 km par la Fédération Aéronautique Internationale (FAI).
- [6] K Gairaa - Renewable Energy Bulletin, ed. Algeria: CDER, 2010 - cder.dz
- [7] ] (en) R.H. Reed, « The inactivation of microbes by sunlight: solar disinfection as a water treatment process », *Advances in Applied Microbiology*, vol. 54, 2004, p. 333-365 (DOI 10.1016/S0065-2164(04)54012-1).
- [8] CNRS, « Le rayonnement solaire » [archive], sur [www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr) (consulté le 4 novembre 2014).
- [9] « Composition du rayonnement » [archive], sur [hubert.roussel.pagesperso-orange.fr](http://hubert.roussel.pagesperso-orange.fr) (consulté le 9 mai 2016)
- [10] Wyard, C., Fettweis, X., Belleflamme, A., Doutreloup, S., & Erpicum, M. (2017) RECONSTRUCTION DE L'ÉVOLUTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE REÇU EN SURFACE EN EUROPE OCCIDENTALE SUR LA PÉRIODE 1900-2014 À L'AIDE DU MODÈLE ATMOSPHÉRIQUE RÉGIONAL MAR [archive]. In Actes du XXXe colloque de l'Association Internationale de Climatologie : Climat, ville et environnement
- [11] <https://www.chaurand.fr/site/download/fus1n1a12n3p.pdf>.

- [12] KONRAD Mertens Fundamentals technology and practice , chichester willy 2014 Page 24
- [13] KONRAD Mertens Fundamentals technology and practice ,chichester willy 2014 page 25
- [14] <http://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=104020&demande=desc>
- [15] R. Perez, R. Stewart, C. Arbogast, R. Seals and J. Scott, ‘An Anisotropic Hourly Diffuse Radiation Model for Surfaces: Description, Performance Validation, Site Dependency Evaluation’, Solar Energy, Vol. 36, N°6, pp. 481 – 497, 1986.
- [16] Trahi Fatiha « Prédiction de l’irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels », Mémoire de Magister, département d’électronique, Université de Tizi-ouzou, 2011
- [17] C, Fröhlich. 1978: World radiometric reference. World Meteorological Organization, Commission for instruments and methods of observation, report WMO 490, p 108-112
- [18] Charles Chauliaguet: L’énergie solaire dans le bâtiment, Editions Eyrolle 1981 P22, 32 et p147-148.
- [19] R. Boudries, R. Dizene, “Potentialities of hydrogen production in Algeria”, international journal of hydrogen energy, Vol. 33, pp.4476 – 4487, 2008.
- [20] MEM, (Ministry of Energy and Mining), 2017. Website: <http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Energie/energie-renouvelable.pdf>
- [21] [https://www.researchgate.net/figure/Moyenne-annuelle-de-lirradiation-globale-recue-sur-une-surface-horizontale-periode\\_fig2\\_288835833](https://www.researchgate.net/figure/Moyenne-annuelle-de-lirradiation-globale-recue-sur-une-surface-horizontale-periode_fig2_288835833)
- [22] CDER, Centre de Développement des Energies Renouvelables. Consulté le 20/08/2017, [http://portail.cder.dz/IMG/jpg/carte\\_solaire\\_irradiation\\_globale\\_surface\\_horizontale\\_algerie.jpg](http://portail.cder.dz/IMG/jpg/carte_solaire_irradiation_globale_surface_horizontale_algerie.jpg)
- [23] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Climat.html>

- [24] Hervé Le Treut, Qu'est-ce qu'un modèle de climat ? , Climates questions, 25 février 2014.
- [25] : C. Miller and P.N. Edwards, 'Changing the Atmosphere Expert Knowledge and Environmental Governance', Cloth / June 2001.
- [26] : C. Iskander Yousif, 'Recent Developments of Applying Solar Photovoltaic Technologies in Malta', Proceedings of the 'Enemalta' 25th Anniversary Conference on Energy Efficiency, Mediterranean Conference Centre, 18th-19th October, Valetta, Malta, 2002.
- [27] : A. Aziz, 'Propriétés Electriques des Composants Electroniques Minéraux et Organiques, Conception et Modélisation d'une Chaîne Photovoltaïque pour une Meilleure Exploitation de l'Energie Solaire', Doctorat en Sciences (Electronique), Université Mohamed Premier, N°86/06, 2006, Oujda, Maroc, Université Paul Sabatier, N°06234, Toulouse, France, 2006.
- [28] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario
- [29] Ontario SustainableEnergy Association : Solar PV Community Action Manual
- [30] [http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol\\_elec.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol_elec.htm)
- [31] [http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol\\_elec.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol_elec.htm)
- [32] [https://www.researchgate.net/figure/Systeme-de-poursuite-solaire-utilise-a-Bechar\\_fig5\\_319741560](https://www.researchgate.net/figure/Systeme-de-poursuite-solaire-utilise-a-Bechar_fig5_319741560)
- [33] <https://www.puntoenergiashop.it/fr/photovoltaique/panneaux-solaire/standard-europ%C3%A9en/>
- [34] [http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol\\_elec.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol_elec.htm)
- [35] [http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol\\_elec.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol_elec.htm)
- [36] MAAARO : Conservation et production d'énergie.
- Ayoub, Josef, et Dignard-Bailey, Lisa. Situation présente et évolution du photovoltaïque Rapport annuel canadien 2007. Ressources naturelles Canada, 2007.

- [36] B. Multon, H. Ben Ahmed “Le stockage stationnaire d’énergie électrique : pourquoi et comment ?”, Revue 3E.I, n°48, pp. 18-29, mars 2007
- [37] plateforme ENGI My power
- [38] <https://www.ecosources.org/panneau-solaire-hybride>
- [39] [PIC10] D. Picault – Reduction of mismatch losses in grid-connected photovoltaic systems using alternative topology - Thèse de doctorat de l’Institut Polytechnique de Grenoble, 2010
- [40] <https://somabe.com.tn/nos-services/installation-photovoltaique-raccorde-au-reseau/>
- [41] <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-cellules-photovoltaiques-coeur-panneaux-solaires-1688/page/5/>
- [42] <https://couleur-science.eu/?d=10d2d2--cest-quoi-un-semi-conducteur>
- [43] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/batterie-panneau-solaire>
- [44] <http://www.ohm-easy.com/692-batterie-gel-12v-100ah-ultracell-gamme-ucg-.html>
- [45] <https://www.calculeo.fr/eco-travaux/panneaux-solaires-photovoltaiques/1-onduleur-solaire>
- [46] : HEPSUL Les onduleurs des systèmes photovoltaïques [www.hepsul.org](http://www.hepsul.org)
- [47] <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/panneaux-solaires-photovoltaiques>
- [48] <https://www.photovoltaique.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-materiel/fonctionnement-et-categories-des-onduleurs-photovoltaiques/rendement-et-performance-des-onduleurs/>
- [49] IEA – SHC Task 16
- [50] ENGIE My Power SAS, , immatriculée au Registre du Commerce et des Sociétés de Nanterre, sous le numéro 849 069 554, dont le siège social est situé 1, place Samuel de Champlain 92400 Courbevoie
- [51] ENGIE My Power SAS Service Clients, TSA 87 494, 76 934 ROUEN CEDEX 0

[52] <https://www.solaris-store.com/content/36-installer-un-panneau-solaire>

[53] [https://www.youtube.com/watch?v=LM4illE\\_uC8](https://www.youtube.com/watch?v=LM4illE_uC8)

[54] [www.milltech.com](http://www.milltech.com)

[55] [www.laguasolar.com](http://www.laguasolar.com)

[56] [www.dimel.com](http://www.dimel.com)

[57] <https://www.pvsyst.com/fr> l'étude de andre mermoud Concepteur de PVsyst, Physicien, questions techniques et scientifiques