

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Université de Blida 1  
Faculté de Technologie



Département des énergies renouvelables.

Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de

Master en habitat et bioclimatique.

**THÈME:**

PROPOSITION D'INTEGRATION DES ENERGIES RENOUVLABLES DANS UNE  
ECOLE PRIMAIRE A LA VILLE DE BLIDA

**Encadré par :**

Mr Abada Mourad.

**Co Encadré par :**

Mr Hamid Abdelkader

**Présenté par :**

ABDALLAH LAID

DJEMLI TAREK

---

## Remerciements

*En premier lieu, je remercie Dieu, notre Créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce Travail.*

*Je tiens à remercier Mr Hamid Abdelkader, Abada mourad et Mr Lafri Djamel pour leurs grand soutien et conseils considérables. Je remercie également tous les enseignants du Département des Energies renouvelables, Que toute personne est participée de près ou de loin à la réalisation de ce travail accepte nos grands et sincères remerciements.*

## Dédicaces

*Que ce travail témoigne de mes respects :*

*A mes parents grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A mes sœurs, A mes très chers amis Islem, Karim et Aicha reçois à travers ce travail tout mon respect, ma gratitude et ma profonde reconnaissance pour le soutien qu'il n'a cessé de me porter.*

*A tous mes enseignants leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.*

*A tous mes amis et mes collègues.*

*Laid Abdallah.*

---

## REMERCIEMENT

*Je tiens à remercier mon encadreur Mr. Hamid Abdelkader, Abada mourad et Mr Lafri Djamel pour avoir daigné diriger ce travail, sans jamais douter de son aboutissement.*

*Je remercie aussi toutes les personnes qui m'ont aidé et qui sont intervenus dans la réalisation de ce mémoire, notamment :*

*Le chef du département et tous les professeurs de l'université d'avoir nous orienter tout au long de notre période de formation.*

*Je tiens également à remercier mes amis et amies qui m'ont encouragé tout au long de l'année.*

*Je suis extrêmement reconnaissant à tous les membres de ma famille qui ont toujours été à mes côtés, principalement mes parents.*

## Dédicace

*Ce travail est dédié :*

*A Ma mère, la prunelle de mes yeux et ma raison d'être qui m'a soutenu tout au long de mon parcours. Mon père, mon exemple idéal dans cette vie qui m'a toujours éclairé mon chemin. Ma seule et unique sœur, celle qui m'a pousser vers l'avant afin d'aller plus loin et réaliser tous mes rêves. Ma tante maternelle, ma deuxième maman qui m'a donné de la force pour atteindre mes objectifs, celle qui m'a toujours aimé du fond de son cœur. Mes amis qui m'ont beaucoup encouragé dans la réalisation de ce mémoire.*

**DJEMLI TAREK**

---

## *Le sommaire*

Introduction générale .....	15
<b>Chapitre I.....</b>	<b>16</b>
<b>L'énergie solaire .....</b>	<b>16</b>
I -1- Introduction .....	1
I -2- Le soleil .....	1
I -2-1 La structure du soleil <sup>2</sup> .....	2
I -2-1-1-le noyau.....	2
I-2-1-2-la zone de radiation .....	2
I-2-1-3-la zone de convection .....	3
I -2-1-4 la photosphère .....	3
I -2-1-5l'atmosphère .....	3
I -2-2 Le rayonnement solaire <sup>3</sup> .....	4
I -2-2-1 Les différents types de rayonnement solaire <sup>4</sup> .....	4
A. Les rayons cosmiques, gamma et rayon x .....	4
B. Les rayons ultraviolets (C, B, A).....	4
C. L'infrarouge (IR) .....	5
D. La lumière visible .....	5
I -3 Généralités sur l'énergie renouvelable.....	6
I -3-1 Définition .....	6
I -3-2 Les caractéristiques des énergies renouvelables .....	6
I -3-2-1 Inépuisables.....	6
I -3-2-2 Propre .....	6
I -4 L'énergie solaire .....	7
I -4-2 Historique de l'énergie solaire <sup>7</sup> .....	7
I-4-3 Les types d'énergie solaire .....	8
I-4-3-1 Énergie solaire passive.....	8
A- quelques principes d'un solaire passive <sup>9</sup> .....	9
A-2- Les fenêtres placées en hauteur et la construisant de grandes baies vitrées .....	10
A-3- Stockage de la chaleur.....	10
A-4- Isolation thermique.....	10
I-4-3-2 Énergie solaire active .....	11

A. Énergie solaire thermique <sup>10</sup> .....	11
A-1- Les chauffe-eau solaires .....	11
A-2- Le chauffage solaire des locaux.....	11
B. Énergie solaire thermodynamique .....	12
C. Énergie solaire photovoltaïque.....	14
I-4-4 d'autres façons d'utiliser l'énergie solaire <sup>14</sup> .....	15
I-4-4-1 la création de l'eau potable via la distillation et ladésinfection.....	15
A- Désinfection solaire .....	15
B- La distillation solaire .....	14
I -4-4-2 les fours solaires.....	14
I -4-4-3 le transport solaire.....	15
I -4-5- l'énergie solaire dans le monde <sup>15</sup> .....	16
I -4-6 l'énergie solaire en Algérie <sup>16</sup> .....	17
I -5- Conclusion.....	19
<b>Chapitre II .....</b>	<b>20</b>
<b>Les panneaux solaires PV et leur intégration dans un projet architectural.....</b>	<b>20</b>
II-1 Introduction.....	21
II-2 Généralités sur les panneaux solairesphotovoltaïques .....	21
II-2-1 Définition de motphotovoltaïque .....	21
II-2-2 Historique de l'énergie photovoltaïque <sup>2</sup> .....	21
II-3 Composants du systèmephotovoltaïque <sup>3</sup> .....	22
II-4 Principes de conversationphotovoltaïque <sup>4</sup> .....	23
II-5 Les différentstypes <sup>5</sup> .....	25
II-5-1 Les cellules monocristallines .....	25
II-5-2 Les cellules poly-cristallines .....	26
II-5-3 Le silicium amorphe.....	26
II-6 Caractéristiques des panneaux photovoltaïques <sup>6</sup> II-6-1 Couleur descellules .....	27
II-6-2 Motifs etformes .....	28

II-6-3	La réflexion optique .....	28
II-6-4	La transparence .....	29
A.	Modules mono- et multi-cristallines.....	29
B.	Modules à couche minces.....	29
II-6-5	La flexibilité .....	30
II-7	Fabrication des panneaux solaire photovoltaïques à cellules cristallines <sup>7</sup> .....	31
II-8	Avantages et inconvénient de système photovoltaïque .....	32
II-9	L'intégration des panneaux solaire dans un projet architecturale.....	33
II-9-1	La démarche d'intégration <sup>8</sup> .....	33
II-9-1-1	La technologie BiPV (building integrated photovoltaics).....	33
II-9-1-2	Le concept d'intégration.....	34
A.	L'intégration fonctionnelle .....	34
B.	L'intégration esthétique.....	35
C.	Respect des règles fondamentales du PV <sup>9</sup> .....	35
❖	Inclinaison des modules.....	35
❖	L'orientation des modules .....	36
❖	Ombrage .....	37
❖	Ventilation.....	37
❖	Limitation du dépôt de saleté.....	38
❖	Le choix du matériau photo actif.....	38
II-9-2	Information supplémentaire sur les modules photovoltaïques <sup>10</sup> .....	39
II-10	L'investissement des panneaux solaire photovoltaïques <sup>11</sup> .....	43
II-10-1	Le coût d'une installation photovoltaïque.....	44
A-	Modules .....	44
B-	Onduleur .....	44
C-	Transport et installation.....	44
D-	Système de fixation.....	44
E-	Câblage.....	44
F-	Conception.....	44
II-10-2	Le prix du module photovoltaïque .....	45
A.	Pour les marchés à l'étranger .....	46
B.	Pour le marché algérien.....	46
II-10-3	Le prix des onduleurs .....	47

II-11	Conclusion.....	48
	<b>Chapitre III.....</b>	<b>49</b>
	<b>L'étude de site et la simulation de pléiade .....</b>	<b>49</b>
III	-1-Etude de site.....	50
III.	1.1. Meteoblue .....	52
➤	Températures et précipitations moyennes .....	52
➤	Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations.....	53
➤	Températures maximales.....	54
➤	Quantité de précipitations.....	55
➤	Vitesse du vent.....	55
➤	Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule.....	56
➤	Humidité.....	56
➤	Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen.....	57
❖	Cas d'étude : classe 1 <sup>er</sup> année .....	58
✓	Compositions de paroi.....	58
✓	Simulation.....	59
✓	Thermostat de chauffage .....	61
✓	Température moyenne avec et sans chauffage (°C) .....	61
	Etape 1 : Calculer l'énergie qui sera consommée par jour.....	63
✓	Définir le besoin .....	63
	<b>Etape 2 : Calcul de l'énergie à produire. ....</b>	<b>63</b>
	Etape 3 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque (ensemble des panneaux) à installer.....	64
❖	Orientation des modules PV .....	64
❖	Schémas simplifiés .....	65
❖	Les résultats de la simulation.....	68
	.....	68
➤	Comparaison.....	74

---

III.2. Conclusion.....	76
Conclusion.....	77
Générale .....	77
Conclusion générale .....	78
Résume .....	11

Fig1- Parties visible et invisible du spectre .....	2
Fig2-la structure du soleil .....	3
Fig3- Le rayonnement du soleil sur la peau.....	5
Fig4-la quantité de rayonnement solaire traversé en pourcentage.....	9
Fig.5.....	10
Fig6- Équipement d'un le chauffage et le chauffe eau solaire.....	11
Fig7- Le mur Trombe .....	12
Fig8- Centrales thermodynamiques.....	14
Fig9- la production de l'électricité par des panneaux photovoltaïque.....	14
Fig10- Désinfection solaire.....	15
Fig11-La distillation solaire.....	14
Fig12-Four solaire d'Odeillo, France .....	14
Fig13- Le transport solaire.....	15
Fig14- parking solaire.....	15
Source: <a href="https://www.google.com">https://www.google.com</a> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Fig15- Composent de système photovoltaïque.....	22
Fig16 - une cellule PVtypique.....	23
Fig17-Dopage de type N    Fig18-Dopage de type P.....	24
Fig19 -Les cellules monocristalline.....	25
Fig20 - Les cellules poly-cristallines.....	26
Fig22- les différents Couleurs des panneaux.....	27
Fig23- Exemples de réflexion.....	29
Fig24- Exemples de La transparence des panneaux.....	30
Fig25- Exemples de La flexibilité des panneaux.....	30
Fig26- étapes de Fabrication d'un panneau photovoltaïque.....	31
Fig27- l'inclinaison des panneaux solaire .....	36
Fig28- Le rendement par rapport à l'orientation de l'installation des modules .....	36
Fig29- Exemples d'ombres .....	37
Fig30- Exemple de façade ventilée.....	38
Fig31 - Exemples Les modules photovoltaïques .....	39
Fig32- Le PV pour les tuiles.....	40
Fig33- Le PV pour les toitures vitrage.....	40
Fig34- Le PV pour les façades (élément) .....	41
Fig35- Le PV pour les façades vitrages.....	41
Fig36- Le PV pour les Panneaux métallique .....	42
Fig37- Le PV pour les brises solaire.....	42
Fig38- Répartition des coûts moyens d'une installation PV .....	43
Fig 39 : notre site d'études.....	50
Fig 40 : températures et précipitations moyennes .....	52
Fig 41 : Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations.....	53
Fig 42 : Températures maximales.....	54
Fig 43 : Quantité de précipitations.....	55
Fig 44 : vitesse de vent .....	55
Fig 45 : Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule .....	56
Fig 46 : humidité.....	57
Fig 47 : Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen.....	57
Fig 48 : classe 1er année.....	58
Fig 49 : Scenario de température.....	59
Fig 50 : Scenario d occupation .....	60
.....	61
Fig 51 : Thermostat de chauffage .....	61
Fig 52 : Température moyenne avec et sans chauffage.....	62
Fig 53 : Positionnement des systèmes de panneaux PV .....	64
Fig 54 : Schéma simplifié d'une installation PV raccordée au réseau.....	66
Fig 55 : le dimensionnement avec PVSYST .....	67
Fig 56 : Conditions de dimensionnement champ/ onduleur dans PVSYST .....	68
Fig59: Paramètres de simulation d'une installation PV.....	68

---

<b>Fig 58:</b> Tableau de Bilan et résultat principaux.....	69
<b>Fig 59 :</b> Diagramme des pertes sur une année.....	70
<b>Fig 60 :</b> Energie utile produite par la centrale PV (à la centrale de l'onduleur).....	70
<b>Fig 61 :</b> Energie incidente de référence sur le plan des panneaux.....	71
<b>Fig 62 :</b> la comparaissent entre l'énergie consommé et l'Energie produit du champ et l'énergie reçu du réseau.....	72
<b>Fig 63 :</b> Distribution annuelle de l'irradiante incidente.....	72
<b>Fig 64 :</b> Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV.....	73
<b>Fig 65 :</b> Diagramme journalier d'Entrée/Sortie du système PV.....	74

---

## Résumé :

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une évaluation et proposition d'amélioration du confort thermique dans un école primaire à Blida.

Le bilan thermique réalisé grâce à la simulation avec le logiciel pléiade Nous permet d'identifier les besoins en chauffage (période hivernale) et a étudié le comportement thermique,

Afin d'améliorer les conditions du confort thermique nous avons commencé par proposer des solutions active

Des simulations effectuées pour définir le système idéal pour notre projet

Afin de défini le choix et le dimensionnement d'une solution active effectuée par l'introduction des panneaux photovoltaïques. Nous avons réalisé des simulations avec PVSYST afin de capturer le maximum d'énergie solaire, celui-ci nous permet de simule l'orientation des panneaux photovoltaïques et l'énergie produit et l'énergie injecte aux réseaux, les déperditions du système

Ces simulations on permette de choisir l'installation idéal pour notre projet parme plusieurs installation proposer

## Abstract

Our topic is a proposition of integration of renewable energies in primary school in Blida ; among the multiples types of renewable energies we choose the one provided from the sun ; In order to engage in such work we ought to be well informed about the structure of the sun and its characteristics we also talked about types of this energy and how and why we use it.

As we go through we talked about solar panels and how and from what are made their main job is absorb the sun radiations and transform it to electric power our talk include the proper way to use them in a architectural project , we also mentioned the financial side .

In order to proceed with this project we talked about our site which is a primary school named ELAMIR ABDELKADER located in 5 Km north-west Mouzaia we talked about the weather conditions and the information about the school building , we did a simulation in pleaide to cover the pupils needs of heat and we tried in it with and without heater ; the test showed that the wright choice is with the heater because it keeps the temperature of the pupils in the perfect shape.

After that we calculated how much power we need to cover the daily need of electric energy ,after that we did a simulation with pvsyst to see how much we need solar panels, how we related and orient them , inverter and regulator ; we proposed three methods the first one to cover power needs ; the second one air conditioner and the third one is the electric heater ; we found that when we use the fsecond method is less cheaper and way better to use.

---

*Introduction*  
*Générale*

---

## **Introduction générale**

L'efficacité énergétique est devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures; Ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent.

L'intégration des énergies renouvelables dans le bâtiment est la meilleure alternative afin de diminuer la dépense énergétique et les émissions des gaz à effet de serre.

L'étude du confort thermique constitue l'une des bases principales dans la conception des bâtiments Avec le temps la consommation énergétique augmente ; dont des combustibles fossiles tel que le pétrole ; le gaz nature ; charbon...etc. constituent la grande partie d'énergie consommée, d'où l'utilisation massif de ces derniers mènent à l'épuisement de ces réserves et menacent réellement l'environnement à travers la pollution et le réchauffement globale de la terre.

Afin d'éviter ces problèmes il vaut mieux permuter l'énergie fossiles par l'utilisation d'énergies renouvelables.

## **Problématique**

L'énergie représente une portion économique, social, géographique à l'échelle planétaire.

Le secteur du bâtiment, est directement concerné par la nécessité de limiter la consommation énergétique Par l'utilisation d'énergies renouvelable.

Aujourd'hui il existe plusieurs modes de transformation de l'énergie solaire, et le système solaire photovoltaïque en est un , même les chauffe-eau représente un bon dispositif.

L'intégration du système solaire dans le cadre bâtie s'est jusqu'ici largement limitée aux questions énergétiques. Les aspects esthétiques, structurels et fonctionnels du projet architectural occupaient alors une place de second rang pour l'architecte.

Pour cela, notre problématique consiste à savoir: est ce qu'on peut intégrer un système solaire dans un projet en tenant compte de l'aspect esthétique et fonctionnel du bâtiment en l'occurrence l'école primaire AMIR ABDELKADER MOUZAYA WLLYA DE BLIDA

A travers cette étude en essayera de répondre à un ensemble de questions :

- 1/ Quelles sont les solutions architecturales qui nous permettent d'intégrer le système solaire ?
- 2/Quelle est l'impacte d'un système solaire sur le coût d'exploitation d'un projet existant ?

## **Hypothèses**

Grâce au développement technologique et scientifique, et surtout dans le domaine énergétique, les chercheurs nous ont trouvés des solutions d'intégration des panneaux solaire PV dans les projets architecturaux, afin d'améliorer l'efficacité énergétique et de diminuer le cout d'exploitation de l'énergie électrique dans un équipement par la transformation de ce dernier d'un consommateur à un producteur d'énergie électrique, à travers l'intégration d'un système solaire dans le projet.

---

## **Objectif**

L'Algérie compte beaucoup sur ses réserves pétrolières, le problème c'est qu'en d'années ses réserves seront épuisées.

Pour éviter un désastre économique, cette étude vise à présenter une nouvelle source d'énergies renouvelables notamment l'énergie solaire dans le but de :

- ✓ Donner l'importance particulière au système solaire photovoltaïque par rapport aux autres types d'énergies renouvelables.
- ✓ Développer le secteur d'énergie solaire notamment dans la production d'électricité.
- ✓ Assurer un avenir énergétique durable et garder un environnement sain.

## **La démarche méthodologique**

Afin de cerner notre problématique, nous avons suivi deux phases dont la première porte sur une étude théorique par effectuation d'une recherche bibliographique (des documents livresques, thèses,...etc.), et autre tel que (les sites web) relatifs au sujet, cette collecte d'informations permettra de donner des définitions, explications et clarifications concernant l'énergie solaire et le système solaire photovoltaïque, dans la deuxième concerne le cas d'études.

## Structure du mémoire

Introduction générale



Problématique



Hypothèses



Objectif



Démarche méthodologique



Structure du mémoire



**Chapitre I :**  
L'énergie solaire

**Chapitre II :** Les panneaux  
solaire photovoltaïque et leur  
intégration architectural

**Chapitre III :** analyse  
du cas d'étude

**Chapitre VI:** approche  
analytique



**Conclusion générale**



---

# **Chapitre I**

## **L'énergie solaire**

---

## **I-1- Introduction**

Chaque jour le soleil nous baigne de son énergie, sa chaleur influe sur l'atmosphère, créant le vent ; sa lumière permet aux être vivant de se développer, c'est de l'énergie.

Les deux tiers de la surface de la terre sont recouvert d'eau en mouvement perpétuelle, c'est également de l'énergie. La surface de la terre elle même bouge chaque jour c'est aussi de l'énergie....

Tous simplement l'énergie c'est le mouvement, il est tout autour de nous, mais quelque soit la forme qu'elle revête, cette énergie vient essentiellement d'une même source, une gigantesque boule de gaz incandescent située à dix milliard de kilomètre qui est le soleil.

Depuis la nuit des temps, l'homme cherche sans cesse à trouver des sources d'énergie plus performantes moins couteuses et surtout renouvelables.

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux (le colza, le tournesol...) sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par l'homme, notamment l'énergie solaire et sa façon de capturer de transformer et redistribuer.

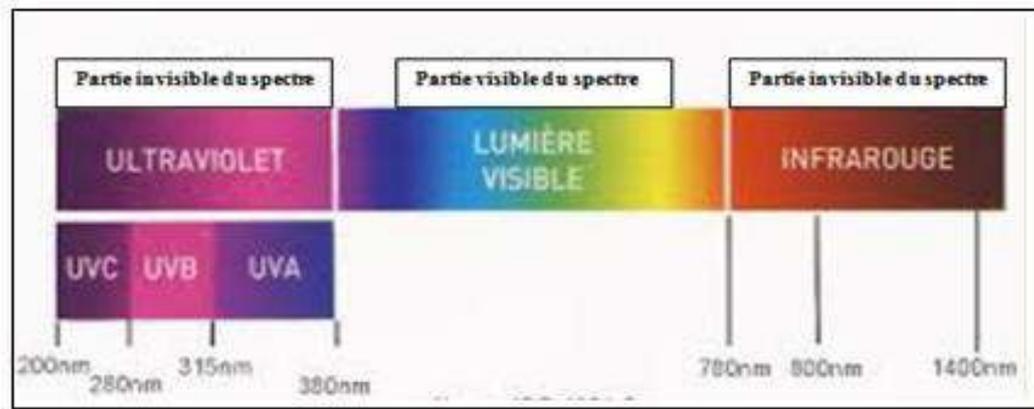
C'est donc dans cette optique que ce chapitre est rédigé, il contient des définitions et des éclaircissements sur l'énergie renouvelable d'une façon générale et sur l'énergie solaire d'une façon détaillée.

## **I-2- Le soleil**

Le mot soleil provient du latin populaire *soliculus*, dérivé du latin classique *sol*, *solis* désignant l'astre et la divinité.

Le soleil est l'étoile centrale parmi 200 milliards d'étoiles que compte notre galaxie. il est âgé d'environ 5 milliards d'années, son diamètre vaut 110 fois le diamètre terrestre (1,4 million de Km) sa masse vaut 300000 fois celle de la terre.

La température moyenne de la surface soleil est d'environ 5800 degré. les régions internes du soleil sont opaque par contre les couches extérieures sont accessible aux observations dans un large spectre. (Fig1)<sup>1</sup>



**Fig1-** Parties visible et invisible du spectre

## **I -2-1 La structure du soleil<sup>2</sup>**

### **I -2-1-1-le noyau**

C'est le centre du soleil ou l'énergie solaire sera créée grâce à des réactions nucléaires, il présente 1/4 du diamètre de soleil.

Cette zone se caractérise par :

- ✓ Une épaisseur de  $25 \times 100000$  km
- ✓ Une température de  $15 \times 10000000$  C

### **I-2-1-2-la zone de radiation**

Cette zone vient ensuite autour du noyau, où la chaleur se propage par une diffusion radiative, son épaisseur est de 244160 Km et sa température se varie de  $10 \times 10000000$  à  $50 \times 100000$  C.

### I-2-1-3-la zone de convection

Dans cette zone l'énergie solaire se propage par convection, son épaisseur est de 199758Km et sa température est  $50 \times 10^6$ °C.

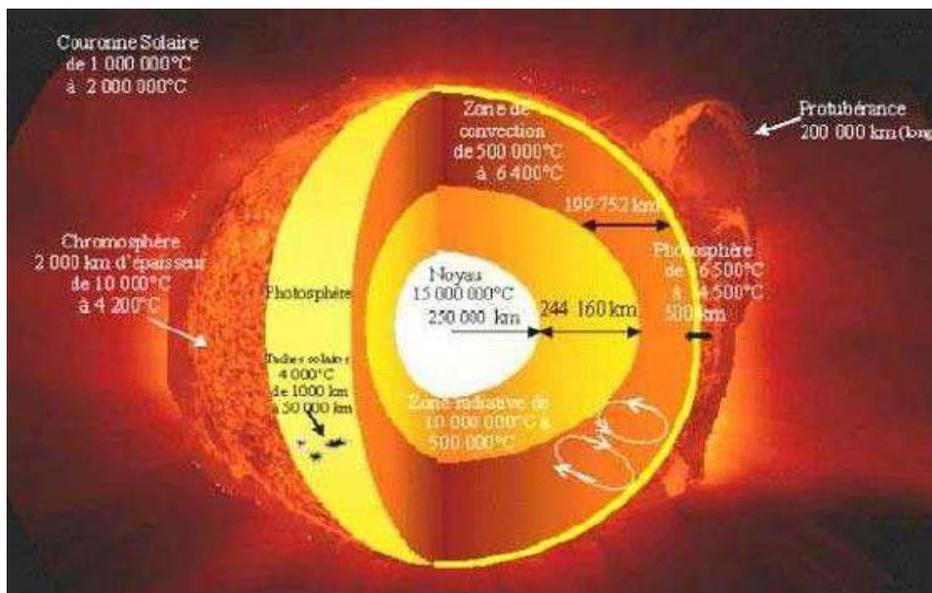
### I-2-1-4 la photosphère

C'est une surface visible du soleil, elle révèle des taches sombres qui sont des régions plus froides que le milieu, son épaisseur est de 500Km et sa température est de 6400à4500C.

### I-2-1-5l'atmosphère

C'est une zone constituée par la chromosphère et la couronne, sa température est plus basse 4000C, elle est épaisse d'environ 200Km.

La couronne s'étend sur une distance de plusieurs rayons, comme on peut la voir à l'occasion d'un éclipse totale de soleil.



**Fig2-la structure du soleil**

---

## **I-2-2 Le rayonnement solaire<sup>3</sup>**

Les réactions de fusion nucléaire qui ont lieu au cœur du soleil libèrent une énergie colossale qui nous parvient huit minutes plus tard sous forme de rayonnement solaire.

Ils sont constitués de particules élémentaires appelées photons. Ces rayons se propagent dans l'espace à une vitesse d'environ  $300 \times 10^6$  km/s, ils traversent l'atmosphère terrestre puis arrivent jusqu'à la surface de la terre.

Les rayons solaires se différencient les uns des autres, ils sont classés en fonction de leur longueur d'onde. Les ondes courtes comprennent les rayons gamma, x et ultraviolet C ; et les ondes longues comprennent l'infrarouge.

### **I-2-2-1 Les différents types de rayonnement solaire<sup>4</sup>**

Les différents rayons solaires jouent un rôle important sur la terre pour donner toutes les conditions permettant la vie humaine, animale et végétale.

#### **A. Les rayons cosmiques, gamma et rayon x**

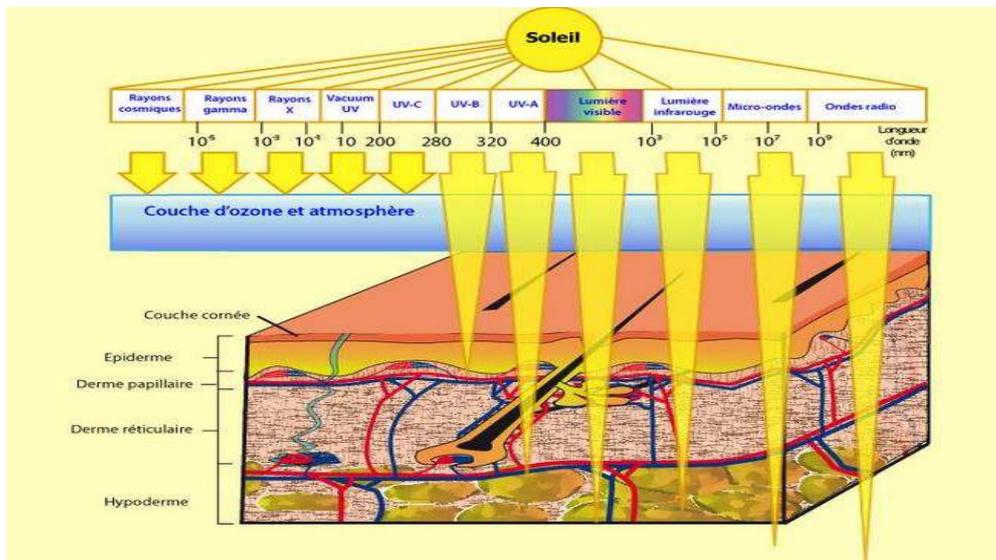
Les rayons cosmiques ont une influence sur le climat car ils forment des nuages qui sont à l'origine de la pluie.

Les rayons gamma et x sont de même nature, mais ont des origines différentes, les rayons x sont produits par des transitions électroniques, alors que les rayons gamma sont produits lors de la désintégration radioactive des noyaux ; des atomes ou d'autres processus nucléaires ainsi leur longueur d'onde est très courte et extrêmement dangereuse ; mais heureusement ils sont stoppés par la couche supérieure de l'atmosphère.

#### **B. Les rayons ultraviolets (C, B, A)**

Les rayons ultraviolet sont des rayons électromagnétiques leur longueur d'onde se situe entre celle de la lumière visible et celle des rayons x, le rayon ultraviolet est invisible, seulement 4% de ces rayons arrivent à la surface de la terre.

Les rayons UV sont responsables des coups de soleil et de bronzage, ces trois(03) types A, B et C sont classé en fonction de leur propriété biologique et de leur pouvoir de pénétration dans la peau. (Figure3)



**Fig3-** Le rayonnement du soleil sur la peau

Ils aident toute fois à synthétisé la vitamine D, une grande partie de ces rayons sont arrêté par la couche d'ozone.

### **C. L'infrarouge (IR)**

Est un rayon électromagnétique son longueur d'onde comprise entre 0.7 et 300 micromètres, 44% de ce rayonnement arrive a la surface de la terre

Il transporte la chaleur qui permet d'avoir une température moyenne de 17C à la surface de la terre .Si la nuit la température baisse c'est que la face de la terre n'est pas exposée aux infrarouge.

### **D. La lumière visible**

Ce type est visible pour l'œil environ 50% de ces rayonnement arrivent à la surface de la terre et donnent à notre environnement de la lumière et des couleurs (violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge).

---

## **I-3 Généralités sur l'énergie renouvelable**

### **I-3-1 Définition**

D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités.

L'eau des rivières faisant tourner les turbines d'un barrage hydroélectrique, le vent brassant les pales d'une éolienne, la lumière solaire excitant les photopiles mais aussi l'eau chaude des profondeurs de la terre alimentant des réseaux de chauffage, sans oublier ces végétaux comme la canne à sucre ou le colza grâce auxquels on peut produire des carburants pour les automobiles, tout cela constitue l'énergie renouvelable.

Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour accéder à l'électricité, ces atouts alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées.

### **I-3-2 Les caractéristiques des énergies renouvelables**

#### **I-3-2-1 Inépuisables**

Par contre à la source d'énergie fossile qui est épuisable et chaque année diminue, la source d'énergie renouvelable se renouvelant assez rapidement c'est-à-dire sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation.

Elle provient de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil.

#### **I-3-2-2 Propre**

Les énergies primaires les plus utilisées sont d'origines fossiles ; tel que le pétrole, le gaz, le nucléaire..., émettent une grande quantité de gaz à effet de serre responsable du changement climatique.

Même si l'industrie nucléaire est peu émettrice en CO<sub>2</sub>, la gestion des déchets radioactifs est très dangereuse, cela engendre des émissions de CO<sub>2</sub> importantes, c'est pour ça que l'énergie renouvelable s'inscrit dans l'idée du développement durable et de préservation de l'environnement parce qu'elle n'engendre pas ou peu de déchets ou d'émission polluante, elle participe à la lutte contre l'effet de serre et réduit notamment le rejet de gaz carbonique dans l'atmosphère.

---

## **I -4 L'énergie solaire**

### **I-4-1 Définition de l'énergie solaire** <sup>6</sup>

C'est l'une des sources des énergies renouvelables, elle vient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du soleil.

Elle se diffuse dans le système solaire et dans l'univers sous la forme d'un rayonnement électromagnétique de photons.

Cette dernière peut être transformée en d'autres formes d'énergies utiles pour l'activité humaine, notamment en chaleur ou en électricité.

### **I-4-2 Historique de l'énergie solaire** <sup>7</sup>

Depuis 400 milliard d'années, le soleil brille et la vie sur terre baigne dans son énergie, donc l'exploitation de l'énergie solaire remonte à l'antiquité, les civilisations anciennes croyaient que le soleil est un véritable dieu.

Au deuxième siècle avant J-C en effet le célèbre mathématicien Archimède ; pour aider les soldats grecs à se défendre contre les romains. Il leur aurait demandé de positionner leurs boucliers de bronze selon un angle soigneusement calculé afin de réfléchir les rayons du soleil en direction des voiles des bateaux ennemis. De cette façon les soldats grecs réussirent à empêcher les navires romains d'atteindre la cote. Là même méthode aurait servi à allumer la flamme olympique.

- En 1874 George Harding inventait un appareil pour distiller l'eau en Espagne.
- En 1888 Weston développa une méthode de transformer l'énergie solaire en énergie mécanique.
- Au 19<sup>ème</sup> siècle, ce siècle a connu plusieurs réalisations dans le domaine de l'énergie solaire dont :
- En 1902, un moteur à concentration solaire a fonctionné en Californie pour le pompage de l'eau.
- Vers 1910, la "Sun Power Company" construisit près du Caire un capteur capable d'alimenter un moteur de 100 chevaux.
- En 1954 L. Damilio inventait un moteur solaire pour l'irrigation en Lybie.
- En 1960 le nombre des maisons utilisant l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau au Japon est arrivé à un quart de million.

---

Le plus puissant four solaire du monde à ce jour fut terminé en 1970 à Odeillo, France. Depuis la crise du pétrole, l'énergie solaire est à nouveau valorisée.

Il est noté que plusieurs savants comme Harding, Ericsson... ont utilisé l'énergie solaire pour la fusion des matières, la cuisson et la distillation de l'eau ; aussi que la première station d'irrigation en Egypte fonctionne en énergie solaire pendant cinq heures par jour.

Le 20<sup>ème</sup> siècle est bien marqué par le grand projet d'approvisionner l'Europe en énergie produit par des centrales solaires au Sahara.

### **I-4-3 Les types d'énergie solaire**

Les technologies solaire sont largement classées comme étant soit solaire passive soit solaire active selon la façon dont elles capturent ; transforment et distribuent de l'énergie solaire.

#### **I-4-3-1 Énergie solaire passive**

L'énergie solaire passive est l'utilisation la plus ancienne de l'énergie solaire. Elle consiste simplement à profiter des rayons du soleil. Par exemple, lors de la construction d'un bâtiment, les architectes vont faire en sorte que la conception architecturale optimise l'exposition solaire.

L'isolation thermique joue un rôle important pour optimiser la proportion de l'apport solaire passif dans le chauffage et l'éclairage d'un bâtiment.<sup>8</sup>

Dans une maison solaire passive, l'apport solaire passif permet de faire des économies d'énergie importantes.

## A- quelques principes d'un solaire passive <sup>9</sup>

### A-1- l'orientation des bâtisses vers le sud

Les pièces orientées au sud bénéficient d'une lumière plus facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été. En effet, en hiver, le soleil bas ( $\pm 17^\circ$ ) pénètre profondément dans la maison tandis qu'en été, la hauteur solaire est plus élevée ( $\pm 60^\circ$ ) et la pénétration du soleil est donc moins profonde. Le sud est l'orientation qui permet le meilleur contrôle passif de l'ensoleillement. Les apports solaires sur une surface verticale (fenêtre) sont également nettement inférieurs au sud car ils sont diminués par un facteur égal au cosinus de l'angle d'incidence.

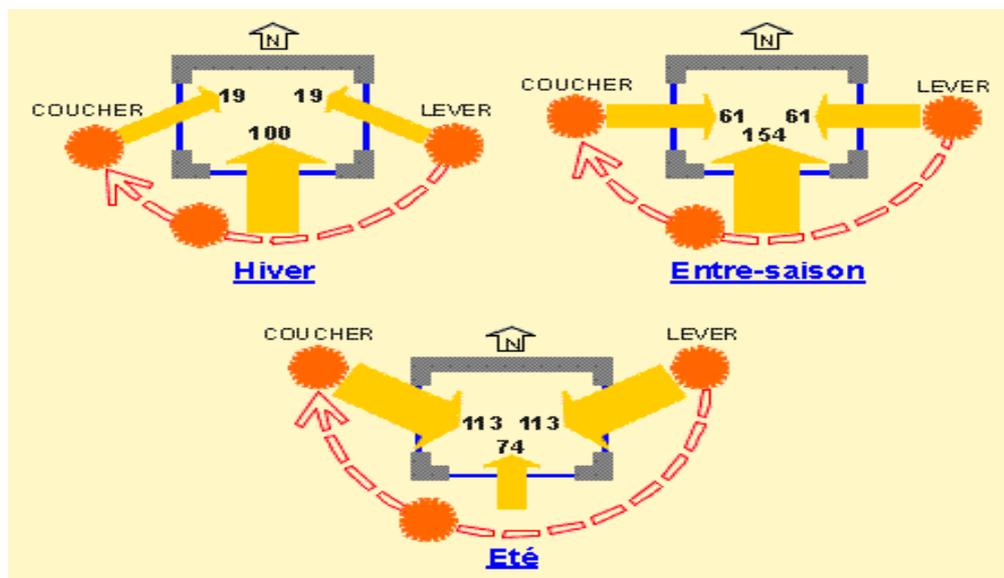


Fig4-la quantité de rayonnement solaire traversé en pourcentage.

---

D'après cette figure les apports solaires sont maximum sur la face sud en hiver et en entre-saison.

Mais que par contre, ils sont maximum sur la face est en début de journée et sur la face ouest à partir de 16h00.

Les ouvertures verticales orientées au sud offrent donc la meilleure capacité de régulation passive puisque celles-ci sont optimales dans le captage en hiver et durant l'entre-saison et que durant l'été elles captent moins de rayonnements solaires que celles orientées vers l'est ou l'ouest.

### **A-2- Les fenêtres placées en hauteur et la construction de grandes baies vitrées**



**Fig.5**

### **A-3- Stockage de la chaleur**

Les sols, murs et plafonds sont construits en brique, en béton ou en terre, pour pouvoir accumuler la chaleur solaire qui pénètre dans la maison.

### **A-4- Isolation thermique**

L'isolation thermique joue un rôle important pour optimiser la proportion de l'apport solaire passif dans le chauffage et l'éclairage d'un bâtiment

L'enveloppe du bâtiment y compris la cave, le toit et les fenêtres, doit être bien isolée, ce qui permet de réduire au minimum les pertes de chaleur pendant l'hiver.

### I-4-3-2 Énergie solaire active

Elle désigne l'ensemble des moyens qui permettent de capter et de transformer le rayonnement solaire en chaleur ou en électricité.

Donc on doit savoir qu'il existe trois voies d'exploitation de l'énergie solaire :

#### A. Énergie solaire thermique<sup>10</sup>

L'énergie solaire thermique consiste à exploiter la chaleur du rayonnement solaire, elle s'utilise principalement à travers deux applications : le chauffage de l'eau et le chauffage des locaux.

##### A-1- Les chauffe-eau solaires

Ils sont utilisés pour l'eau de consommation domestique, un circuit primaire constitué de capteurs solaires réchauffe l'eau, et un circuit secondaire délivre l'eau ainsi chauffée vers un réservoir. Les capteurs sont généralement constitués d'un boîtier plat et rectangulaire, isolé et fermé par une vitre, exposé au soleil sur le toit d'une maison comme il est indiqué dans la figure ci-dessous. (Voire figure6)

##### A-2- Le chauffage solaire des locaux

Elle se fait par deux méthodes qui sont :

###### ✓ Par le réservoir d'eau chaude :

Dans lequel la chaleur peut être distribuée par des radiateurs ou par le sol (solution plus fréquente). Dans ce dispositif, le fluide échange sa chaleur avec la dalle qui elle-même va transmettre la chaleur reçue par le fluide à l'air de la maison. (figure6)

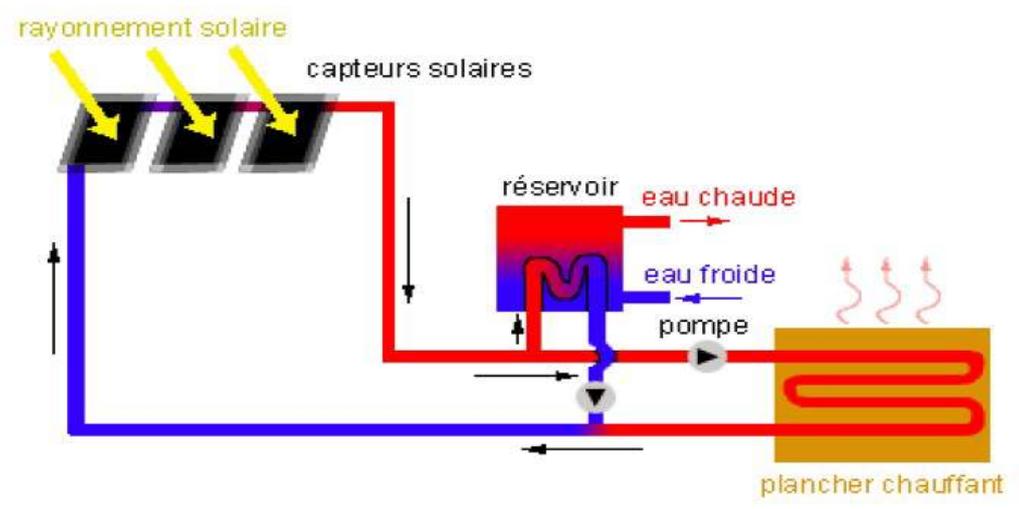
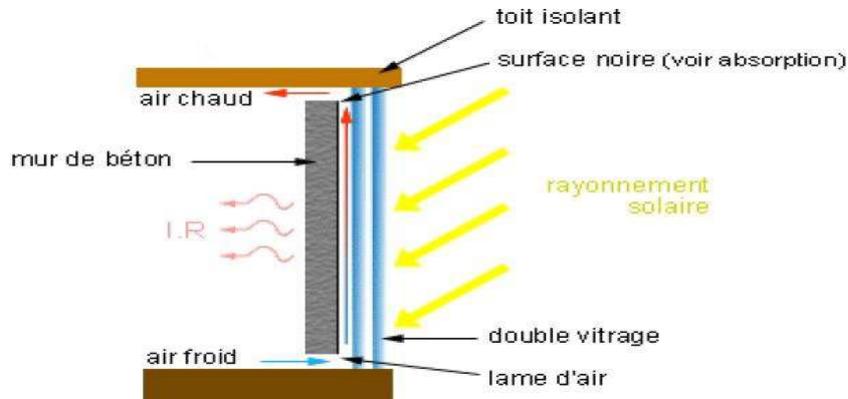


Fig6- Équipement d'un le chauffage et le chauffe eau solaire

✓ **Par le mur Trombe :**

Le mur Trombe est un système directement incorporé au mur d'une maison. Une des parties d'un murextérieure est remplacépardudouble vitrage derrièrelequelestsituéunmurdebéton, il est défini dans la (figure7).

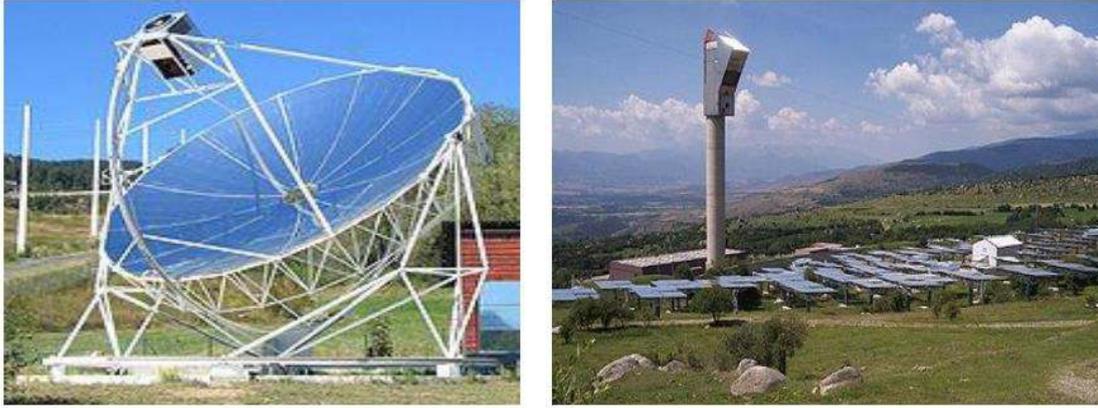


**Fig7-** Le mur Trombe

Le mur capte la chaleur dont une partie est utilisée pour chauffer l'air, situé entre le mur de béton et le double vitrage. L'air chaud étant moins dense que l'air froid, il monte. C'est cette circulation qui assure le chauffage de la maison<sup>11</sup>

**B. Énergie solaire thermodynamique**

La solaire thermodynamique est une technique permet à transformer le rayonnement ou la chaleur solaire directement en mouvement mécanique qui servira directement ou sera transformé en électricité. Dans ce cas, il est très difficile de présenter un principe de fonctionnement parce que Cette technique est très particulière ou chaque moteur solaire a des caractéristiques singulières<sup>12</sup>



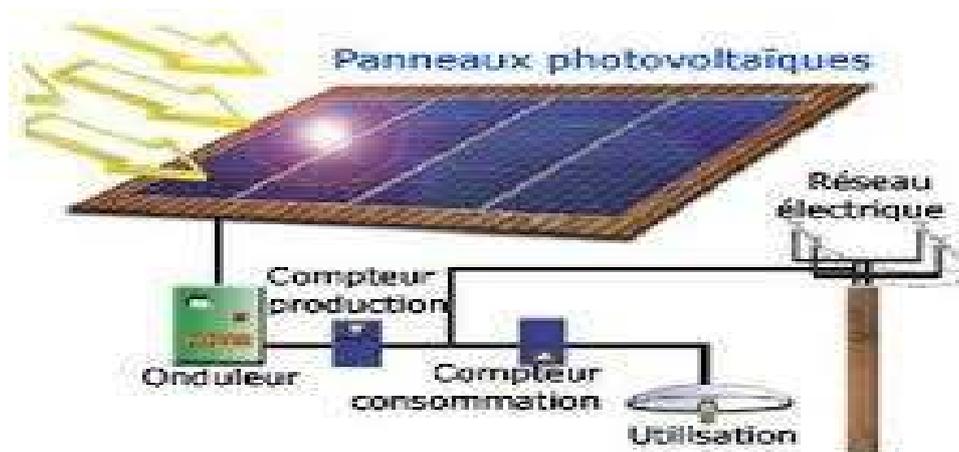
**Fig8-** Centrales thermodynamiques

### C. Énergie solaire photovoltaïque

C'est la technique où le rayonnement solaire peut être converti en électricité par des capteurs ou cellules photovoltaïques (PV). Ces capteurs sont généralement constitués de composants électroniques au silicium.

Plusieurs cellules sont reliées entre elles formant un module solaire photovoltaïque, et plusieurs modules sont regroupés pour former un générateur solaire chez un particulier ou dans une centrale solaire photovoltaïque qui alimente un réseau de distribution électrique.

(Figure 8 et 9) cette section sera plus détaillée en chapitre II.<sup>13</sup>



**Fig9-** la production de l'électricité par des panneaux photovoltaïque.

---

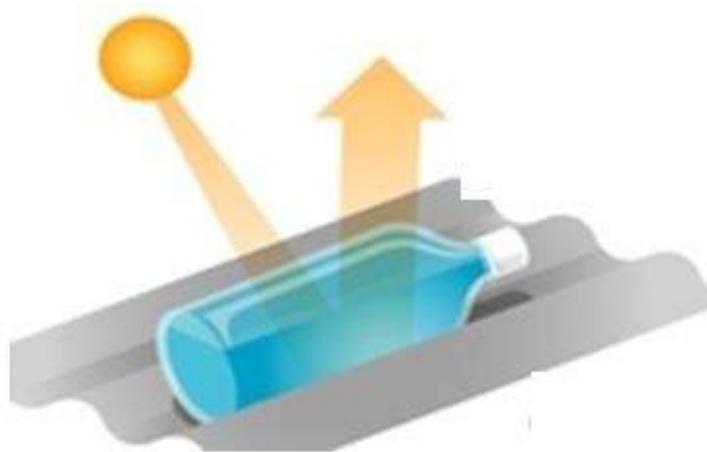
#### **I-4-4 d'autres façons d'utiliser l'énergie solaire<sup>14</sup>**

L'utilisation de l'énergie solaire n'a pas de limite comme celle du génie humain, elle peut être profitable de plusieurs façons :

##### **I-4-4-1 la création de l'eau potable via la distillation et la désinfection**

###### **A- Désinfection solaire**

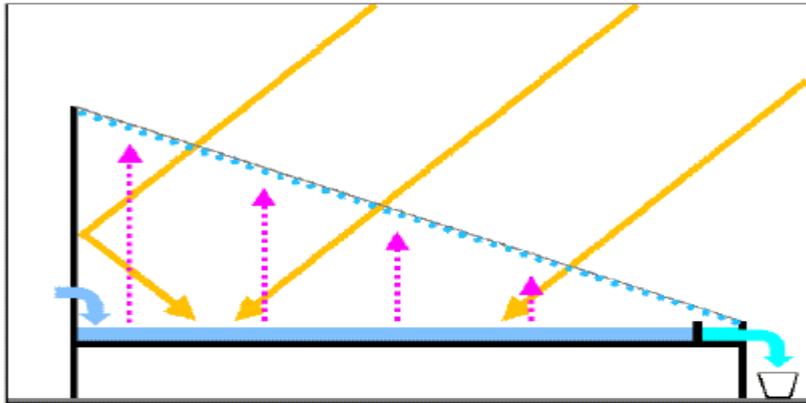
Consiste à remplir des bouteilles en plastique transparent avec l'eau de source. Les bouteilles sont ensuite placées sur une surface réfléchissant le soleil, pour une durée variant selon les conditions. Les rayons du soleil tuent les micro-organismes de l'eau par irradiation des rayons ultraviolets (UV)-A et en élevant la température de l'eau à 50°C. Comme il est expliqué dans la figure 10.



**Fig10- Désinfection solaire**

## **B- La distillation solaire**

Le soleil chauffe la mer ceci permet à l'eau de s'évaporer et au sel de rester en surface. La distillation par énergies solaire se fait naturellement. Cette méthode, même si elle est plus longue que la distillation en entreprises, est beaucoup plus écologique que cette dernière. (figure 11)



**Fig11-La distillation solaire**

## **I -4-4-2 les fours solaires**

Les cuiseurs solaire ou les fours solaires (utilisation domestique) peuvent chauffer facilement jusqu'à 150°C et les fours industriels peuvent atteindre jusqu'à 3000°C en quelques secondes permettant de réchauffer les aliments ou de stériliser les équipements médicaux il est bien indiqué dans les figures ci-dessous (figures 12)



**Fig12-Four solaire d'Odeillo, France**

### I -4-4-3 le transport solaire

Ilestrarementutiliséepourfournilaforcemotrice,ilexistebienquelqueprototypedevoitures ou de bateaux qui e déplacent à l'énergie solaire, mais il n'existe pas encore de production en série.



**Fig13-** Le transport solaire



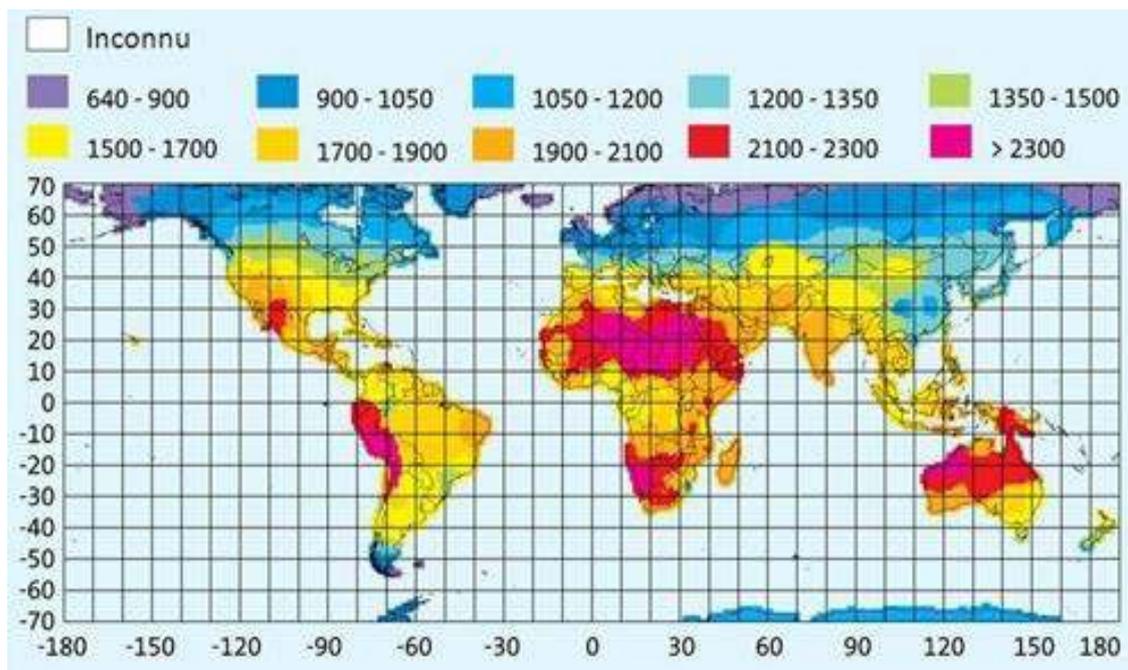
**Fig14-**  
solaire

parking

### I-4-5- l'énergie solaire dans le monde<sup>15</sup>

Le soleil dans les régions d'Afrique du nord, sud-ouest américain, au désert d'Australie et moyen orient caractérisées par un potentiel solaire élevé, par contre le meilleur taux d'irradiation solaire en Europe est entre 1200 et 1350.

Nous pouvons montrer la répartition de gisement solaire mondiale en KWh/m<sup>2</sup>.an dans lacarte ci-dessous.



**Carte1-** Le gisement solaire dans le monde en KWh/m<sup>2</sup>.an

Le transfert de l'énergie solaire est un grand défi économique, industriel et environnemental, qui affronte aujourd'hui les pays du monde.

L'Amérique, le Japon, l'Allemagne, l'Espagne et l'Italie se sont des pays qui donnent une importance à la production des énergies renouvelables notamment l'énergie solaire.

Le Japon et l'Allemagne sont à la tête de liste des pays qui tiennent la technologie photovoltaïque, d'une part le Japon a la moitié de la somme des panneaux solaires photovoltaïque qui se trouve dans le monde, et d'autre part l'allemande par la réalisation d'un grand projet à travers des différentes entreprises Allemagne dans le but d'exporter le courant électrique vers l'Europe à travers des câbles marins.

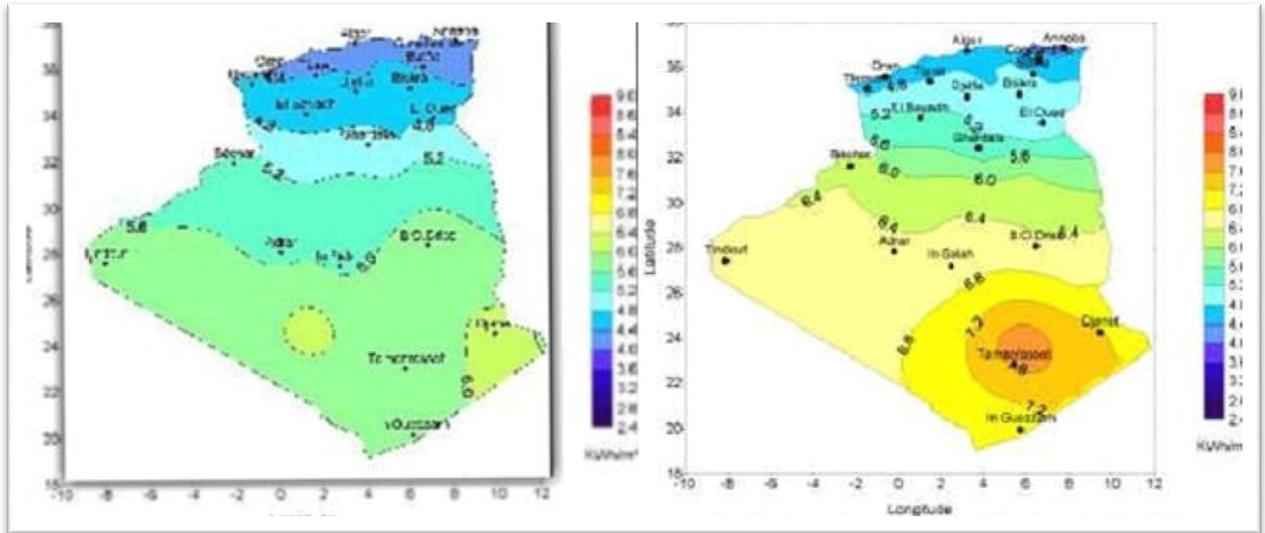
Suite à une évaluation par satellites, l'agence spatiale allemande a conclu que les pays du Maghreb ont un potentiel solaire élevé notamment l'Algérie qui représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen d'où la première station d'énergie solaire en Afrique, a été réalisée en Algérie exactement à Hassi-Rmel.

#### **I-4-6 l'énergie solaire en Algérie**<sup>16</sup>

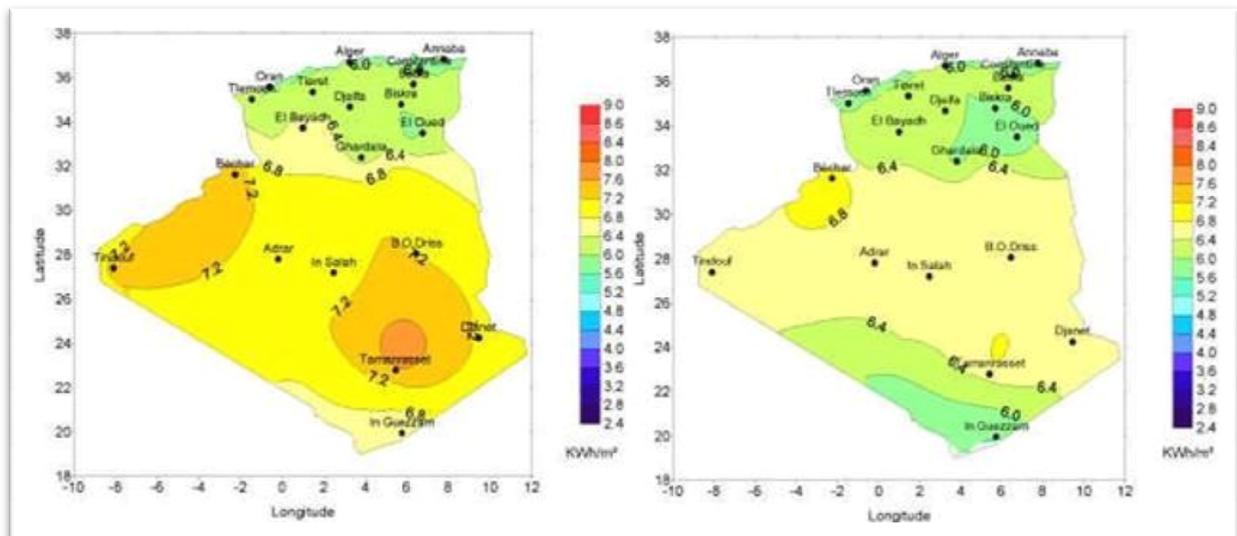
Le potentiel algérien des énergies renouvelables est fortement dominé par le soleil, il est équivalent à un volume de 37000 milliard de m<sup>3</sup> soit plus de 8 fois la réserve de gaz naturel du pays, d'où le tableau ci-dessous mentionne la répartition du potentiel solaire national et les deux cartes 2 et 3 qui se suivent montrent l'irradiation journalière sur le plan horizontal aux mois de juillet et décembre.

<b>Region</b>	<b>Cote</b>	<b>Haut plateau</b>	<b>Sahara</b>
<b>Superficies%</b>	4	10	86
<b>Durée moyenne d'ensoleillement (H/an)</b>	2650	3000	3500
<b>Energie moyenne reçue KWH/m<sup>2</sup>/an</b>	1700	1900	2650

**Tableau 1** : le potentiel solaire algérien en chiffre et selon la localisation



**Carte2-** Irradiation journalière sur le plan horizontal en automne et en hiver.



**Carte3-** Irradiation journalière sur le plan horizontal en printemps et en été.

L'Algérie a lancée un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et efficacité énergétique ; dans le quel, elle se positionne comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir du solaire photovoltaïque et solaire thermique, qui constitue un moteur de développement économique durable mais aussi impulse un nouveau model de croissance.

L'Algérie avait mit une stratégie vise à développer une véritable industrie du solaire, associer à un programme de formation et de capitalisation.

Legouvernementconsidèrecetteénergiecommeuneopportunitétunlevierdedéveloppement économique et social notamment à travers l'implantation d'industrie créatrice de richesse et d'emplois.

---

En effet, l'importance du potentiel solaire Algérien pousse des entreprises étrangères d'investir dans le solaire, à travers la réalisation des différents projets en collaboration avec des entreprises Algériennes notamment dans le photovoltaïque, dans ce contexte Déserte. Ce projet, lancé lors de la visite d'Abdelaziz Bouteflika à Berlin en 2009, vise à produire de l'électricité grâce au soleil dans le Sud algérien pour être exportée vers l'Europe. Ce projet ne connaît pas d'avancement notable depuis le mémorandum d'entente du 9 décembre 2011.

### **I-5- Conclusion**

Depuis la révolution industrielle au XIX siècle, l'utilisation de l'énergie fossile a pris de l'ampleur, cette exploitation a connu une augmentation avec le temps ce qui a mené à l'épuisement de ces réserves, et menace l'environnement par la pollution et le réchauffement climatique.

Afin de protéger l'environnement et d'économiser l'utilisation massive des énergies fossiles, les scientifiques ont cherché d'autres solutions, propres et inépuisables, dites énergies renouvelables entre autres l'énergie solaire.

A l'exception, de l'énergie nucléaire, la géothermique et la marémotrice (énergie marine), l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur terre. Elle est à l'origine du cycle de l'eau et du vent, le règne végétal dont dépend le règne animal l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse.

Si nous arrivons à réunir la technologie, l'argent et la volonté politique afin d'exploiter toutes ces énergies qui nous entourent, nous aurons fait un pas de géant vers la résolution de l'un des plus grands défis que devra relever l'humanité.

---

# **Chapitre II**

## **Les panneaux solaires PV et leur intégration dans un projet architectural**

---

## **II-1 Introduction**

L'énergie solaire est devenue l'une des plus importantes techniques utilisées dans le monde, pour l'électrification, pour le chauffage d'eau sanitaire et/ou chauffage de locaux.

Grâce au développement scientifique, l'architecture a eu de la chance d'avoir une part dans l'exploitation de l'énergie solaire par l'intégration des panneaux solaire photovoltaïque et thermiques dans différentes projets.

Les architectes et les techniciens ont une grande importance dans ce domaine car grâce à leur effort on peut intégrer ces technologies dans les équipements tout en respectant leur aspect fonctionnel et surtout esthétique, et tout en baissant les coûts d'une consommation énergétique.

A travers ce chapitre on essayera de définir les panneaux solaires photovoltaïques, leurs différents types, composants, principes de fonctionnement et surtout leurs principes d'intégration et d'investissement.

## **II-2 Généralités sur les panneaux solaires photovoltaïques**

### **II-2-1 Définition de mot photovoltaïque**

En effet le mot " photovoltaïque " vient de la grecque " photo " qui signifie lumière et de " voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la « lumière électricité »<sup>1</sup>

### **II-2-2 Historique de l'énergie photovoltaïque<sup>2</sup>**

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque

- 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.
- 1875: Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.
- 1954 : Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque.
- 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware (États-Unis)
- 1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie...

L'utilisation de la photovoltaïque augmente au cours du temps, en 20<sup>ème</sup> siècle un entreprise allemande afin de produire de l'électricité grâce aux panneaux photovoltaïques.

### II-3 Composants du système photovoltaïque<sup>3</sup>

Les panneaux solaires photovoltaïques génèrent de l'électricité quand ils reçoivent la lumière du soleil, grâce aux composants semi-conducteurs à base de silicium des nombreuses cellules photovoltaïques assemblées en modules. L'électricité produite est en courant continu. C'est l'onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif à 50 Hz et 220 V identique à l'électricité du réseau. L'électricité produite est ensuite consommée par les appareils électriques.

La puissance d'une installation solaire photovoltaïque se mesure en Watts crête (WC) ou kilowatts crête (KWC). On appelle « puissance crête » la puissance émise par un panneau ou par un système photovoltaïque, mesurée dans les meilleures conditions d'ensoleillement, c'est-à-dire à midi, en plein soleil. Si l'installation est raccordée au réseau ED, l'électricité peut être réinjectée dans le réseau. Sinon, elle peut être stockée dans des batteries. (voir figure 15)

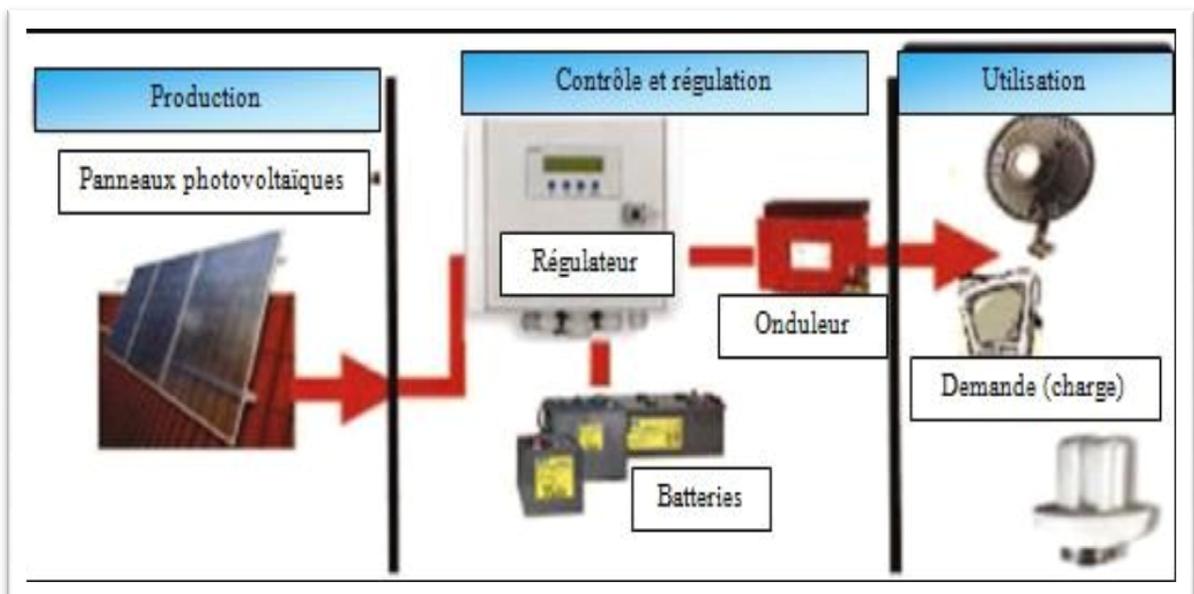


Fig15- Composent de système photovoltaïque

- les panneaux photovoltaïques : produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur : optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.
- L'onduleur : transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.
- Les batteries : sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.
- Des récepteurs DC : spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.

## II-4 Principes de conversation photovoltaïque<sup>4</sup>

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule. (Voir figure 16)

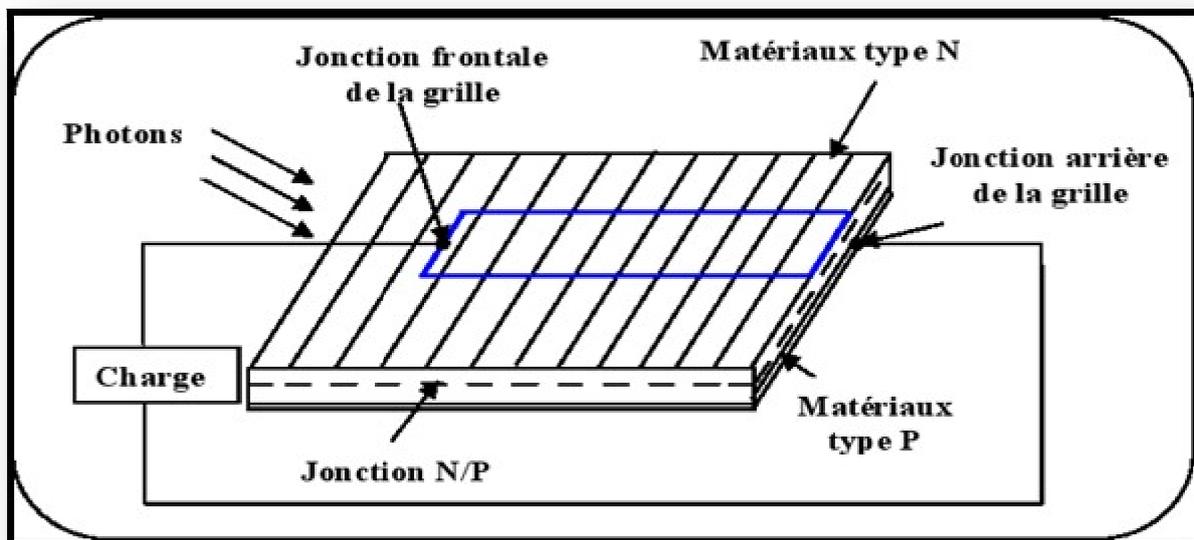


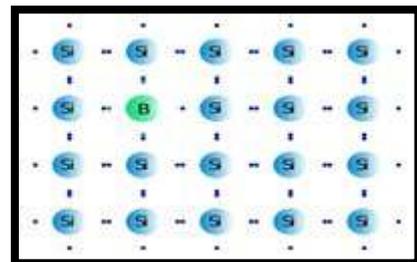
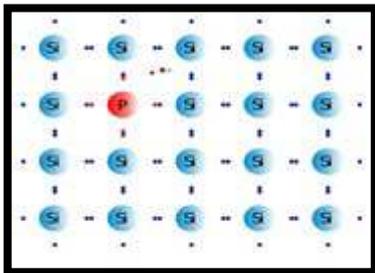
Fig16 - une cellule PVtypique.

---

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous (charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positive et négative de la cellule. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert VOC. Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit ISC et dépend fortement du niveau d'éclairement.

Les schémas suivants présentent des exemples de dopage du silicium respectivement par du phosphore (dopage N) et du bore (dopage P). Dans le cas du phosphore (à gauche), un électron supplémentaire est amené. Dans le cas du bore (à droite), il manque un électron ; c'est donc un trou d'électron qui est amené comme il est montré dans les figures 17 et 18.



**Fig17-**Dopage de type N

**Fig18-**Dopage de type P

---

## II-5 Les différentstypes<sup>5</sup>

La structure des panneaux solaires photovoltaïques est la même : une couche de cellules de silicium est placée entre une plaque de verre trempé et un film polymère. Le silicium est un semi-conducteur : c'est grâce à lui que les électrons libérés par l'impact de la lumière (photon lumineux) sont captés pour produire du courant électrique. Une chance, le silicium est l'élément le plus abondant sur Terre, après l'oxygène.

Selon la nature de leurs cellules de silicium, on distingue trois types de panneaux solaires Photovoltaïques.

### II-5-1 Les cellules monocristallines

On appelle cellule monocristalline une cellule issue d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Ce genre de cellule est rond, parfois presque carré, et possède une couleur uniforme. Les panneaux à cellules monocristallines offrent un rendement de 14 à 18%. Leur méthode de production restant complexe et coûteuse (il faut beaucoup d'énergie pour obtenir du cristal de silicium pur), donc ces panneaux sont chers. (Voir figure 19)



**Fig19** -Les cellules monocristalline

### II-5-2 Les cellules poly-cristallines

Les cellules poly-cristallines sont issues d'un bloc de silicium cristallisé en cristaux multiples. Elles ont souvent un aspect rectangulaire. Les panneaux solaires à cellules poly-cristallines ont un rendement plus faible que ceux à cellules monocristallines (de 11 à 15%). Leur coût de production étant moins élevé, elles offrent le meilleur rapport qualité/prix. (voir figure 20).



**Fig20** - Les cellules poly-cristallines

### II-5-3 Le silicium amorphe

Les cellules photovoltaïques amorphes sont produites à partir d'un « gaz de silicium », qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Cette technique permet d'utiliser des couches très minces de silicium.

Les cellules photovoltaïques amorphes sont moins coûteuses à produire que les précédentes, mais leur rendement n'est que de 7 à 9%. (Voir figure 21).



**Fig21** – cellule amorphe

## II-6 Caractéristiques des panneaux

### photovoltaïques<sup>6</sup> II-6-1 Couleur des cellules

En général la couleur bleue des cellules mono et multi cristallines provient du revêtement anti-réfléchissant communément utilisé, mais le choix des couleurs possibles est plus vaste. Sur le marché sont déjà disponibles des cellules de couleur grise, jaune, rouge, verte, argent et rose, comme le montre la figure 22.

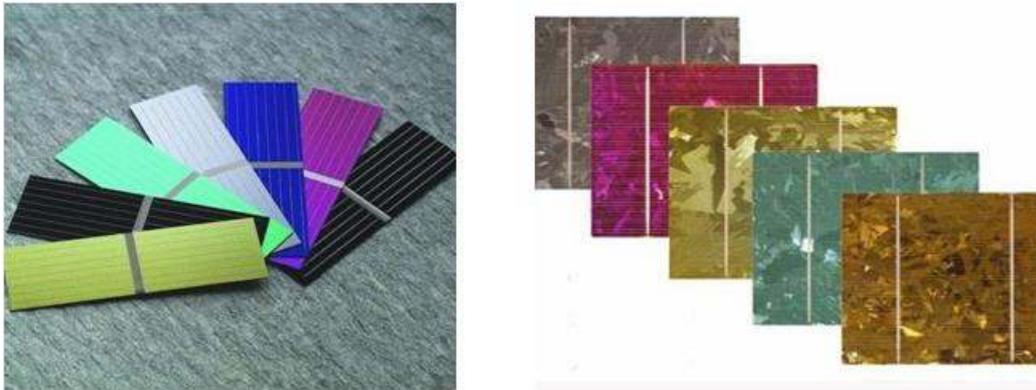


Fig22- les différents Couleurs des panneaux

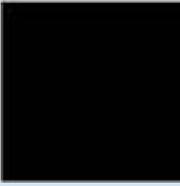
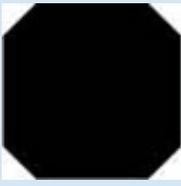
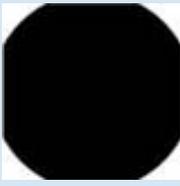
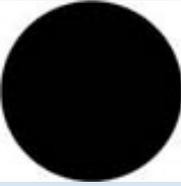
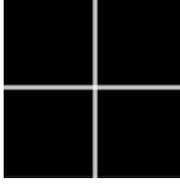
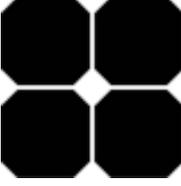
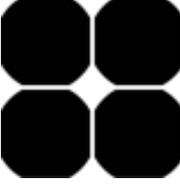
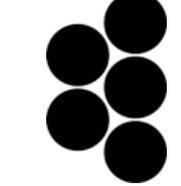
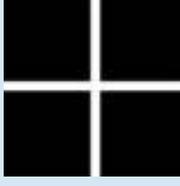
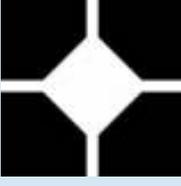
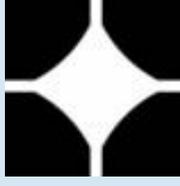
Bien que les cellules colorées produisent moins (le bleu "standard" correspond à une optimisation de l'absorption du rayonnement solaire), l'esthétique peut être un facteur plus important que la puissance, si la surface disponible est suffisamment grande pour couvrir les besoins.

Couleur	Cellules multi-cristallines	Cellules monocristallines
Bleu	100%	100%
Gris	73-80%	84%
Rouge	77-80%	n.d.
Brun	81-90%	87%
Jaune	83-93%	81%
Vert	86-98%	n.d.
Magenta	n.d.	78%

Tableau 2 : Exemple de performance des cellules colorées disponibles sur le marché, par rapport aux cellules bleues

## II-6-2 Motifs et formes

Les cellules peuvent avoir différentes formes et tailles. Les cellules standard mesurent généralement 12.5x12.5cm. Les dimensions des modules en revanche ne sont pas standardisées. Il existe en outre plusieurs variantes de grilles pour les contacts électriques qui permettent de donner un aspect différent aux modules. (Voir tableau 3).

	Carrée	Angles tronqués	Angles arrondis	Ronde
forme des cellules				
motif produit par l'assemblage des cellules				
zoom sur l'espace entre les cellules				

**Tableau3** : Formes des cellules et motif produit par leur assemblage

## II-6-3 La réflexion optique

La réflexion optique de la forme varie en fonction du matériau de protection antérieure de la cellule (verre, plastique), ou de l'éventuel traitement du verre. Pour le producteur il est très important de minimiser la réflexion optique afin de capter au maximum le rayonnement solaire.

Les modules réfléchissent la lumière différemment les uns des autres. Certains d'entre eux ne réfléchissent pas l'image, tandis que d'autres réfléchissent la forme, même si, pas de manière clairement visible, d'autres encore réfléchissent l'image comme un miroir. (voir figure 23).



**Fig23-** Exemples de réflexion

#### **II-6-4 Latransparence**

##### **A. Modules mono- et multi-cristallines**

Le degré de transparence des modules est généré en modifiant la distance entre les cellules. Il existe également des cellules performantes qui permettent d'augmenter la transparence. La semi-transparente de modules de silicium cristallin peut être obtenu, aussi bien par la disposition des cellules à l'intérieur du module, qu'à l'échelle de la cellule solaire elle-même. Il est en effet possible de réaliser des perforations au laser point par point pour enlever la matière et donner un effet de semi-transparente.

##### **B. Modules à couche minces**

La transparence des modules est déterminée par l'absence de la couche réfléchissante qui se trouve sous les cellules, ou grâce à un processus de gravure au laser qui permet de créer l'effet de semi-transparente. On obtient de cette manière un revêtement de transparence homogène absolument identique à celle que l'on peut obtenir avec un verre coloré. (voir figure 24).



**Fig24-** Exemples de La transparence des panneaux

### II-6-5 La flexibilité

Il existe différents types de modules qui peuvent être intégrés dans les parties incurvées ou flexibles du bâtiment.(voir figure 25).



**Fig25-** Exemples de La flexibilité des panneaux

## **II-7 Fabrication des panneaux solaire photovoltaïques à cellules cristallines<sup>7</sup>**

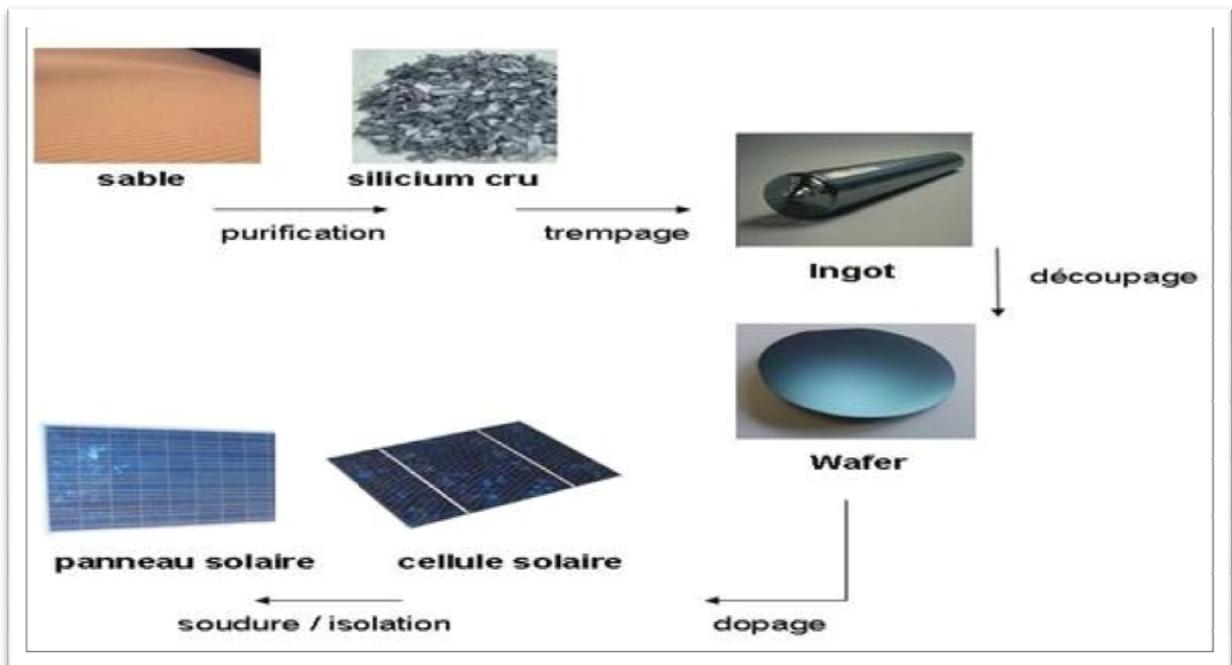
Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Il doit être purifié afin d'obtenir un silicium de qualité photovoltaïque. Il se présente alors sous forme de barres de section ronde ou carrée appelées lingots.

Les lingots sont ensuite découpés en wafers : fines plaques de quelques centaines de microns d'épaisseur, ils sont ensuite enrichis en éléments dopants pour obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou N.

Des rubans de métal sont alors incrustés en surface et raccordés à des contacts pour constituer des cellules photovoltaïques.

Les cellules les plus utilisées pour la production d'électricité sont les cellules silicium polycristallin grâce à leur bon rapport qualité-prix.

Les constructeurs garantissent une durée de vie de 20 à 25 ans à 80 % de la puissance nominale.



**Fig26-** étapes de Fabrication d'un panneau photovoltaïque

## II-8 Avantages et inconvénient de système photovoltaïque

A partir du tableau ci-dessous en a bien montré les avantages et les inconvénients de système photovoltaïque

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>-L'énergie photovoltaïque peut être installée partout, même en ville</li><li>- Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût</li><li>- La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voire de générer des revenus</li><li>- Le contrat d'achat est conclu pour une durée de 20 ans</li><li>- Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes</li><li>-L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de son propriétaire</li><li>- Le coût de fonctionnement des panneaux photovoltaïques est très faible car leur entretien est très réduit, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé</li><li>- Le rendement réel de conversion d'un module est faible</li><li>- Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente</li><li>- Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore existante</li><li>- Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans)</li></ul>

**Tableau4** : avantages et inconvénients d'un photovoltaïque

---

## **II-9 L'intégration des panneaux solaire dans un projet architecturale**

Les capteurs solaires deviennent un élément de composition architectural sur un immeuble, et à ce titre Le positionnement des capteurs et leur intégration (sur une toiture terrasse, intégré dans une toiture en pente, intégré en façade ... etc.) Au bâtiment ou au site doivent être étudiés précisément de manière à garantir un rendement satisfaisant tout en respectant les aspects fonctionnel et esthétique de l'équipement.

### **II-9-1 La démarche d'intégration<sup>8</sup>**

#### **II-9-1-1 La technologie BiPV (building integrated photovoltaics)**

C'est une technologie multifonctionnelle qui peut être adapté de façon optimale sur les nouvelles constructions ainsi que les bâtiments existants.

Au cours de ces dernières années, et grâce à cette technologie (BiPV) l'intégration des modules dans l'architecture évolue fortement. Les nouveaux produits, par dimension et caractéristiques, sont en mesure de remplacer intégralement certains éléments constructifs traditionnels. Par élément de construction, nous entendons un composant utilisé dans le bâtiment comme partie de l'enveloppe de l'édifice (élément de couverture du toit, revêtement de façade, surface vitrée), dispositif de protection solaire (écrans solaires), élément architectonique «accessoire» (parapet de balcon.) et tout autre élément architectonique nécessaire au bon fonctionnement de l'édifice (protection visuelle et acoustique). Cette définition exclut par conséquent les installations «indépendantes» de l'édifice, tel que les panneaux solaires montés sur des supports appuyés ou fixés sur les toits ou autres parties d'un édifice qui n'assume aucune autre fonction en dehors celle de la production d'électricité (solutions adoptée par la majorité des surfaces photovoltaïques installées actuellement).

En plus de trouver une application dans la construction dans son sens stricte, les installations sont également considérées comme étant «intégrées» lorsqu'elles sont appliquées à des structures «urbaines» et de transport (marquises indépendantes, abris pour voitures, structures sportives et de jeux, arrêts de bus, etc.).

---

### **II-9-1-2 Le concept d'intégration**

Dans la large échelle de l'application de PV, le concept d' "application " au lieu de " l'intégration " a été prédominant jusqu'à maintenant. Dans de nombreux cas, en effet, « panneaux solaires » sont simplement superposés sur l'enveloppe du bâtiment comme un élément étranger, sans satisfaire aucune exigence ou fonction du bâtiment. Également, même dans la plupart des cas représentant une intégration fonctionnelle correcte, la qualité architecturale n'est pas toujours considérée comme une condition importante.

Au contraire le concept **BIPV**, comme typique dans la construction et l'architecture, comporte deux aspects complémentaires. Le premier est la multi-fonctionnalité de la composante solaire qui est l'intégration fonctionnelle / constructive. D'un autre côté, il est l'intégration esthétique qui est la qualité de l'architecture de l'intégration.

#### **A. L'intégration fonctionnelle**

L'intégration fonctionnelle se réfère au rôle que les modules photovoltaïques assument à l'intérieur du système édifice. Pour cette raison, on peut parler de multifonctionnalité ou de critère de double fonction. Les modules photovoltaïques sont considérés intégrés à l'édifice lorsqu'ils assument le rôle d'un élément de construction, remplissant une fonction telle que définie.

Le module PV devient une partie essentielle de la fonctionnalité de l'édifice. En effet, si le module PV devait être enlevé (dans le cas de modules connectés structurellement, le démontage inclurait des composants du bâtiment adjacents), il devrait être substitué par un composant de construction équivalent et adéquat.

Les fonctions de construction demandées pour un BiPV peuvent être les suivantes:

- ✓ Protection contre les agents atmosphériques: pluie, neige, vent, grêle, protection contre les rayons UV.
- ✓ Rigidité, résistance mécanique et intégrité structurelle.
- ✓ ombrage/éclairage diurne.

---

## **B. L'intégration esthétique**

(Architecturale, figurative), par ailleurs, se réfère au concept architectural et à l'image d'un édifice qui est plus difficilement définissable.

La définition ne peut pas déterminer avec certitude et objectivité l'esthétisme d'intégration, mais peut aider les concepteurs et les propriétaires à définir des références, comme par exemple pour l'élaboration du projet. Toutes les caractéristiques du système photovoltaïque capables de conditionner l'apparence d'un édifice devraient être cohérentes avec sa conception d'ensemble.

- ✓ La position et la dimension des modules doivent être cohérentes avec la composition architecturale d'ensemble de l'édifice;
- ✓ Les matériaux visibles du module PV, la texture de la surface et la couleur devraient être cohérents avec les autres matériaux de l'enveloppe du bâtiment, les couleurs et les textures avec lesquels ils interagissent;
- ✓ La dimension et la forme des modules doivent être compatibles avec la grille de composition et les différentes dimensions des éléments de l'enveloppe.

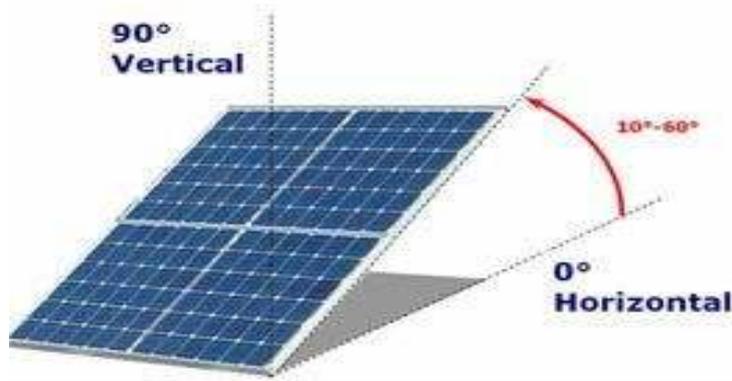
## **C. Respect des règles fondamentales du PV<sup>9</sup>**

L'installation PV doit naturellement satisfaire aux critères d'efficacité de la production énergétique, particulièrement en ce qui concerne le positionnement, l'orientation des modules et l'absence d'ombre

Pour pouvoir exploiter au mieux l'énergie accumulée par les modules photovoltaïques, il est nécessaire de suivre quelques règles simples comme l'orientation, l'ombrage et la ventilation.

### **❖ Inclinaison des modules**

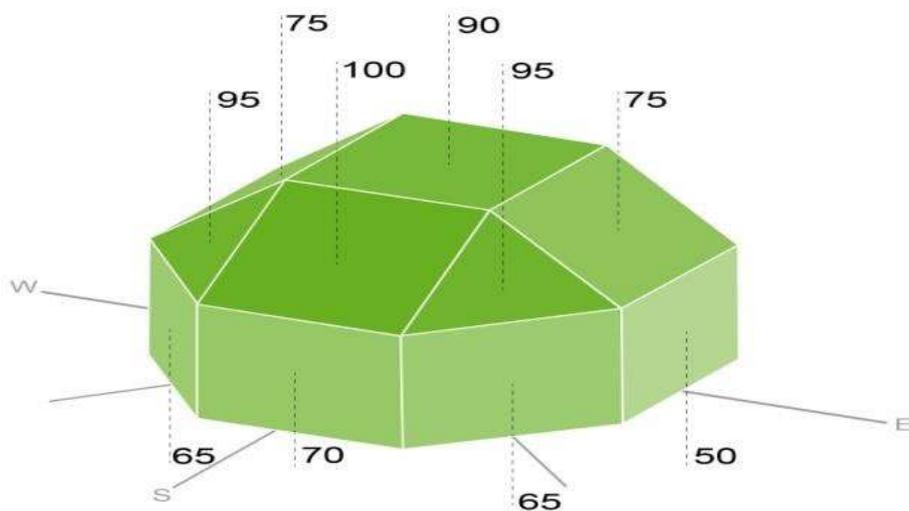
Les modules doivent être montés en principe avec une inclinaison optimale située entre 10° et 60° (sans que cela ne produise une perte par année supérieure à 10%). L'inclinaison optimale dépend principalement de la latitude du lieu, mais aussi du contexte dans lequel le module est inséré. (Voir figure 27).



**Fig27-** l'inclinaison des panneaux solaire

❖ **L'orientation des modules**

L'orientation de l'installation doit être le plus au sud possible. Une orientation entre 60° Ouest et 60° Est garantit un résultat intéressant avec des pertes qui ne dépassent pas 10% (en fonction de l'inclinaison). Voir figure 28).



**Fig28-** Le rendement par rapport à l'orientation de l'installation des modules

### ❖ Ombrage

Pour une utilisation optimale de l'énergie photovoltaïque, il faut éviter l'ombrage (partiel ou total) des modules. Un ombrage partiel sur le module est suffisant pour réduire considérablement son efficacité. Au moment de la conception d'une installation, on doit donc envisager la possibilité que d'autres bâtiments, des arbres ou les panneaux eux-mêmes. (Voir figure 29).



**Fig29-** Exemples d'ombres

### ❖ Ventilation

Une bonne ventilation du module permet d'abaisser sa température. Lorsque la température du module augmente, et par conséquent celle des cellules, cela provoque une réduction de la tension et de la puissance délivrée par l'installation.

Le pourcentage de la perte de puissance peut atteindre jusqu'au 10% lorsque le module n'est pas ventilé. Pour limiter une perte de puissance, une distance de 15cm entre le module et la façade est conseillée (les données sont basées sur une température ambiante maximale de 40°C). (Voir figure 30).



**Fig30-** Exemple de façade ventilée

❖ **Limitation du dépôt de saleté**

Les possibles réductions de rendement des modules dues à l'accumulation de saleté ou en raison de dépôts d'agents atmosphériques et/ou de substances transportées par le vent, doivent être éliminées par des procédés adéquats (le nettoyage peut être la solution).

❖ **Le choix du matériau photo actif**

Le choix du matériau photo actif peut également être opéré en tenant compte des caractéristiques climatiques du site, de la composition spectrale de la lumière et de la relative capacité de transformation de la cellule.

---

## II-9-2 Information supplémentaire sur les modules photovoltaïques<sup>10</sup>

L'industrie propose des versions extrêmement variées de verre photovoltaïque performant :

- Modules individualisés avec film EVA ou PVG sur verre de sécurité feuilleté.
- Grands panneaux jusqu'à 2,44 x 5,10 mètres de formes et de types différents.
- Verre isolant en différents formats et différentes épaisseurs.
- Vitrages translucides et verre fin bombé.
- Cellules perforées et colorées.
- LED intégrées.
- Options de décoration sérigraphie, films intermédiaires de couleur et sélection individuelle des types de cellules et de la distance entre elles.
- Différents systèmes de fixation ou points de montage invisibles.
- Installation photovoltaïque directement couplée à un capteur thermique.



**Fig31** - Exemples Les modules photovoltaïques

---

Il existe plusieurs modules PV pour différents éléments architecturaux comme il est démontré dans les figures suivantes :



**Fig32-** Le PV pour les tuiles



**Fig33-** Le PV pour les toitures vitrage



**Fig34-** Le PV pour les façades (élément)



**Fig35-** Le PV pour les façades vitrages



**Fig36-** Le PV pour les Panneaux métallique

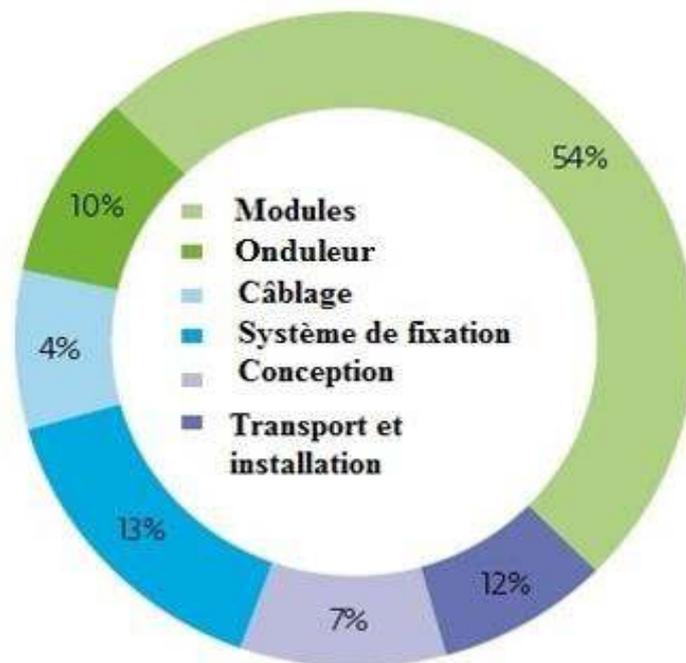


**Fig37-** Le PV pour les brises solaire

## II-10 L'investissement des panneaux solaire photovoltaïques<sup>11</sup>

Les installations photovoltaïques nécessitent un investissement initial important, même si par la suite, les frais d'entretien sont très faibles.

Chaque application doit être évaluée dans son contexte, tenant compte avant tout de l'énergie électrique produite, de la durée de l'installation, des subsides disponibles, du coût des alternatives, etc.



**Fig38-** Répartition des coûts moyens d'une installation PV

---

## II-10-1 Le coût d'une installation photovoltaïque

Il est composé par les éléments suivants :

### A- Modules

C'est le poste qui influence le plus fortement le coût du système. Le coût de chaque module se réduit proportionnellement à la puissance installée d'environ 40 à 60% du coût d'une installation.

### B- Onduleur

Le coût de ce composant se réduit proportionnellement à la puissance installée.

### C- Transport et installation

La standardisation du système permet de réduire modérément les coûts, surtout dans le cas d'installation de grandes dimensions. Les coûts liés à la mise en sécurité du chantier doivent être pris en considération.

### D- Système de fixation

Une installation intégrée peut s'avérer plus onéreuse par rapport à une installation appliquée ou posée sur le terrain, mais en même temps, une installation intégrée permet d'utiliser globalement moins de matériel.

### E- Câblage

Une bonne conception de la connexion électrique entre les modules permet d'optimiser les coûts et de réduire les pertes de production.

### F- Conception

Plus grande est la complexité de l'installation, plus de temps sera nécessaire pour sa correcte conception. Une bonne conception garantit la qualité de l'installation au fil des ans

---

## II-10-2 Le prix du module photovoltaïque

Le prix des panneaux solaires photovoltaïques dépend dans un premier temps de trois facteurs: le type de panneaux solaires photovoltaïque, la surface du module photovoltaïque, et le fabricant. Le coût des équipements complémentaires et de l'installation viennent s'ajouter ensuite pour établir le coût de revient final des panneaux

- ✓ **Selon le type de cellules solaire:** Le prix au mètre carré des panneaux solaires photovoltaïques varie selon le type de cellules solaire photovoltaïque utilisée: amorphes, monocristallins, ou polycristallins.
- ✓ **Selon la surface du module photovoltaïque :** précisons qu'un module photovoltaïque est un ensemble de cellules solaires photovoltaïques reliées électriquement entre elles. Plus la surface du module est grande, plus le nombre de cellules qu'il compose est élevé. La taille du module se basera sur la puissance souhaitée de l'installation. Ainsi, par exemple, pour un besoin de 1000Kw, il faudrait 4 panneaux de 250W.
- ✓ **Selon le fabricant:** de nombreux modèles rivalisent sur le marché. Les prix peuvent être sensiblement différents entre les fabricants (entre fabricants chinois, européens, américains et algériens) pour deux panneaux standards avec les mêmes types de cellules photovoltaïques.

## **A. Pour les marchés à l'étranger**

En moyenne le prix d'un module photovoltaïque, rapporté à sa puissance, se situe entre 900 et 4500 € (net) par Kilowatt crête (la puissance nominale installée). Ainsi le prix au watt crête varie de 0,9 à 4,5 €. Ces prix seront amenés à baisser avec les années, avec l'augmentation prévisible des offres en panneaux solaires.

Tableau Ci-dessous, des estimations de prix d'un module, composé de 4 panneaux identiques. Les estimations sont basées sur les gammes de puissance proposées par différents fabricants. Le prix d'un panneau se situe en moyenne entre 2 et 3,5 € par Watt crête.

<b>Fabricants</b>	<b>Puissance d'un panneau</b>	<b>Prix</b>
<b><u>Suntech</u></b>	185 à 280 WC	148 à 392 €
<b>Centrosolar</b>	180 à 200 WC	140 à 280 €
<b>Sunpower</b>	225 à 305 WC	180 à 427 €
<b>BP Solar</b>	165 à 230 WC	130 à 320 €
<b>Photowatt</b>	120 à 175 WC	96 à 245 €

**Tableau5** : estimations de prix par fabricants

## **B. Pour le marché algérien**

Legroupealgérien, spécialisé dans l'électronique, Condor, dont les sièges sociaux est basé à Bordj Bou Arreridj a communiqué le prix des panneaux photovoltaïques fabriqués dans son unité Energie Solaire. Le coût moyen du Watt annoncé, en hors taxes, est de 95 DA.

Ils'agit de panneaux photovoltaïques monocristallin et poly-cristallin dont la puissance varie entre 70 Watts et 285 Watts.

<b>Code</b>	<b>Désignation</b>	<b>P.U. HT</b>	<b>P.U. TTC</b>
CEM90M-36	Panneau Solaire 90 W Mono	8.550,00 DA	10.003,50 DA
CEM100M-36	Panneau Solaire 100 W Mono	9.500,00 DA	11.115,00 DA
CEM200M-72	Panneau Solaire 200 W Mono	19.000,00 DA	22.230,00 DA
<b>Code</b>	<b>Désignation</b>	<b>P.U. HT</b>	<b>P.U. TTC</b>
CEM70P-18	Panneau Solaire 70 W Poly	7.000,00 DA	8.190,00 DA
CEM145P-36	Panneau Solaire 145 W Poly	13.050,00 DA	15.268,50 DA
CEM235P-60	Panneau Solaire 235 W Poly	21.150,00 DA	24.745,50 DA
CEM240P-60	Panneau Solaire 240 W Poly	21.600,00 DA	25.272,00 DA
CEM280P-72	Panneau Solaire 280 W Poly	25.200,00 DA	29.484,00 DA
CEM285P-72	Panneau Solaire 285 W Poly	25.650,00 DA	30.010,50 DA

**Tableau6** : Prix du panneau photovoltaïque en Algérie

### **II-10-3 Le prix des onduleurs**

Le prix des onduleurs dépend de leur taille, leur fabricant, et leur puissance nominale. Aujourd'hui les onduleurs coûtent entre 500 et 1200 € (net) par kilowatt (puissance nominale de l'onduleur). Le coût d'achat de l'onduleur contribue généralement aux 10% de la facture finale de l'investissement.

Ci-dessous un échantillon de modèles présents sur le marché avec leur prix respectifs.

Modèle	Puissance nominale (en Wc)	Prix (en €)
Sma sunny boy 300tl-20	3000	1750
Sunny boy 2500	2500	1400
Schneider 2800	2800	1390
Fronius ig300	2500	1260
Master volt Xs 3200	2500	1990
Power one 3000	3000	1570

**Tableau7** : échantillons de prix de quelques fabricants

## **II-11 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, et en chaleur par les capteurs solaires thermiques ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques. Et en fin on a présenté la démarche d'intégration de système solaire pour une intégration fonctionnelle et esthétique.

Grâce à l'utilisation maximale de ces technologies, les bâtiments ne sont plus de simples consommateurs de l'énergie, mais deviennent des producteurs importants. Des solutions d'intégration d'une grande qualité architecturale apportent une contribution décisive à l'augmentation de l'efficacité énergétique des immeubles. Parallèlement, la durabilité des investissements immobiliers progresse elle aussi.

---

# **Chapitre III**

## **L'étude de site et la simulation de pléiade**

### III -1-Etude de site



**Fig 39** : notre site d'études

la wilaya de Blida est située à 47 km au sud-ouest d'Alger, et à 26 km au nord-est de Médéa, sur la bordure Sud de la plaine de la Mitidja à 22 km de la mer. et notre école est située à l'ouest de Blida à "Aine Romana" notre école se trouve à un terrain presque dégagé entouré de l'espace végétal à l'ouest une voie mécanique peut être fréquentée et au sud une concentration faible d'habitation

la wilaya de Blida est située à 47 km au sud-ouest d'Alger, et à 26 km au nord-est de Médéa, sur la bordure Sud de la plaine de la Mitidja à 22 km de la mer. et notre école est située à l'ouest de Blida à "Aine Romana" notre école se trouve à un terrain presque dégagé entouré de l'espace végétal à l'ouest une voie mécanique peut être fréquentée et au sud une concentration faible d'habitation.

---

Amir Abdelkader c'est une école primaire qui a été construite à l'époque de la colonisation française en Algérie et bien précisément à la wilaya de Blida, le nord ouest de la commune de Mouzaïa. Cette école a été développée avec le temps pour devenir une école qui se compose de, six classes, un bureau pour les travaux administratifs, une cantine, la cour et des WC



### III. 1.1. Meteoblue

Les diagrammes météorologiques de meteoblue sont basés sur 30 ans de simulations de chaque heure des modèles météorologiques et sont disponibles pour chaque lieu sur Terre. Ils donnent une bonne indication des tendances météorologiques typiques et conditions prévues (température, précipitations, rayonnement solaire et vent). Les données météo simulées ont une résolution spatiale d'environ 30 km et ne peuvent pas jouer tous les effets météorologiques locaux tels que les tempêtes, les vents locaux ou les tornades.

#### ➤ Températures et précipitations moyennes

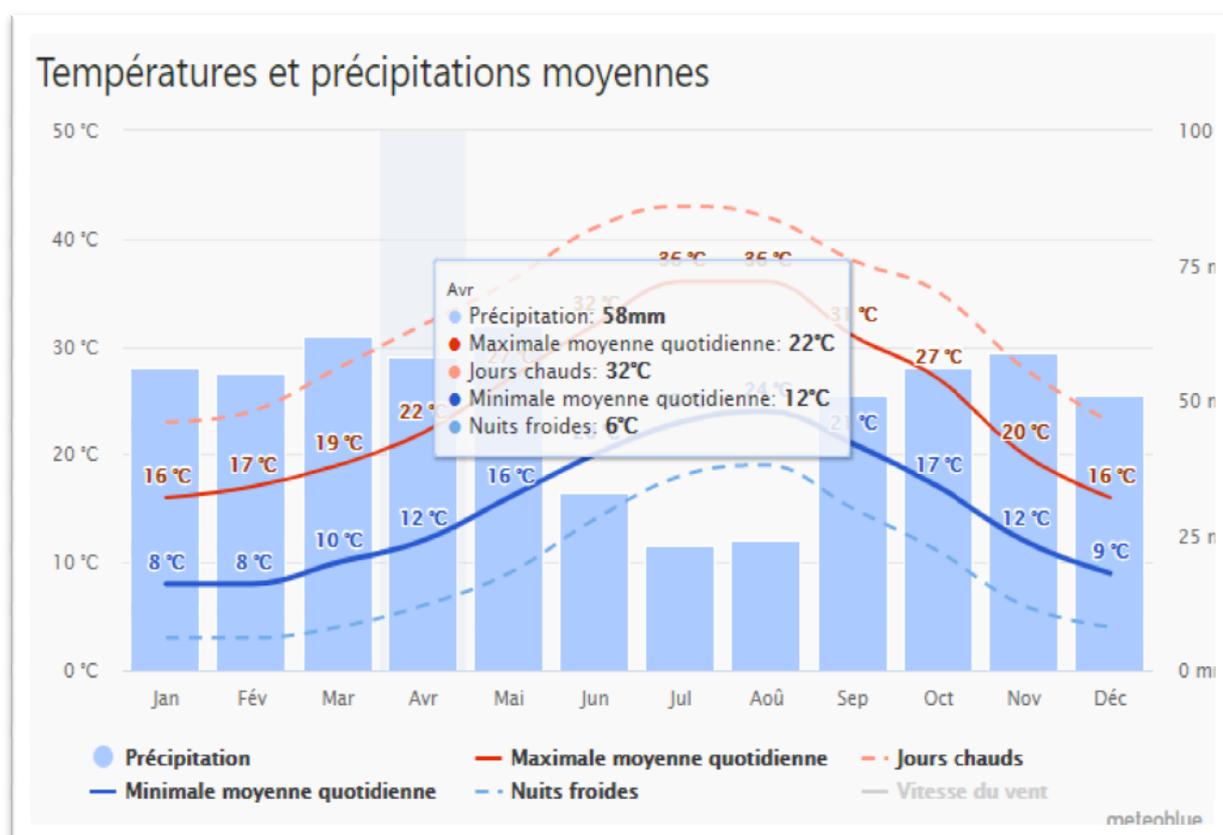
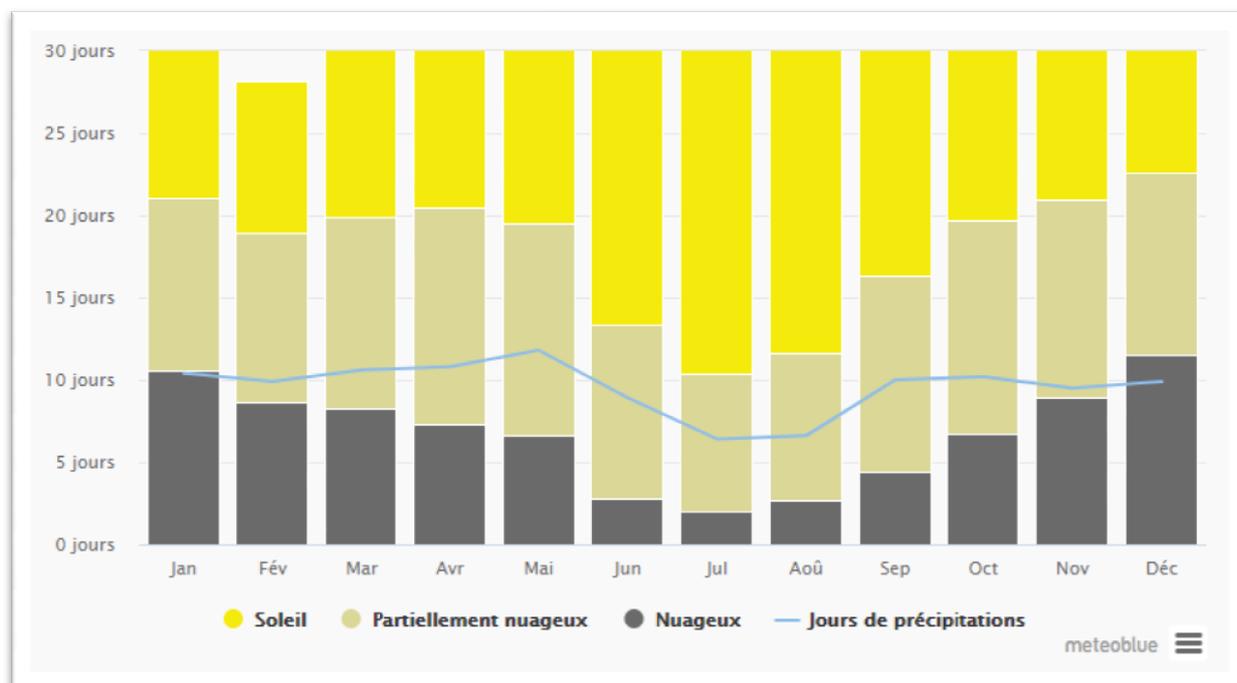


Fig 40 : températures et précipitations moyennes

La "maximale moyenne quotidienne" (ligne rouge continue) montre la température maximale moyenne d'un jour pour chaque mois pour Blida. De même, «minimale moyenne quotidienne" (ligne bleu continue) montre la moyenne de la température minimale. Les jours chauds et les nuits froides (lignes bleues et rouges en pointillé) montrent la moyenne de la plus chaude journée et la plus froide nuit de chaque mois des 30 dernières années. Pour la planification de vacances, vous pouvez vous attendre à des températures moyennes, et être prêt à des jours plus chauds et plus froids. La vitesse du vent n'est normalement pas affichée, mais peut être ajustée en bas du graphique.

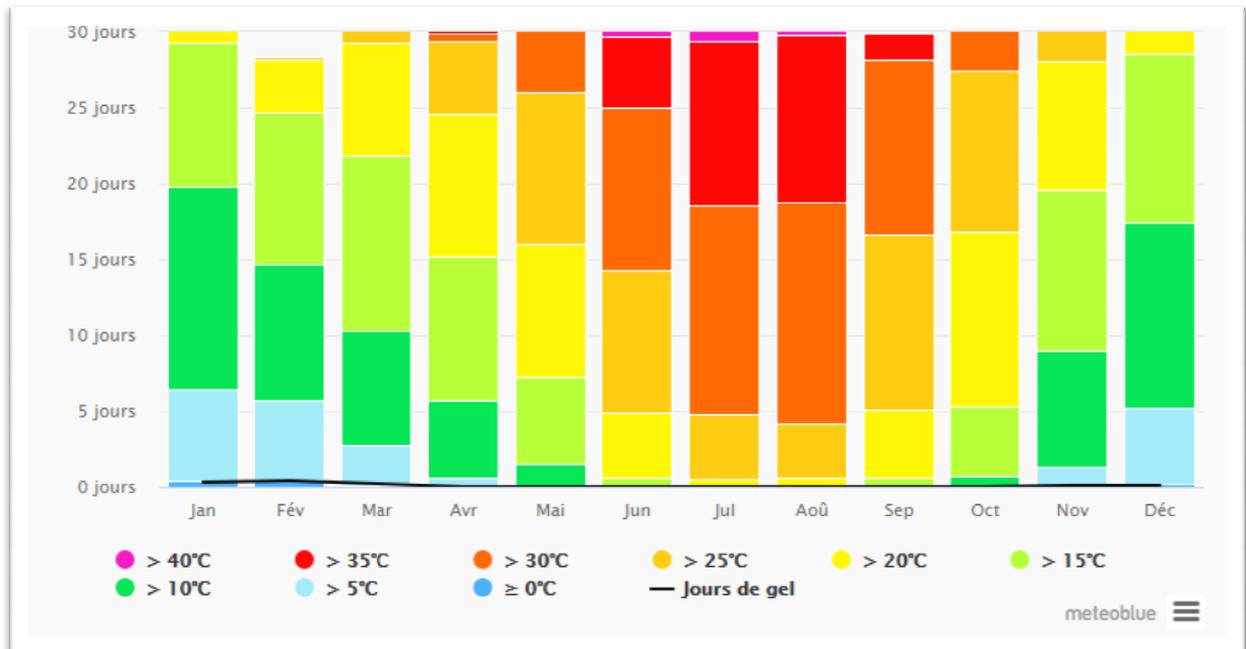
## ➤ Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations



**Fig 41** : Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations

Le graphique montre le nombre mensuel de jours ensoleillés, partiellement nuageux, nuageux et de précipitations. Les jours avec moins de 20% de la couverture nuageuse sont considérés comme des jours ensoleillés, avec 20-80% de de la couverture nuageuse, comme partiellement ensoleillés et plus de 80% comme nuageux.

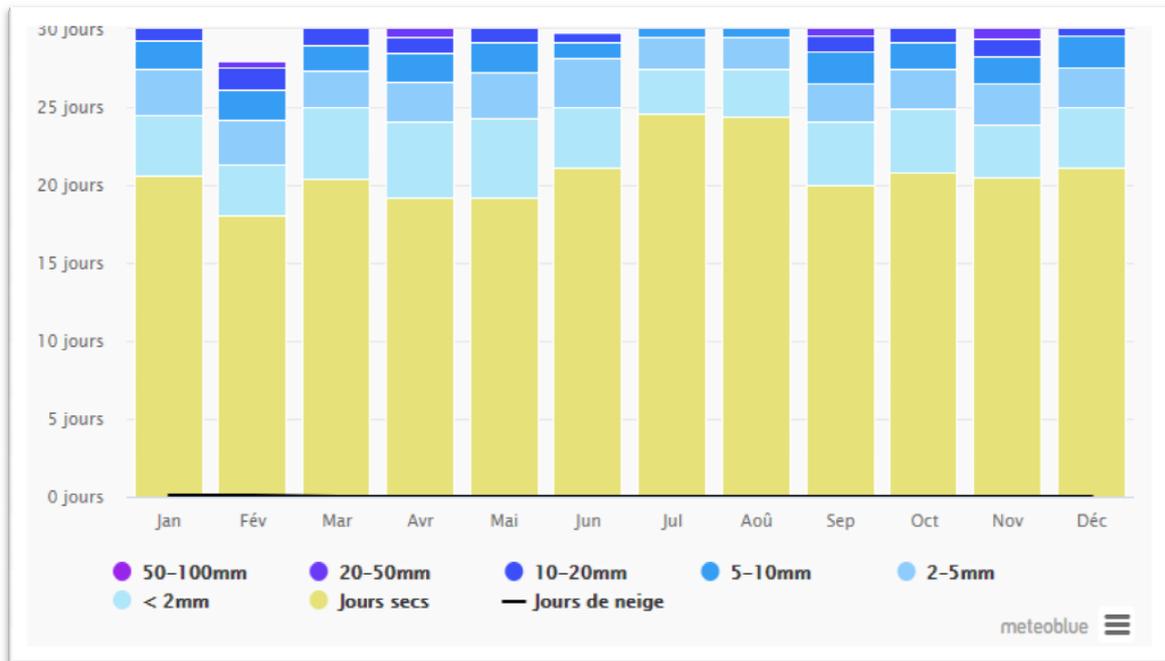
➤ **Températures maximales**



**Fig 42** : Températures maximales

Le diagramme de la température maximale à Blida montre le nombre de jours par mois qui atteignent certaines températures.

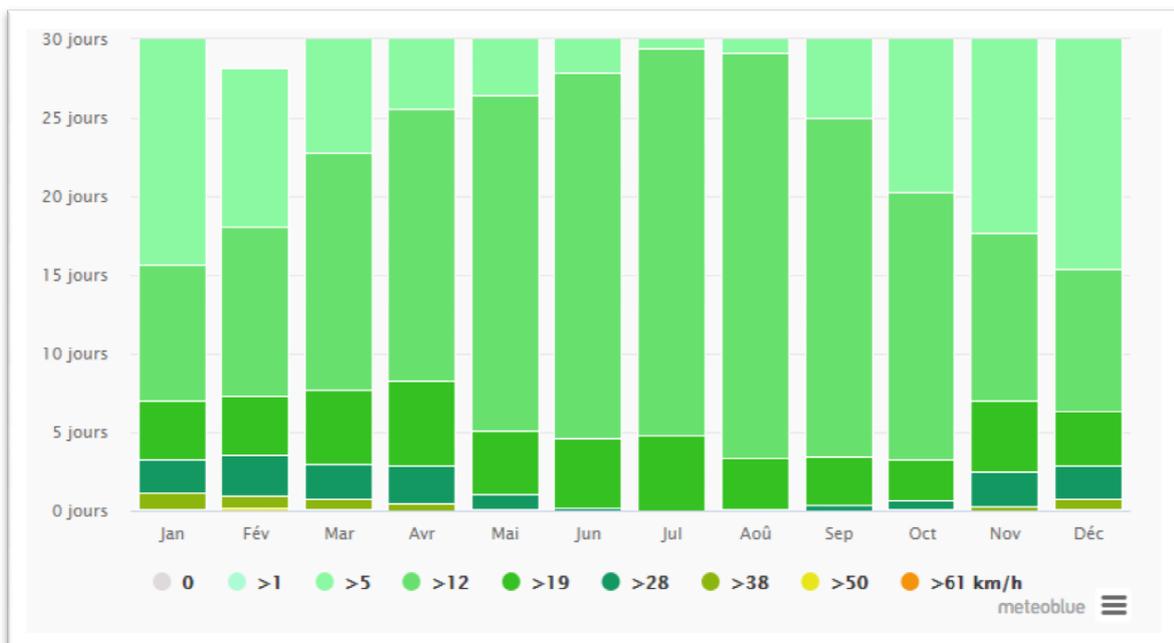
➤ **Quantité de précipitations**



**Fig 43** : Quantité de précipitations

Le diagramme de la précipitation pour Blida indique depuis combien de jours par mois, une certaine quantité de précipitations est atteinte. Dans les pluies tropicales et la mousson peut être sous-estimée.

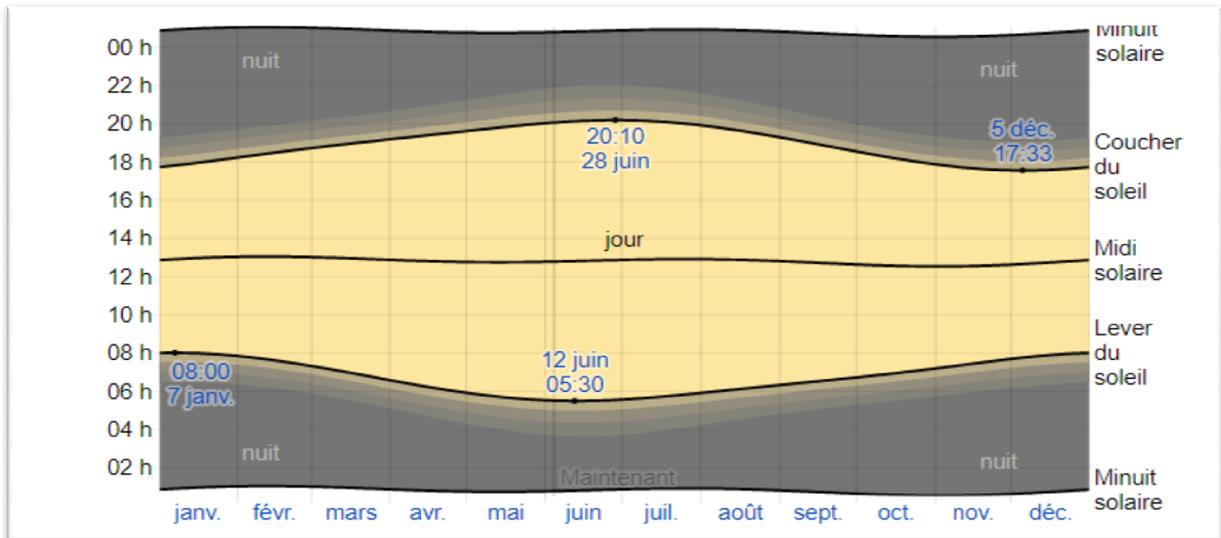
➤ **Vitesse du vent**



**Fig 44** : vitesse de vent

Le diagramme de Blida montre les jours par mois, pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse.

➤ **Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule**



**Fig 45** : Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule

Le jour solaire au cours de l'année 2020. De bas en haut, les lignes noires indiquent le minuit solaire précédent, le lever du soleil, le midi solaire, le coucher du soleil et le minuit solaire suivant. Le jour, les crépuscules (civil, nautique et astronomique) et la nuit sont indiqués par les bandes de couleur de jaune à gris.

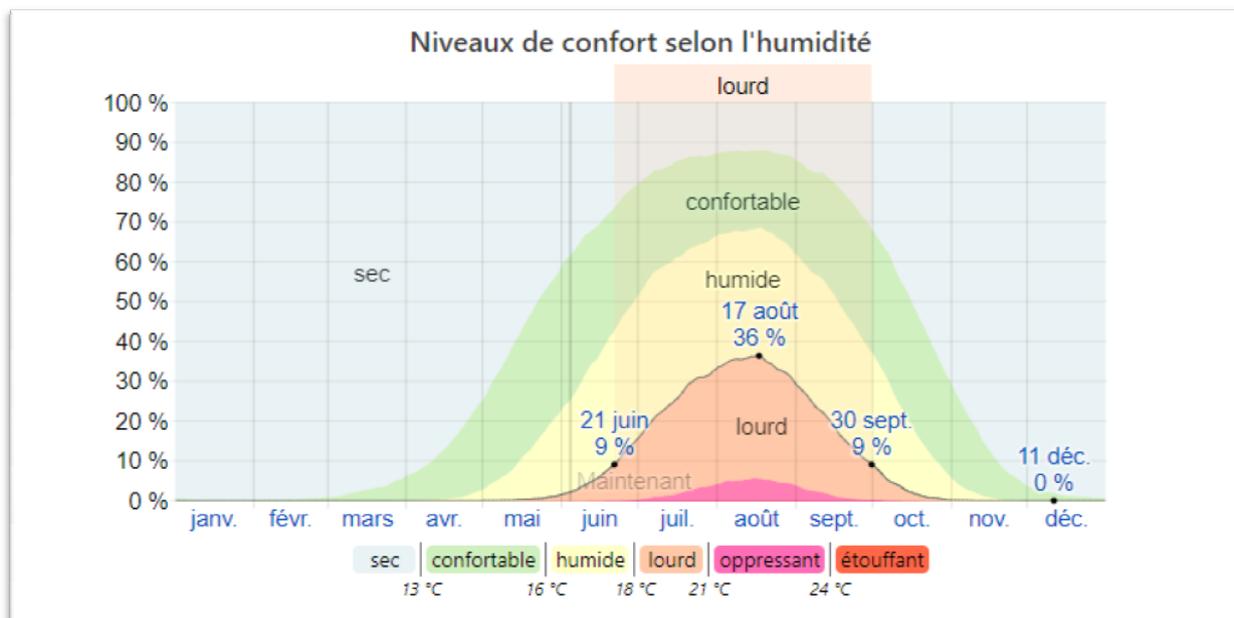
➤ **Humidité**

Nous estimons le niveau de confort selon l'humidité sur le point de rosée, car il détermine si la transpiration s'évaporera de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de l'organisme. Les points de rosée plus bas sont ressentis comme un environnement plus sec et les points de rosée plus haut comme un environnement plus humide. Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. Ainsi, bien que la température puisse chuter la nuit, une journée lourde est généralement suivie d'une nuit lourde.

Blida connaît des variations saisonnières considérables en ce qui concerne l'humidité perçue.

La période la plus lourde de l'année dure 3,3 mois, du 21 juin au 30 septembre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 9 % du temps. Le jour le plus lourd de l'année est le 17 août, avec un climat lourd 36 % du temps.

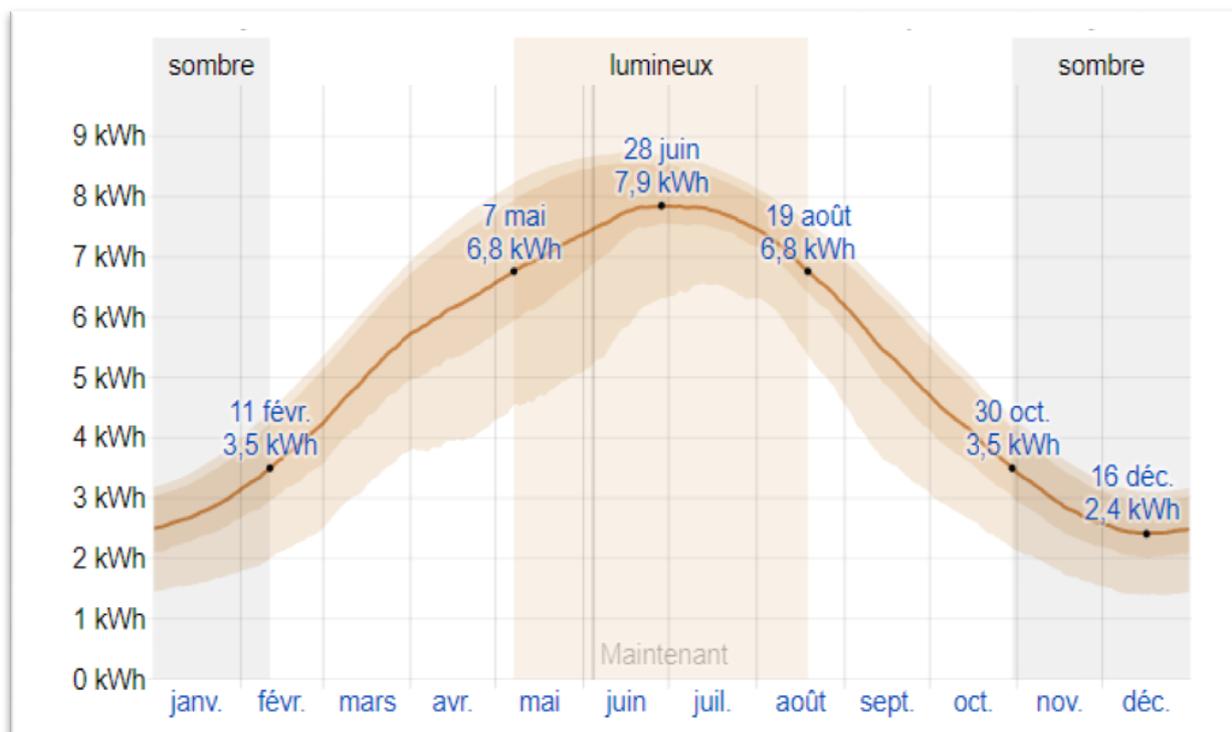
Le jour le moins lourd de l'année est le 11 décembre, avec un climat lourd quasiment inexistant.



**Fig 46 : humidité**

Le pourcentage de temps passé dans divers niveaux de confort selon l'humidité, catégorisés par le point de rosée.

➤ **Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen**



**Fig 47 : Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen**

Le rayonnement solaire en ondes courtes quotidien moyen atteignant le sol en mètres carrés (ligne orange), avec bandes du 25e au 75e percentile et du 10e au 90e percentile.

❖ Cas d'étude : classe 1<sup>er</sup> année

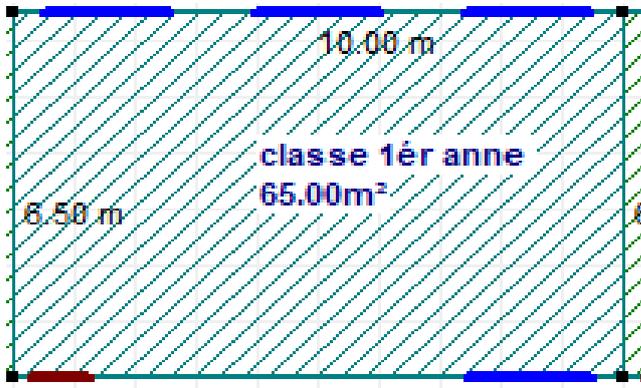


Fig 48 : classe 1<sup>er</sup> année

✓ Compositions de paroi

- **Nom** : Mur pierre 45 cm

$\lambda$	MV	CS	U	R	
	2.00 cm de Enduit extérieur		1.15	1700	1000
	45.00 cm de Calcaire ferme	1.70		2200	800
	2.00 cm d'Enduit plâtre	0.35	1500		1000
	Total			2.95	0.34

- **Nom** : Toit terrasse

$\lambda$	MV	CS	U	R	
	20.00 cm de Béton lourd		1.75	2300	920
	Total			8.75	0.11

- **Nom** : plancher bas

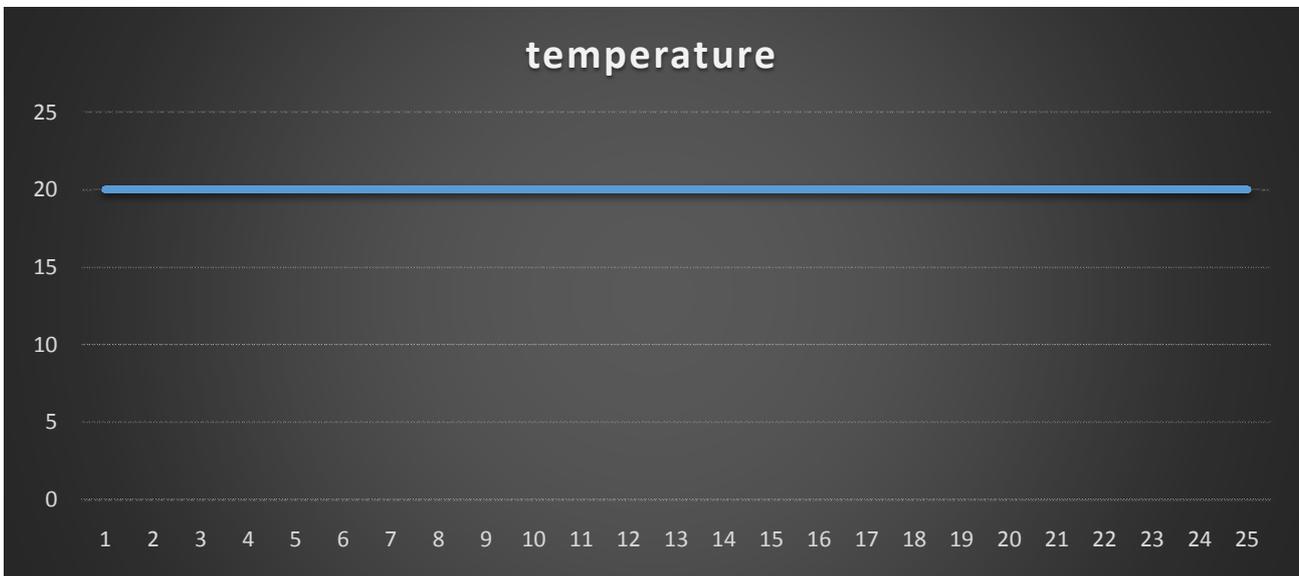
$\lambda$	MV	CS	U	R			
	8.00 cm de Polystyrène expansé		0.04	25	1380		
	16.00 cm de Hourdis de 16 en bét	1.23		1300	0.180	7.69	0.13
	4.00 cm de Béton lourd		1.75		2300		920
	4.00 cm de Mortier		1.15		2000		840
	1.00 cm de Carrelage		1.70		2300		700
	Total					0.4	2.24

- **Nom** : mur entre cours et classe

$\lambda$	MV	CS	U	R		
2.00 cm de Plâtre gypse			0.42		1200	837
2.00 cm de Mortier		1.15		2000	840	
10.00 cm de Brique creuse de 10		0.48		690		0.250 4.7 0.21
Total						3.64 0.28

✓ **Simulation**  
**Scenario de température**

<b>Heure</b>	<b>De 0 à 23</b>
<b>Température</b>	<b>20 °C</b>



**Fig 49** : Scenario de température

### Scenario d occupation

Nombre d occupant :25

<b>H</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	25	25	0
<b>H</b>	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
<b>N</b>	25	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	

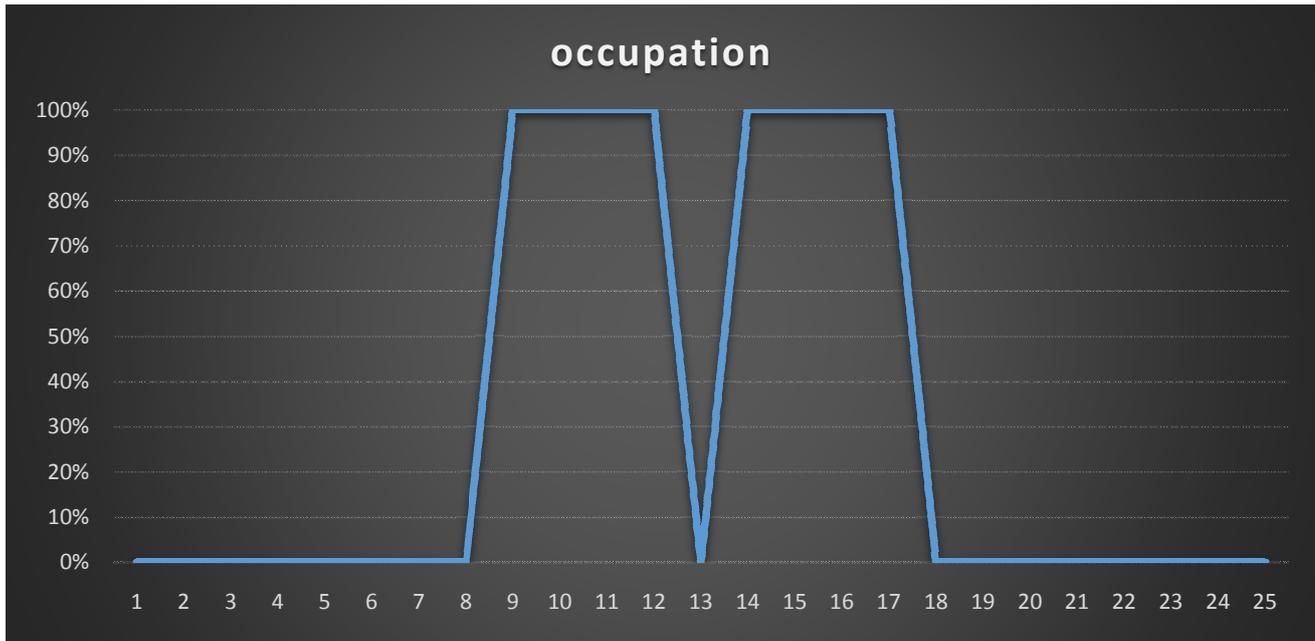
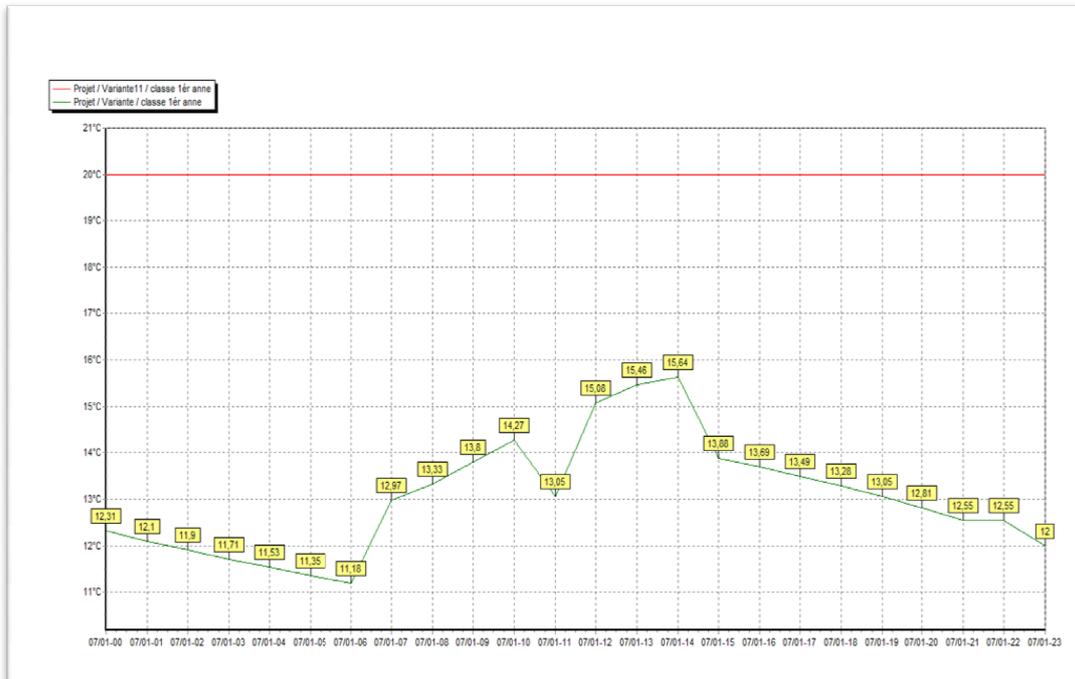


Fig 50 : Scenario d occupation

✓ **Thermostat de chauffage**



**Fig 51 : Thermostat de chauffage**

✓ **Température moyenne avec et sans chauffage (°C)**

	Janv	Févr	Mars	Avri	Mai	Sept	Octo	Nove	Dece
<b>classe 1<sup>er</sup> année AC</b>	20.64	19.48	20.03	20.11	21.08	22.09	25.97	29.29	25.74
<b>classe 1<sup>er</sup> année SC</b>	18.22	13.89	13.34	14.65	18.14	21.10	25.83	29.29	25.68
<b>Extérieur</b>	13.99	10.81	09.80	10.65	13.50	15.38	19.58	23.31	20.32

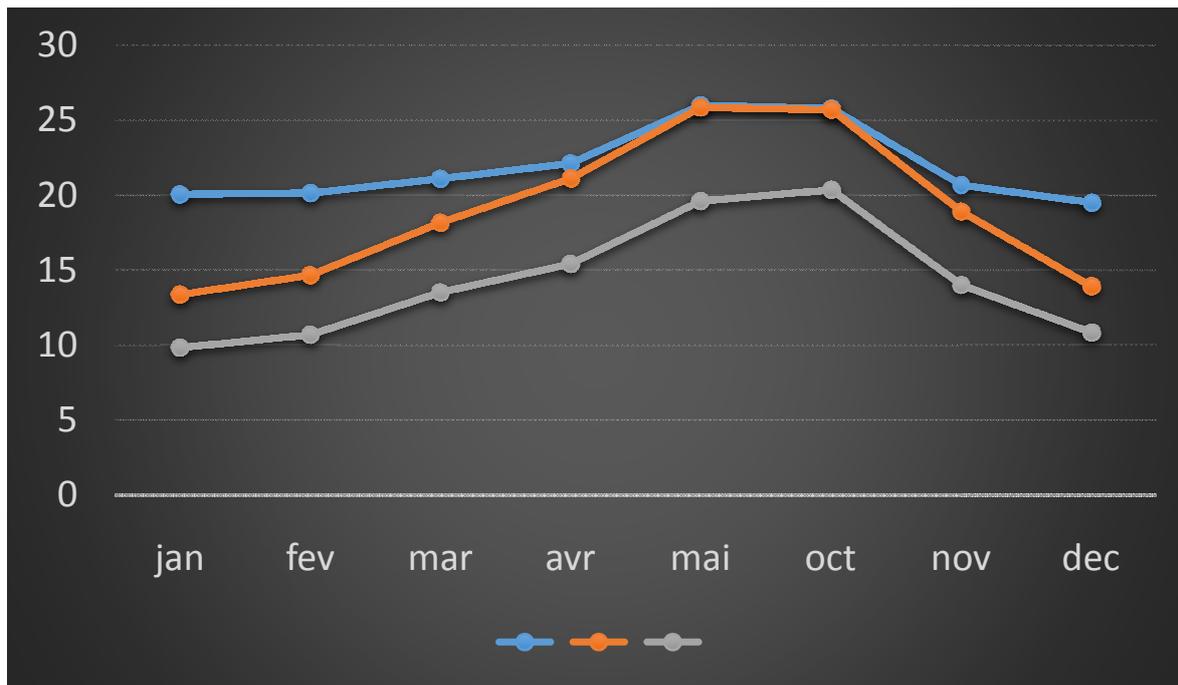


Fig 52 : Température moyenne avec et sans chauffage

✓ **Besoin et puissance de chauffage**

<i>Zones kWh</i>	<i>Besoins</i>	<i>Chauff W</i>	<i>Puiss. Chauff</i>
classe 1 <sup>er</sup> année AC		9210	7020
classe 1 <sup>er</sup> année SC		0	0

AC : avec chauffage  
 SC : sans chauffage

Dans ce chapitre nous allons faire une étude des besoins électrique de notre école afin de les couvrir avec l'énergie produit par la photovoltaïque.

Nous allons d'abord réaliser une fiche technique pour calculer les besoins en KWH afin de connaitre l'énergie crêt pour commencer le dimensionnement a l'aïd de logiciel PVsyst qui lui-même va nous aidé a faire une simulation afin d'étudie le comportement de notre installation

### Etape 1 : Calculer l'énergie qui sera consommée par jour.

#### ✓ Définir le besoin

Utilisation 5 jours par semaine	Nembre	Puissance	Utilisation	Énergie
Lamps (LED or fluo)	20	30 W/lampe	8 h/jour	4800 Wh/jour
TV	1	48 W/app	2 h/jour	96 Wh/jour
PC+imprimante	1	400 W/app	6 h/jour	2400 Wh/jour
Frigo / Congélateur	1	100W	24 Wh/jour	2400 Wh/jour
LAMPS couloir	6	30 W tot	11 h/jour	1980 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/7jours/7	1920 Wh/jour
climatiseur	10	24000	8h/jour	24 kWh/jour

Notre école primaire a pour consommation 37,596KWh.

### Etape 2 : Calcul de l'énergie à produire.

$$E_p = E_c / k$$

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 systèmes 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<sub>c</sub>** : puissance crête en Watt crête (Wc)

**P<sub>c</sub> = E<sub>p</sub> / (k.I<sub>r</sub>)**                      **E<sub>p</sub>** : énergie produite par jour (Wh/j)

**I<sub>r</sub>** : irradiation quotidienne moyenne annuelle (kWh/m<sup>2</sup>.jour) **I<sub>r</sub> = 5**

$$P_c = (37\,596\text{W} / (5 * 0.65)) = 11\,568\text{Wc.}$$

Pour réaliser notre projet on passera par les étapes suivant :

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible
- Choisir les modules PV dans la base de données interne
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne

Et PVsyst propose une configuration de système, qui de réaliser une première simulation d'évaluation.

#### ❖ Orientation des modules PV

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations

Et inclinaisons favorables à la production d'énergie.

Pour la simulation en technologie de silicium poly cristallin, nous avons choisi un plan Incliné fixe d'une inclinaison 35° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure 35° c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

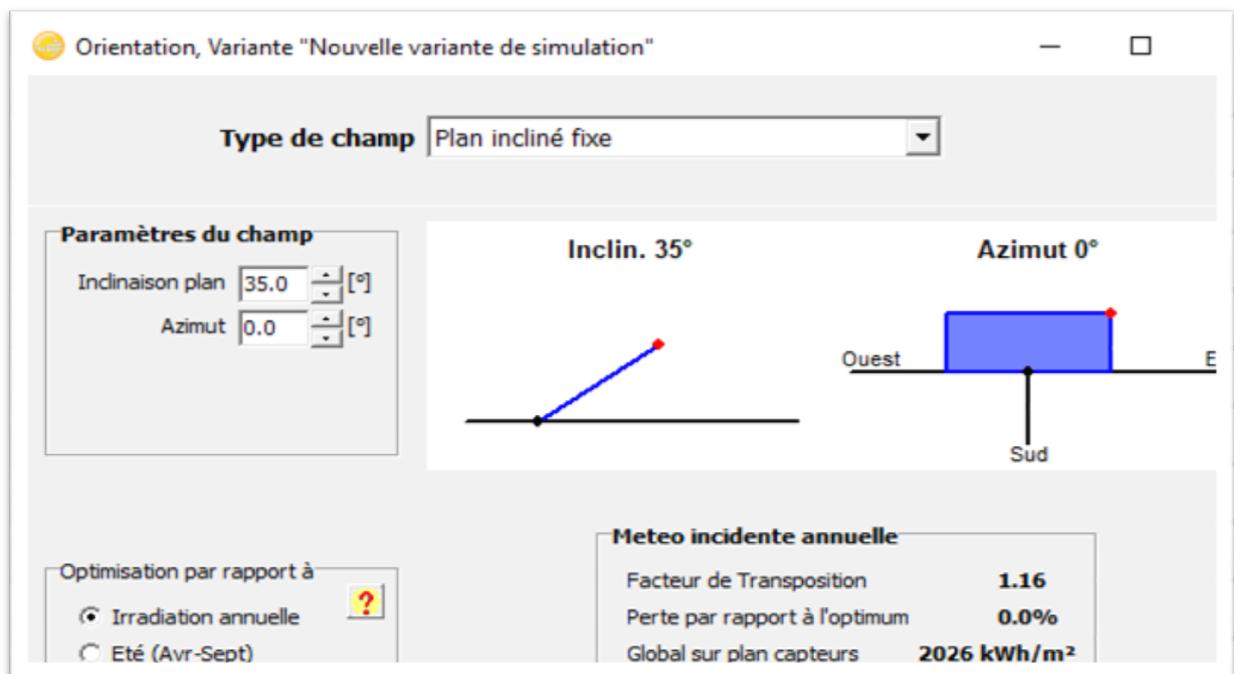
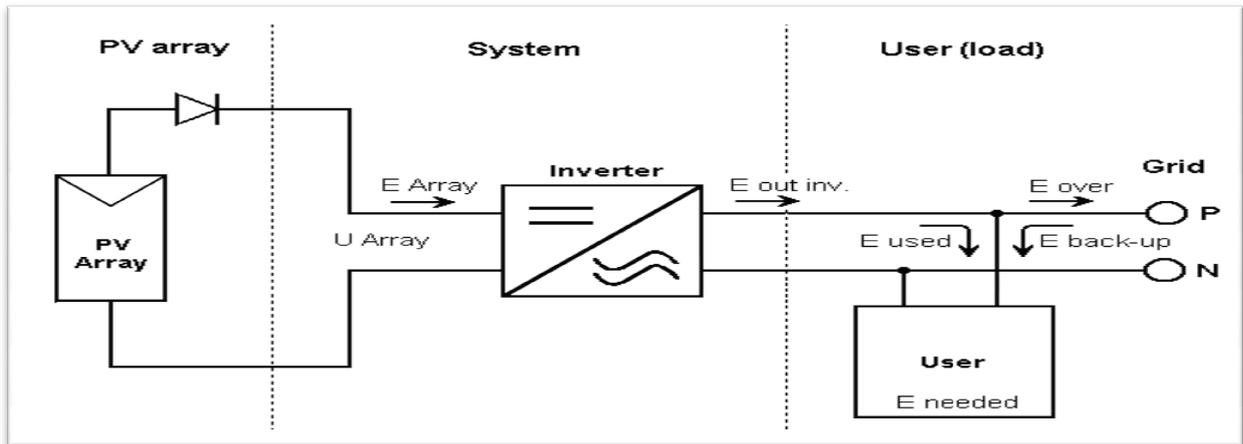


Fig 53 : Positionnement des systèmes de panneaux PV.

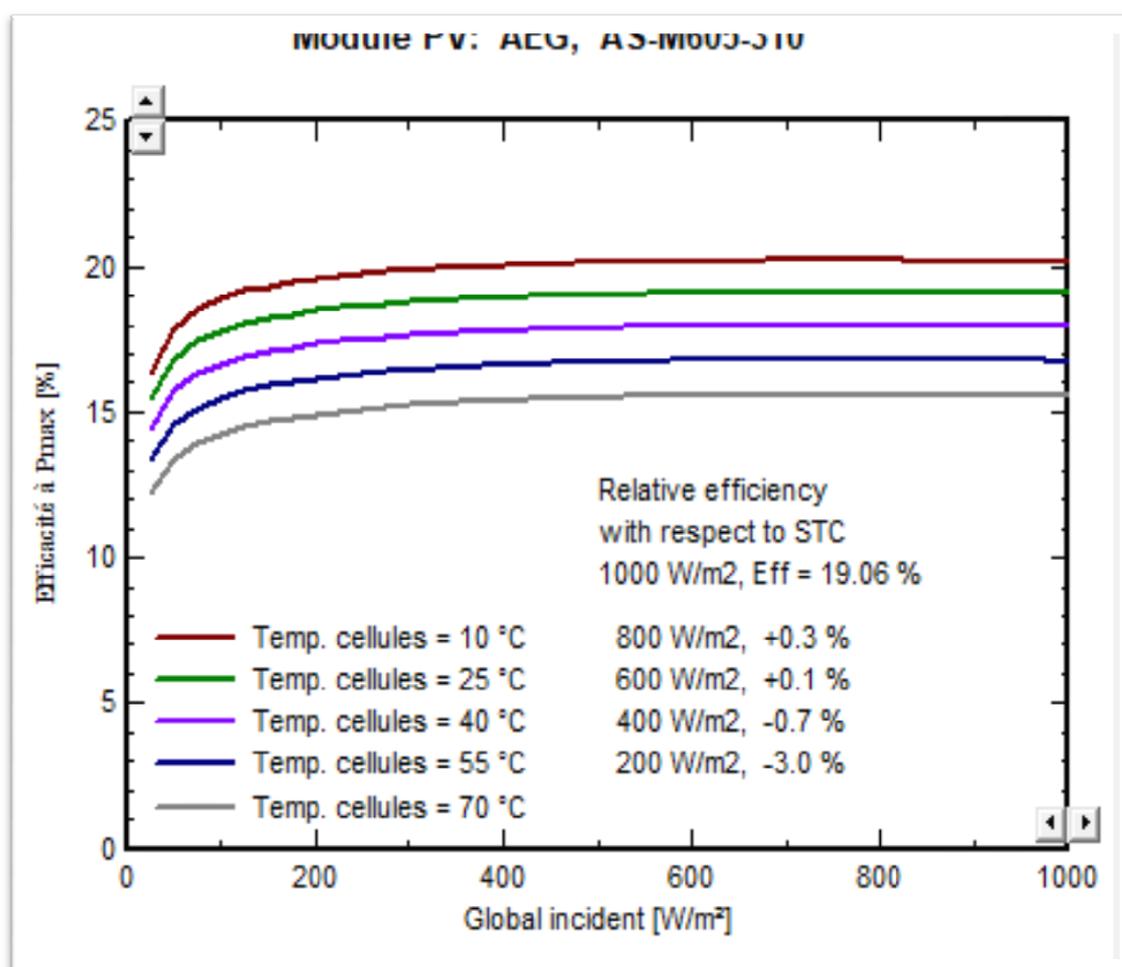
---

### ❖ Schémas simplifiés

La figure représente le schéma de l'installation PV raccordé au réseau prise en compte dans la simulation.



**Fig 54** : Schéma simplifié d'une installation PV raccordée au réseau.





❖ Les résultats de la simulation

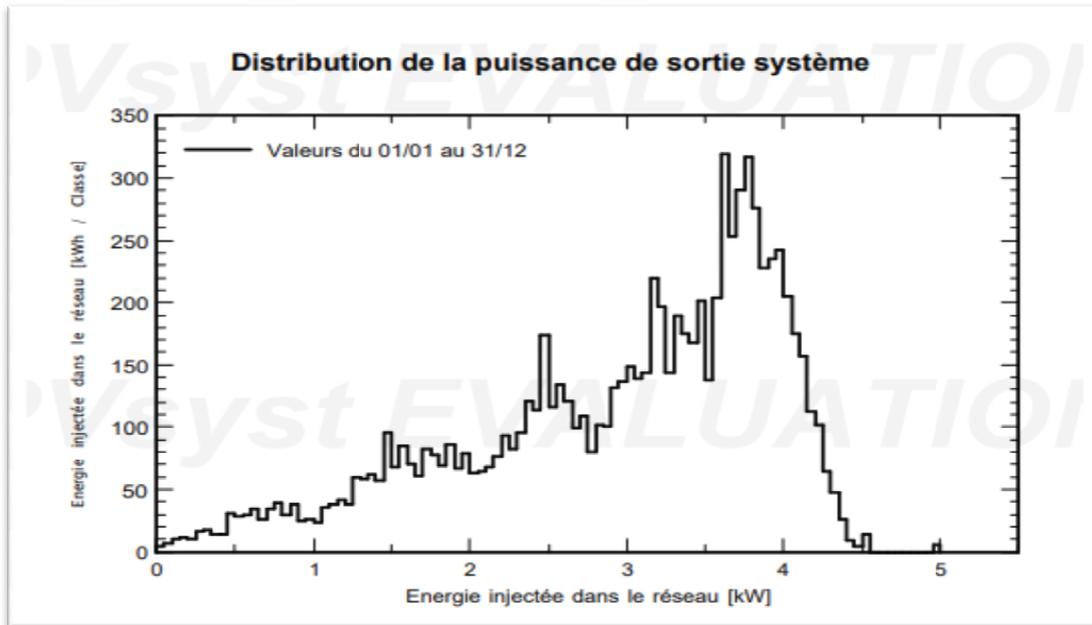


Fig 56 : Conditions de dimensionnement champ/ onduleur dans PVSYST.

Après un bon dimensionnement du système, on peut définir différentes pertes comme lesombrages lointains et proches, en utilisant un éditeur 3D complet, pour la définition del'environnement et des conditions d'ombrages proches.

Caractéristiques du champ de capteurs			
<b>Module PV</b>	Si-mono	Modèle	<b>AS-M605-310</b>
Base de données PVSyst originale		Fabricant	AEG
Nombre de modules PV		En série	17 modules
		En parallèle	3 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	51
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	<b>15.81 kWc</b>
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	498 V
Surface totale		Surface modules	<b>83.0 m²</b>
		Aux cond. de fonct.	14.23 kWc (50°C)
		I mpp	29 A
<b>Onduleur</b>			
Base de données PVSyst originale		Modèle	<b>NXV0015</b>
Caractéristiques		Fabricant	Vacon
Batterie d'onduleurs		Tension de fonctionnement	340-800 V
		Puissance unitaire	15.0 kWac
		Nbre d'onduleurs	1 unités
		Puissance totale	15.0 kWac
		Rapport Pnom	1.05

Fig59: Paramètres de simulation d'une installation PV.

Comme illustré sur le tableau, le champ PV sera constitué de 51 de modules PV (Technologie mono cristallin) répartis sur une surface de **83 m²**, comme suit :

- 17 modules en série.
- 3modules en parallèle.

Le nombre d'onduleur est égal à 1 unités avec une puissance globale de 15KWc .

### Bilans et résultats principaux

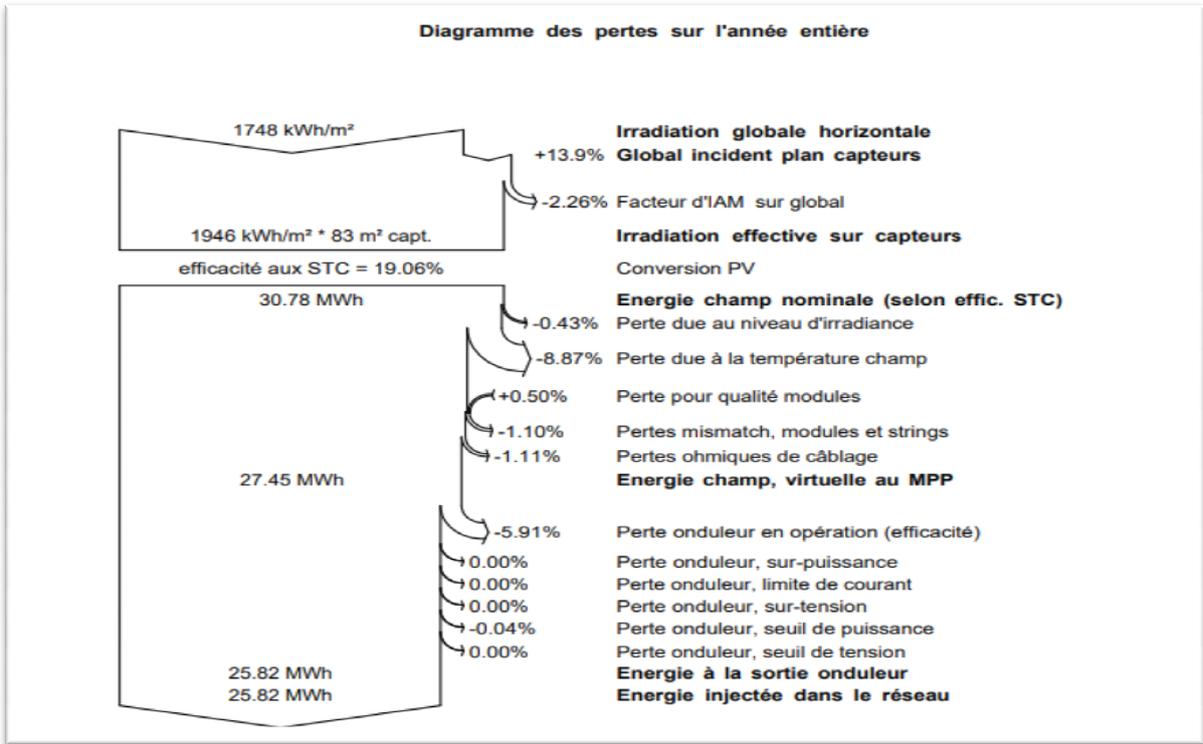
	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>Janvier</b>	81.4	28.05	10.12	132.7	130.8	1.917	1.800	0.858
<b>Février</b>	88.9	38.99	10.86	124.2	121.9	1.795	1.689	0.860
<b>Mars</b>	133.3	57.67	13.40	160.0	156.6	2.259	2.123	0.839
<b>Avril</b>	150.6	75.79	15.37	156.3	152.1	2.196	2.063	0.834
<b>Mai</b>	189.0	84.88	18.99	177.8	172.7	2.450	2.301	0.819
<b>Juin</b>	220.7	79.90	22.79	199.0	193.2	2.678	2.517	0.800
<b>Juillet</b>	240.2	68.19	25.90	222.5	216.6	2.926	2.751	0.782
<b>Août</b>	205.7	74.73	26.25	210.8	205.6	2.779	2.616	0.785
<b>Septembre</b>	153.5	56.77	22.91	177.4	173.5	2.385	2.244	0.800
<b>Octobre</b>	124.3	47.96	20.12	167.2	164.0	2.293	2.160	0.817
<b>Novembre</b>	87.6	30.09	14.38	139.6	137.4	1.985	1.871	0.848
<b>Décembre</b>	72.4	27.58	11.68	123.4	121.5	1.787	1.682	0.862
<b>Année</b>	1747.6	670.58	17.77	1990.9	1946.0	27.451	25.818	0.820

**Fig 58:** Tableau de Bilan et résultat principaux.

#### Légende :

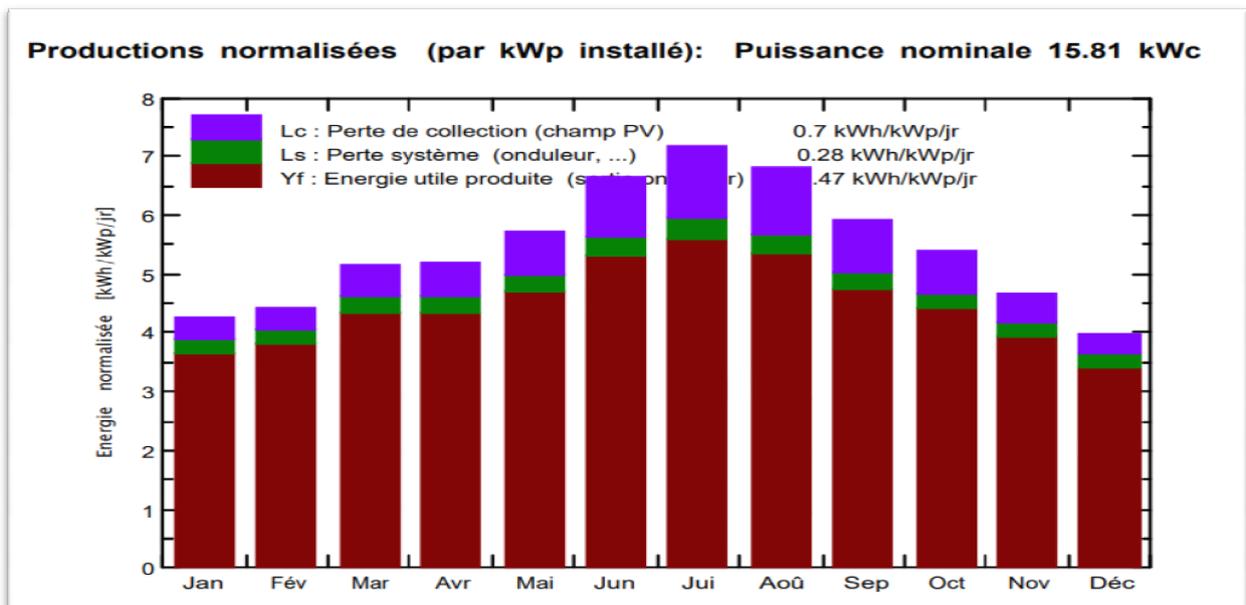
- **GlobHor** : Irradiation globale horizontale
- **T Amb** : Température ambiante
- **G lobInc** : Global incident plan capteurs
- **G lobEff** : Global effectif, pour ombrage
- **Earray** : énergie effective sortie champ
- **EGrid** : énergie injectée dans le réseau
- **EffArrR** : Effic.Eout champ/surf Brute
- **EffSysR** : Efflc système, surf brute.

D'après résultat (tableau fig3) on voit bien que l'énergie produite par le champ photovoltaïque (fig2) est proportionnelle aux valeurs d'énergie incident (Glob inc). la production de système (a la sortie de l'onduleur) est représenté sur la figure (fig4). Les pertes Lc et Ls sont les pertes correspondante au champ PV et due a l'onduleur, respectivement.



**Fig 59** : Diagramme des pertes sur une année.

Pour une étude plus complète, d'autre résultat concernât l'énergie incidente de référence sur le pan des panneaux, la distribution de l'irradiation incidente, distribution de la puissance du champ et le diagramme journalier d'Entrée/ sont représentés respectivement.

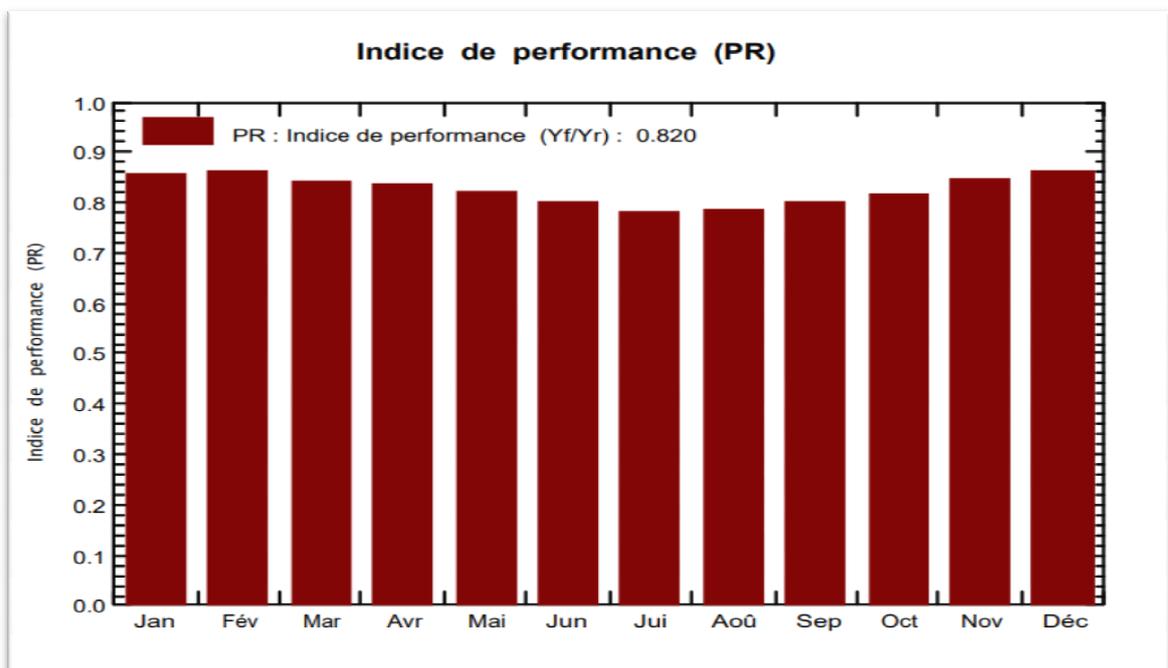


**Fig60** : Energie utile produite par la centrale PV (à la centrale de l'onduleur).

La figure (fig5) résume les pertes influençant la production du système PV à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effets d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules,... etc. Parmi celles-ci, nous remarquons que la contribution la plus importante est celle de l'onduleur, d'où l'importance de prendre en considération l'efficacité de l'onduleur.

La figure représente l'indice de performance qui est défini par le rapport de la production du système par l'énergie incidente de référence. Autrement dit, il représente l'efficacité globale

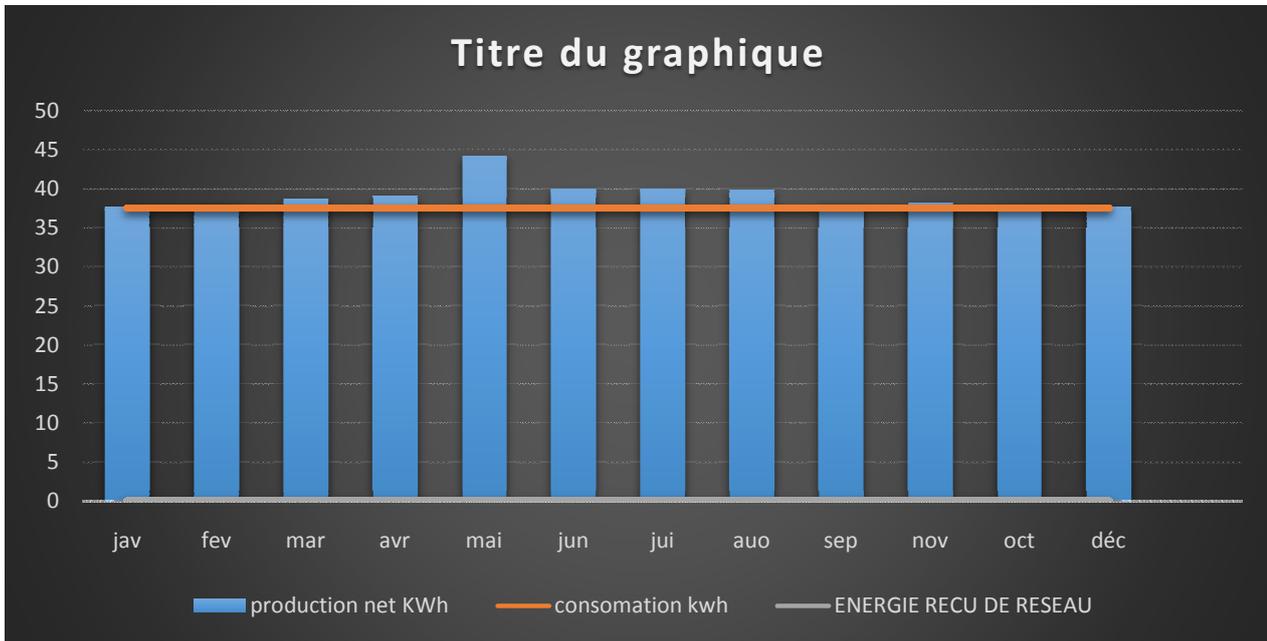
du système par rapport à ce qu'on pourrait en attendre selon la puissance installée et



peut atteindre 80% dans les meilleures installations PV.

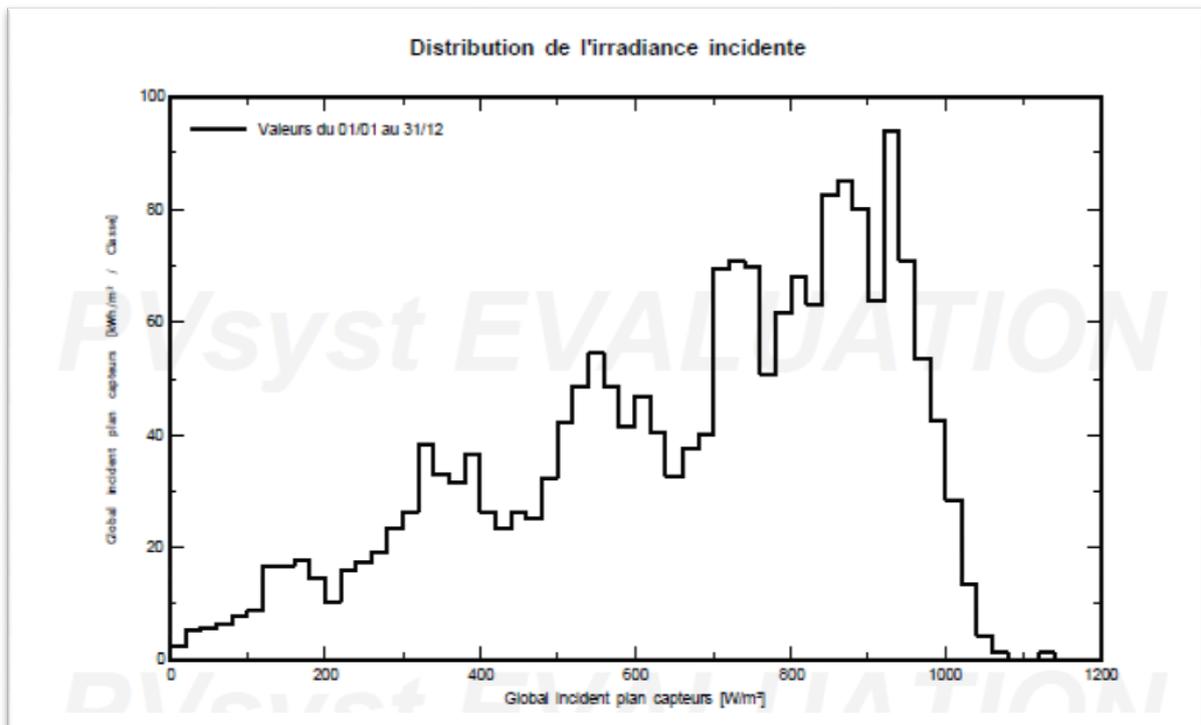
**Fig61** : Energie incidente de référence sur le plan des panneaux

La distribution de cette même énergie le long de l'année est illustrée par la figure ci-après, nous montre que notre installation a pour rendement 82.97%.



**Fig62** :la comparaisent entre l'énergie consommé et l'Énergie produit du champ et l'énergie reçu du réseau.

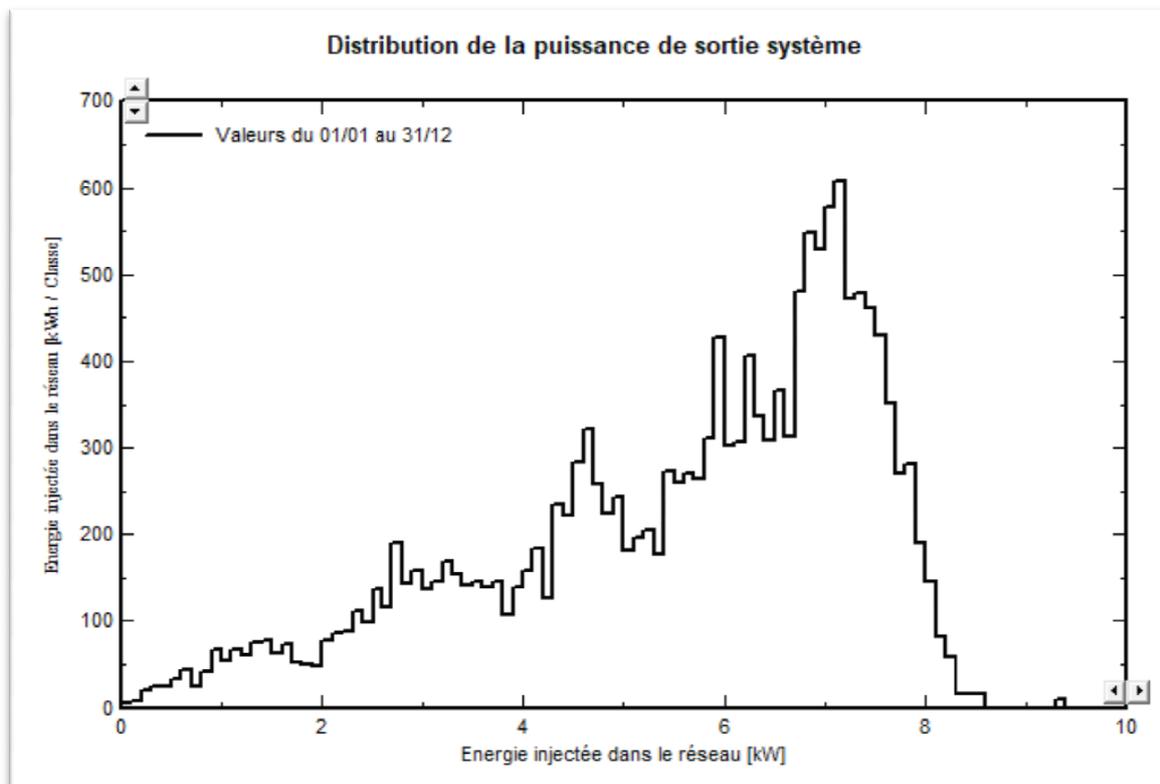
On voie bien que notre champ pv produit assez d'énergie pour combler les besoins de notre école pendant tout l'année.



**Fig 63**: Distribution annuelle de l'irradiante incidente.

---

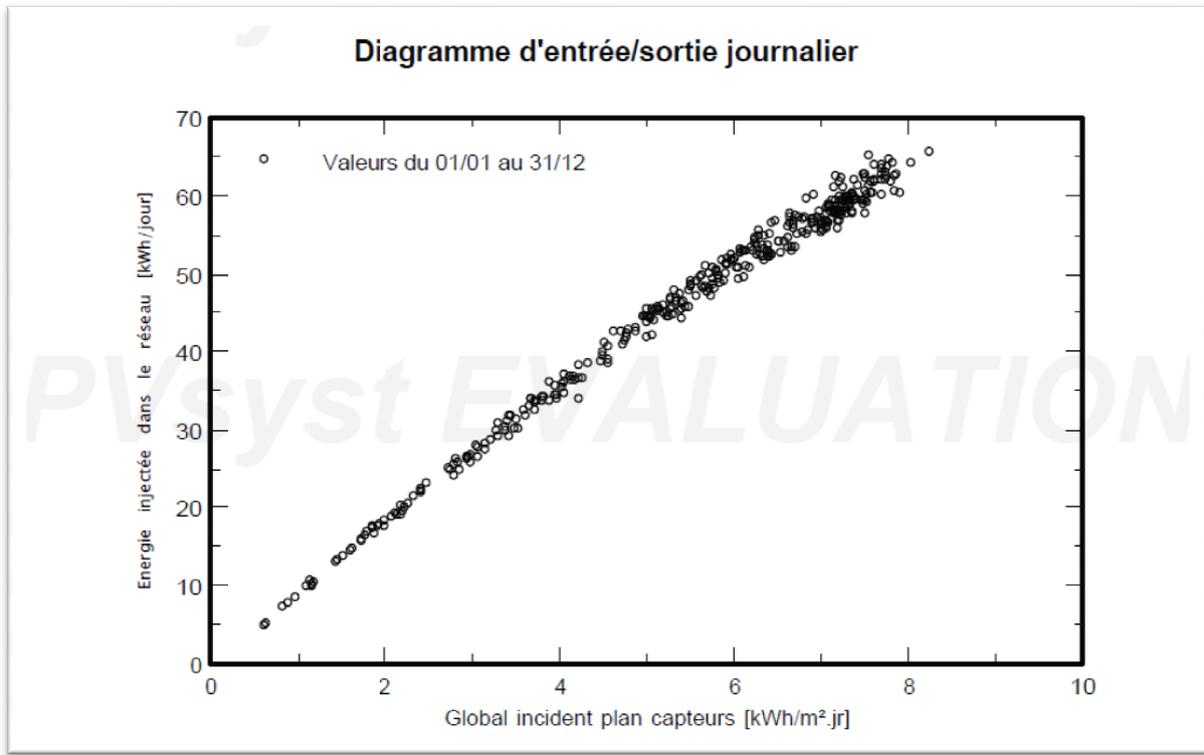
En composant les deux figures, nous remarquons que la distribution de la puissance en sortie du champ PV varie suivant la même tendance que la distribution du rayonnement incident, à une échelle différente.



**Fig 64:** Distribution annuelle de la puissance en sortie du champ PV.

En plus des bilans mensuels et annuels, le résultat le plus significatif est présenté sous forme de diagramme d'Entrée/Sortie reportant, pour chaque période, l'énergie produite en fonction de l'énergie injectée.

Les points de fonctionnement sont alignés sur une droite, dont la pente est directement liée à l'efficacité du système.



**Fig 65:** Diagramme journalier d'Entrée/Sortie du système PV.

Les points de fonctionnement sont alignés sur une droite, dont la pente est directement liée à l'efficacité du système.

### ➤ Comparaison

Afin de connaître l'installation qui va nous convenir nous allons faire une petite comparaison entre 3 installations qui ont été étudiées et dimensionnées :

**Installations 1 :** une installation qui va nous couvrir les besoins électriques seulement.

**Installations 2 :** une installation qui nous couvrira les besoins électriques et besoins de chauffages en utilisant les pompes de chaleur inverse (climatiseur).

**Installations 3 :** une installation qui couvrira les besoins de chauffage et électrique en utilisant des chauffages purement électriques.

Le tableau suivant va nous permettre de comparer entre les installations afin de connaître l'installation qui nous convient le plus et idéale pour notre école.

Type d'installation	Consommation journalière	Production crêt	Nombre de panneaux	Surface utiliser	Cout
<b>Installations 1</b>	14200KWh	4200 Wc	26	38.2 m <sup>2</sup>	385 501,12 Dz
<b>Installations 2</b>	37,596KWh	11 568Wc	51	83 m <sup>2</sup>	1 586 319,69Dz
<b>Installations 3</b>	119.31KWh	36711.48Wc	136	221 m <sup>2</sup>	4 003 519,17 Dz

D'après le tableau et les trois études nous constatons que la 3 installation est plus couteuse et consomme beaucoup de surface et ont peu facilement réduire la consommation comme nous avons fait avec l'installation 2 en utilisant des pompes de chaleur inverse l'installation 1 est moins chère mais elle ne couvrira pas les besoins de chauffage alors ça reste l'installation 2 le meilleur choix pour notre école primaire.

Notre choix a été fait car notre école avait des besoins de chauffage et d'électricité et nous ne nous pouvons pas ce passe de l'un deux ce qu'il nous pousse à ne pas prendre la première installation, et pour la troisième installation c vrais quelle couvre les deux besoins d'électricité et du chauffage mais elle prenait trop de surface pour les modules photovoltaïques 221 m<sup>2</sup> qui est trop grand et le pois nous pose des problèmes avec la toiture de notre emmeuble et coute trop chère 4 003 519,17 Dz.

L installations2 est le meilleur choix pour notre école c'est une installation qui nous couvrira les besoins électriques et besoins de chauffages en utilisant les pompes de chaleurs inverse (climatiseur) avec une surface de modules photovoltaïques acceptable de 83 m<sup>2</sup> qui ne pose pas de problème de pois ou de surface pour le toit et un coup de 1 586 319,69Dz vraiment abordable et le fait notre meilleur choix sans exceptions

---

## **III.2. Conclusion**

- Dans ce chapitre nous avons présenté plusieurs simulations étape par étape, toute en déterminant l'influence de chaque paramètre sur l'optimisation en matière d'économie d'énergie tout en assurant le meilleur confort à l'intérieur de notre école.
  - Suite aux résultats obtenus par simulation numérique, nous pouvons conclure que le champ
  - PV mono- cristallin permet une production maximale d'énergie.
- PVSYST nous aide à dimensionner notre champ PV avec l'inclinaison idéale et grâce aux données météorologiques de Meteonorm 7.2.
- Les pertes dues à la qualité de l'onduleur ont une influence importante sur l'énergie produite par le champ PV, d'où la nécessité d'opter pour une technologie permettant la meilleure efficacité annuelle possible de ce composant qui représente l'élément clé et le plus délicat d'une installation PV.
  - Notre système a un rendement de 82.97%.
  - On utilisant un système de chauffage inverse nous a permis d'économiser de l'énergie et réduire le coût.

---

# **Conclusion Générale**

---

## **Conclusion générale**

Dans cette étude nous avons tenté d'éclaircir deux notions fondamentales : d'une part la notion d'intégration du système solaire photovoltaïque dans un projet architectural qui est le sujet de cette recherche et d'autre part la notion de son impact sur la consommation énergétique qui est l'objet de cette recherche.

Les conditions climatiques influent sur le rendement des capteurs soient thermiques ou photovoltaïque ;

L'inclinaison du capteur dépend du besoin du quotidien, elle est considérée comme optimale avec : latitude + 10° ;

Les panneaux photovoltaïques proposés dans la région de Blida, considérées comme zones à climat tempéré, sont plus efficaces et productifs.

Les simulations réalisées grâce au logiciel pléiade + comfie2.3 nous a permis d'identifier les besoins en chauffage, afin d'améliorer les conditions du confort thermique à l'intérieur de notre école.

Les simulations réalisées avec PVSYS nous a permis de choisir la meilleure installation photovoltaïque qui convient à notre école.

Les panneaux photovoltaïques mono-cristallin permettent une production maximale d'énergie. PVSYS nous aide à dimensionner notre champ PV avec l'inclinaison idéale et grâce aux données météorologiques de Meteonorm 7.2.

On utilisant un système de chauffage inverse nous a permis d'économiser de l'énergie et réduire le coût.

Des simulations effectuées après modification nous a permis de trouver la solution la plus efficace pour améliorer le confort thermique du cas d'étude.

---

## bibliographie

Christophe, Le système solaire, juillet 2015.

**Source** : <https://www.google.com>

<sup>3</sup> P. Quinet, Séminaire de physique dompter l'énergie solaire.25-04-2014 Le rayonnement du soleil par IRLFrance.

<sup>4</sup> P. Quinet, Séminaire de physique dompter l'énergie solaire.25-04-2014 Le rayonnement du soleil par IRLFrance.

<http://www.blog.sonergie.fr>

Joséphine Tardieu ,L'énergie facile en quelques clics en 2011

<sup>9</sup> M. Le Paige et all , Guide d'aide à la conception bioclimatique. Architecture et Climat. (1986). Services de Programmation de la Politique Scientifique

<sup>13</sup> <http://www.suisseenergie>.

<sup>11</sup> Op site 9.

<sup>12</sup> Boutbila Hichem 2012

<sup>14</sup><http://www.connaissancedesenergies.org>

**Source** : Brimait Fouzia 2012.

**Source** : CDER

Jean Callao, L'énergie solaire photovoltaïque 2013. <sup>2</sup> Boukherse Djamil 2007.

**Source** :<http://energies-renouvelables.consoneo.com>

**Source** : Boukherse Djamil2007.

**Source** : Boukherse Djamil 2007

**Source** : <http://www.suisseenergie>.

**Source** : [www.metal-energie.fr](http://www.metal-energie.fr)

<sup>2</sup>Christophe, Le système solaire, juillet 2015.

**Source** : <https://www.google.com>

<sup>3</sup> P. Quinet, Séminaire de physique dompter l'énergie solaire.25-04-2014 Le rayonnement du soleil par IRLFrance.

<sup>4</sup> P. Quinet, Séminaire de physique dompter l'énergie solaire.25-04-2014 Le rayonnement du soleil par IRLFrance.

<http://www.blog.sonergie.fr>

<sup>13</sup> <http://www.suisseenergie>.

<sup>11</sup> Op site 9.

<sup>12</sup> Boutbila Hichem 2012

<sup>14</sup><http://www.connaissancedesenergies.org>

**Source** : Brimait Fouzia 2012.

**Source** : bourezg Sabiha-Dellili 2013

---

Jean Callao, L'énergie solaire photovoltaïque 2013. <sup>2</sup> Boukherse Djamil 2007.

**Source :** <http://energies-renouvelables.consoneo.com>

**Source :** Boukherse Djamil2007.

**Source :** Boukherse Djamil 2007

**Source :** [http:// www.suisseenergie.](http://www.suisseenergie.)

**Source :** [www.metal-energie.fr](http://www.metal-energie.fr)

Joséphine Tardieu ,L'énergie facile en quelques clics en 2011