

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8 Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2021



## MEMOIRE

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

**Domaine** : Sciences et Technologie

**Filière** : Electrotechnique

**Spécialité** : Réseaux électriques

**Par** : FARES Abdellatif  
BOUCHELAGHEM Abdelmoncef

**Sous la direction de** Pr. BOULOUH Messaoud

**Thème**

**Contribution à l'étude d'un système aérovoltaique**

Soutenu publiquement, le 14 Juillet 2021, devant le jury composé de :

M. BOULOUH Messaoud	Professeur	Univ.Guelma	Président/ Encadreur
M. FERAGA Chams-Eddine	MCA	Univ.Guelma	Examinateur principal
M. SEBBAGH Abdennour	MCA	Univ.Guelma	Examinateur

**Année Universitaire : 2020/2021**

# Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné le courage, la force et la patience durant ces années d'étude.

Nous vous remercions du fond du cœur mes **parents** qui nous ont soutenus pour réaliser ce rêve et qui nous ont toujours accompagnés dans l'atteinte de résultats encourageants.

Nous tenons particulièrement à remercier **Pr. Messaoud Boulouh** pour nous avoir encadrés et guidés dans ce projet, et pour ses précieux conseils.

Par ailleurs. Nous tenons à remercier **Mr. Azouzi Ahmidet** pour son aide et sa disponibilité durant la réalisation de ce projet.

Nous remercions aussi les membres de jury pour leurs temps et l'honneur d'examiner ce travail et pour leurs remarques importantes qui ont permis d'enrichir ce travail.

Enfin nous remercions tous les enseignements du département de Génie Electrotechnique et automatique de l'Université 08 Mai 1945 Guelma qui ont contribué à notre formation et tous les enseignements qui ont contribué à notre éducation.

# Résumé

Un système aérovoltaique est l'association entre un module photovoltaïque et un système de refroidissement des panneaux solaires par l'air.

Le système aérovoltaique est une technologie qui permet de refroidir les panneaux solaires automatiquement sans utiliser une autre source d'énergie (l'eau).

Dans ce projet on a utilisé cette technologie pour réaliser un séchoir solaire qui permet d'augmenter le rendement électrique des panneaux solaires, en valorisant la chaleur dégagée sous forme de pertes, et l'utiliser dans le séchage des produits alimentaires.

**Mots clés :** Panneaux solaires hybrides, système aérovoltaique, séchoir solaire, caisson, séchage alimentaire.

## ملخص

النظام الكهرو هوائي هو الجمع بين الوحدة الكهروضوئية و نظام التبريد بالهواء.

النظام الكهرو هوائي هي تكنولوجيا تسمح بتبريد الألواح الشمسية ذاتيا دون فقدان مصدر آخر للطاقة (الماء).

استعملنا في هذا المشروع هذه التكنولوجيا لصناعة مجفف شمسي، مميزته تتمثل في زيادة المردود الكهربائي للألواح الشمسية، و في نفس الوقت تثمين الطاقة الضائعة التي هي على شكل حرارة، و استعمال هذه الطاقة للتجفيف المنتجات الغذائية.

**الكلمات المفتاحية:** الألواح الشمسية الهجينة، النظام الكهرو هوائي، مجفف شمسي، صندوق، تجفيف الطعام

# Abstract

An aerovoltaic system is the assembly between a photovoltaic module and a system for cooling solar panels by air.

The aerovoltaic system is a technology that allows solar panels to be cooled automatically without using another source of energy (water).

In this project we used this technology to realize a solar dryer which has the advantage of increasing the electrical efficiency of solar panels, by valuing the losses which are in the form of heat, and using this energy in the drying of food products.

**Keywords:** hybrid solar panels, aerovoltaic system, solar dryer, box, food drying.

# Sommaire

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

## Chapitre I : Les énergies non renouvelables et les énergies renouvelables

I.1. Introduction.....	2
I.2. Les énergies non renouvelables.....	2
I.2.1. Définition .....	2
I.2.2. Energies fossiles.....	2
I.2.2.1. Définition .....	2
I.2.2.2. Les types des énergies fossiles .....	3
I.2.2.3. Avantages et inconvénients des énergies fossiles .....	4
I.2.3. Energies fissiles .....	5
I.2.3.1. Définition .....	5
I.2.3.2. Les types d'énergies fissiles.....	6
I.2.3.3. Les avantages et les inconvénients des énergies fissiles.....	7
I.3. Les énergies renouvelables.....	7
I.3.1. Définition .....	7
I.3.2. Evaluation des énergies renouvelables en Algérie .....	10
I.4. L'énergie solaire photovoltaïque .....	10
I.5. Conclusion .....	11

## Chapitre II : Energie solaire photovoltaïque

II.1. Introduction .....	12
II.2. Energie solaire .....	12
II.2.1. La conversion photovoltaïque .....	12
II.2.2. Principe de l'effet photovoltaïque .....	12
II.3. Cellules et modules photovoltaïques .....	14
II.3.1. Définition .....	14
II.3.2. Le rayonnement Solaire .....	14
II.3.3. Les différents types de rayonnement solaire.....	14
II.3.3.1. Le rayonnement direct .....	14
II.3.3.2. Le rayonnement diffus.....	14
II.3.3.3. Le rayonnement réfléchi.....	14

II.3.3.4. Le rayonnement global .....	15
II.3.4. Les semi-conducteurs .....	15
II.3.5. Les différents types des cellules solaires .....	16
II.3.5.1. Les cellules monocristallines .....	16
II.3.5.2. Les cellules polycristallines .....	16
II.3.5.3. Les cellules amorphes .....	17
II.3.6. Les modules photovoltaïques .....	17
II.3.7. Constitution d'un module photovoltaïque .....	19
II.3.8. Système d'énergie solaire .....	20
II.3.9. Application de l'énergie solaire .....	20
II.3.9.1. Pompage photovoltaïque .....	20
II.3.9.2. Eclairage photovoltaïque .....	22
II.4. Influence de la température et du temps .....	22
II.5. Conclusion .....	23

## **Chapitre III : Etude d'un système Aérovoltaïque**

III.1. Introduction .....	24
III.2. Définition d'un système aérovoltaïque .....	24
III.3. Le principe de fonctionnement d'un système aérovoltaïque .....	25
III.4. Les avantages et les inconvénients d'un système aérovoltaïque .....	26
III.5. La rentabilité des panneaux aérovoltaïque .....	27
III.6. L'utilisation des panneaux solaires aérovoltaïques .....	27
III.7. La réalisation d'un séchoir solaire avec un système aérovoltaïque .....	28
III.7.1. Résumé .....	28
III.7.2. Matériaux utilisés .....	28
III.7.3. Réalisation d'un séchoir solaire .....	29
III.7.3.1. Fabrication de la boîte de récupération de chaleur .....	29
III.7.3.2. Fabrication du caisson de séchage .....	34
III.8. Résultats expérimentaux .....	36
III.9. Le séchage alimentaire .....	39
III.10. Conclusion .....	41
Conclusion générale .....	43

# Liste des figures

## Chapitre I : Les énergies non renouvelables et les énergies renouvelables

<b>Figure I.1</b> : L'énergie fossile. ....	3
<b>Figure I.2</b> : Le charbon. ....	4
<b>Figure I.3</b> : l'énergie nucléaire. ....	5
<b>Figure I.4</b> : Centrale nucléaire. ....	6
<b>Figure I.5</b> : Les énergies renouvelables « solaire et éolienne ». ....	8
<b>Figure I.6</b> : Un barrage « hydraulique ». ....	9
<b>Figure I.7</b> : Centrale géothermique. ....	9
<b>Figure I.8</b> : Répartition des usages de la filière ER en Algérie. ....	10

## Chapitre II : Energie solaire photovoltaïque

<b>Figure II.1</b> : Constitution d'une cellule photovoltaïque (d'après CEA). ....	13
<b>Figure II.2</b> : Différents composants du rayonnement. ....	15
<b>Figure II.3</b> : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné. ....	15
<b>Figure II.4</b> : Raffinage de silicium. ....	16
<b>Figure II.5</b> : Cellule monocristalline. ....	17
<b>Figure II.6</b> : Cellules polycristalline. ....	17
<b>Figure II.7</b> : Cellule amorphe. ....	17
<b>Figure II.8</b> : Le module solaire. ....	18
<b>Figure II.9</b> : De la cellule au champ photovoltaïque. ....	19
<b>Figure II.10</b> : Schéma de principe du système de pompage d'eau. ....	21
<b>Figure II.11</b> : Influence de la température sur la caractéristique courant (tension) pour une irradiation de $1000 \text{ W/m}^2$ . ....	23

## Chapitre III : Etude d'un système Aérovoltaïque

<b>Figure III.1</b> : Un panneau aérovoltaïque. ....	24
<b>Figure III.2</b> : Installation d'un panneau aérovoltaïque. ....	25
<b>Figure III.3</b> : Principe de fonctionnement d'un panneau aérovoltaïque. ....	25
<b>Figure III.4</b> : (La réalisation).....	30
<b>Figure III.5</b> : (La réalisation).....	30
<b>Figure III.6</b> : (La réalisation).....	31
<b>Figure III.7</b> : (La réalisation).....	31

<b>Figure III.8 :</b> (La réalisation).....	32
<b>Figure III.9 :</b> (La réalisation).....	32
<b>Figure III.10 :</b> (La réalisation).....	34
<b>Figure III.11 :</b> (La réalisation).....	34
<b>Figure III.12 :</b> (La réalisation).....	35
<b>Figure III.13 :</b> Courbe de la puissance générée par le panneau sans système de récupération de chaleur en fonction du temps.....	36
<b>Figure III.14 :</b> Courbe de la puissance générée par le panneau raccordé au système de récupération de chaleur en fonction du temps.....	37
<b>Figure III.15 :</b> Courbe de la puissance générée par le panneau raccordé au système de récupération d'énergie thermique et envoyée vers le caisson de séchage, fonction du temps.	38
<b>Figure III.16 :</b> Séchage de la tomate. ....	39
<b>Figure III.17 :</b> Début de séchage de la menthe .....	40
<b>Figure III.18 :</b> Séchage complet de la menthe.....	41

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Les énergies non renouvelables et les énergies renouvelables

<b>Tableau I.1 :</b> La répartition de la puissance installée par application. ....	10
---	----

### Chapitre III : Etude d'un système Aérovoltaïque

<b>Tableau III.1 :</b> Mesures effectuées avec panneau seul (sans le système de récupération de chaleur). ....	36
<b>Tableau III.2 :</b> Mesures effectuées avec panneau raccordé au système de récupération de chaleur.....	37
<b>Tableau III.3 :</b> Mesures effectuées avec panneau raccordé au système de récupération d'énergie thermique et envoyé vers le caisson de séchage .....	38

# Introduction générale

Une énergie est dite renouvelable lorsqu'elle est produite par une source que la nature renouvelle en permanence, contrairement à une énergie dépendant de sources qui s'épuisent ou une source d'énergie classique (fossile, nucléaire). Les énergies primaires renouvelables sont inépuisables à très long terme, car issues directement de phénomènes naturels liés au soleil (photovoltaïque, thermique), au vent (éolienne), aux flux hydrauliques, à la chaleur naturelle de la terre (géothermique), etc. Leur consommation ne limite pas leur utilisation future. En d'autres termes, elle se reconstituent plus rapidement qu'elles sont utilisées. Les énergies renouvelables reposent sur des flux, par opposition aux énergies classiques qui s'appuient sur des stocks issus de gisements limités de combustibles fossile (pétrole, gaz, charbon) ou fissiles (uranium, plutonium).

Les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité propre et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoires.

L'intérêt de ce travail est l'étude d'un système aérovoltaïque et la réalisation d'un séchoir solaire qui fonctionne avec ce système hybride pour exploiter le maximum de l'énergie solaire. Pour mener à bien cette étude, nous avons réparti le travail en trois chapitres.

Dans le premier chapitre nous présenterons toutes les sources d'énergies non renouvelables et renouvelables ainsi les avantages et les inconvénients de chaque énergie.

Le deuxième chapitre, sera consacré à l'énergie solaire photovoltaïque et l'influence de la température sur le courant et la tension qui produisent par le panneau solaire.

Enfin le troisième chapitre, sera dédié à l'étude du système aérovoltaïque, son domaine d'utilisation et la réalisation d'un séchoir solaire.

**Chapitre I**

**Les énergies non  
renouvelables et les énergies  
renouvelables**

## **I.1. Introduction**

Près de 70% de l'énergie électrique provient des centrales thermiques fonctionnant avec des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel. Toute cette énergie conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre. La réserve de cette énergie est très limitée (moins de cent ans au rythme actuel de consommation) ceci a conduit à s'appuyer sur les énergies renouvelables qui sont des énergies qui peuvent être régénérées naturellement.

Dans ce chapitre nous exposons l'énergie non renouvelable et les deux principaux types de cette énergie, ainsi on a parlé de l'énergie renouvelable et leur type, aussi l'évaluation de cette énergie et à la fin en a concentré sur l'énergie solaire.

## **I.2. Les énergies non renouvelables**

### **I.2.1. Définition**

Sur notre planète l'homme dispose de très vieilles sources d'énergie bien cachées, il y a des milliers d'années des matières organiques des végétaux , des animaux marines , se sont décomposés au fond de la mer, des millions d'années pour que des matières organiques se transforment en pétrole et on gaz en énergie fossile puis les arbres des forêts entières se sont décomposés à leur tour génération après génération , loin tout, au fond de la terre des millions d'années pour que des forêts se transforment en énergie fossile, oui des millions d'années pour connaitre le pétrole, le gaz naturel et le charbon. Des énergies qui ne se renouvellerons plus jamais, ainsi il y a un autre type qui s'appelle l'énergie fissile, cette énergie s'utilise dans les centrales nucléaires, elle vient par exemple cette énergie de l'uranium minéral qui va ensuite enrichir pour l'utilisation dans la production d'électricité.

### **I.2.2. Energies fossiles**

#### **I.2.2.1. Définition**

Désigne l'énergie produite à partir de composés issus de la décomposition sédimentaire des matières organiques, c'est à dire principalement composés de carbone. Elle englobe le pétrole, le gaz naturel et le charbon. [1]



**Figure I.1 :** L'énergie fossile.

### **I.2.2.2. Les types des énergies fossiles**

Dans cette énergie on distingue trois types principaux par ordre le plus utilisé dans le monde :

- **Le pétrole**

Le pétrole est une énergie fossile principalement employée dans le cadre de la fabrication de plastique et de carburant. Couvrant près de 35 % des besoins énergétiques, elle demeure aujourd'hui la 1re source énergétique mondiale. Près de 100 millions de barils de pétrole sont ainsi produits chaque jour. On estime que ses réserves devraient s'épuiser d'ici 50 ans environ.[2]

- **Le gaz**

Plus de 110 000 m<sup>3</sup> de gaz naturel sont consommés chaque seconde dans le monde pour chauffer les logements ou simplement cuisiner. L'épuisement des ressources en gaz est donc rapide et son utilisation ne devrait plus être possible d'ici 70 ans. [2]

- **Le charbon**

En raison de son accessibilité et de la compétitivité de son prix, le charbon est une énergie fossile en constante augmentation. La consommation de charbon a ainsi été

multipliée par deux en à peine 30 ans et devrait devenir la source énergétique la plus utilisée au monde à l'horizon 2030.

Les réserves actuelles de charbon permettraient de répondre aux besoins énergétiques pendant 150 ans environ. Les rejets massifs de CO<sub>2</sub> inhérents à sa combustion posent cependant de gros problèmes environnementaux.[2]



**Figure I.2 :** Le charbon.

### **I.2.2.3. Avantages et inconvénients des énergies fossiles**

Les avantages et inconvénients des énergies fossiles varient en fonction de leur nature.

Le gaz naturel est une énergie qui est peu polluante (que ce soit lors de son extraction ou de sa consommation), qui est facilement exploitable et ne nécessite aucune transformation. D'un autre côté, le gaz naturel entraîne des risques d'explosion aussi bien au niveau industriel que domestique.

Le charbon et le pétrole ont l'avantage d'être bien répartis sur la planète et en grande quantité. De plus, le pétrole permet la création de nombreux produits

dérivés communément utilisés. Cependant, l'extraction et la consommation de pétrole et de charbon sont écologiquement polluantes. Aussi, ces carburants sont régulièrement la source de conflits internationaux (en particulier le pétrole).

Dans l'ensemble, les énergies fossiles ont l'inconvénient commun d'être présentes en quantité limitée sur terre et ne sont pas renouvelables. Ce ne sont donc pas des énergies sur lesquelles nous pourrions compter indéfiniment. [3]

### I.2.3. Energies fissiles

#### I.2.3.1. Définition

L'énergie fissile désigne l'énergie produite à partir des sources primaires épuisables, grâce à l'exploitation de l'uranium ou du plutonium. Des sources qui n'émettent pas de gaz à l'effet de serre mais produisant des déchets radioactifs.

On pourrait également classer la géothermie dans cette catégorie, car la chaleur de la terre provient effectivement d'une activité nucléaire se produisant au sein de notre planète mais la géothermie est traditionnellement classée parmi les énergies renouvelables. [4]



**Figure I.3 :** l'énergie nucléaire.

## I.2.3.2. Les types d'énergies fissiles

- **L'énergie nucléaire**

L'énergie nucléaire dépend d'un combustible fissile, l'uranium dont le minerai est contenu dans le sous-sol de la terre. Elle permet de produire de l'électricité dans les centrales nucléaires appelées centrales électronucléaires grâce à la chaleur dégagée par la fission d'atomes d'uranium.

Les centrales nucléaires se composent de quatre parties principales :

- **Le bâtiment** contenant le réacteur dans lequel a lieu la fission.
- **La salle des machines** où est produite l'électricité.
- **Les départs de lignes électriques** qui évacuent et transportent l'électricité.
- **Les tours de refroidissement** uniquement en bord de rivière.

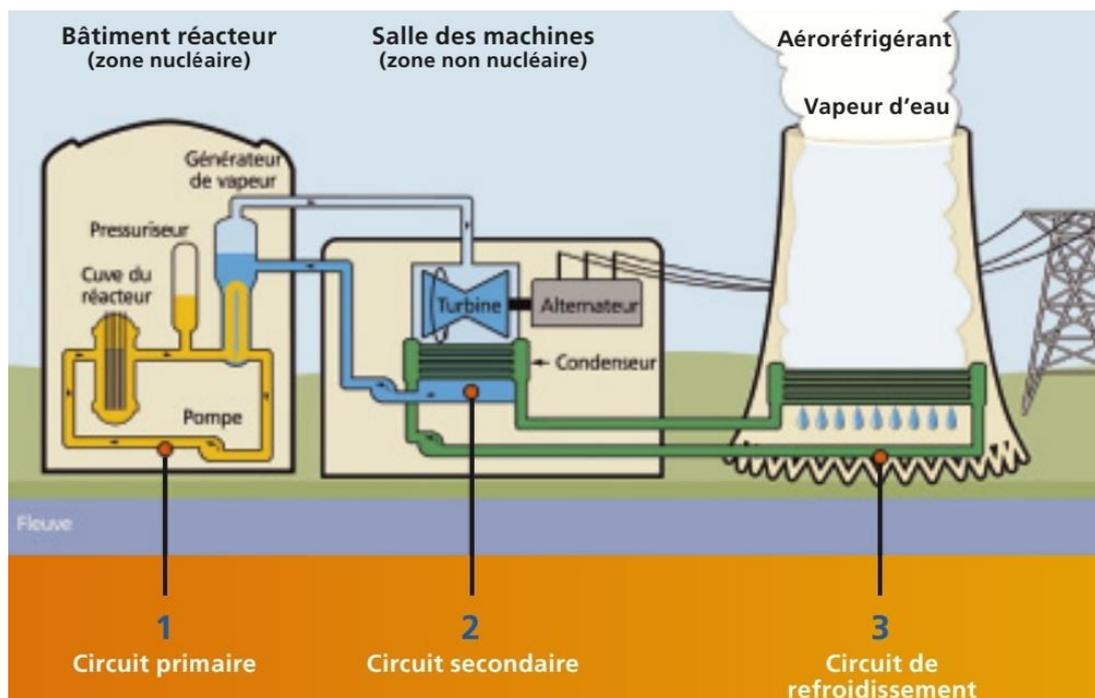


Figure I.4 : Centrale nucléaire.

Les centrales nucléaires utilisent deux matériaux principaux :

- **L'uranium** : est un métal radioactif présent dans le sous-sol de la terre avant de pouvoir de l'utiliser comme combustible dans les réacteurs des centrales nucléaires, il faut l'extraire et le transformer. [5].
- **Plutonium** : est un élément chimique de symbole Pu et de numéro atomique 94. C'est un métal dur, blanc qui ressemble à du fer. L'industrie nucléaire utilise le plus souvent le Pu 239 Pu 240 et le Pu 241. [6].

### I.2.3.3. Les avantages et les inconvénients des énergies fissiles

L'énergie nucléaire présente des avantages certaines :

- Elle ne rejette pas de CO<sub>2</sub>, mais de la vapeur d'eau.
- Elle est disponible toute l'année.
- Elle n'est pas chère à produire et permet de produire dans des grandes quantités.
- Les installations nécessaires à sa production ont une durée de vie assez longue, de 40 ans environ.

Pour autant, le nucléaire engendre aussi des problèmes. Parmi les inconvénients les plus souvent cités, on trouve celui de la gestion des déchets nucléaires. Encore radioactifs, ceux-ci sont nocifs pour la santé.

Pareillement, en cas d'accident, les conséquences sur la santé peuvent être graves, comme l'a montré l'exemple de la centrale nucléaire de Tchernobyl, on plus récemment à Fukushima (2011). Autres inconvénients :

- Les coûts d'installation d'entretien et de démantèlement lorsque les centrales nucléaires deviennent trop anciennes et les coûts de construction élevés.
- Les sources d'uranium qui n'existent pas en quantité illimitée. [7].

## I.3. Les énergies renouvelables

### I.3.1. Définition

Généralement, les énergies renouvelables sont des formes finales d'énergie électrique qui désignent un ensemble de moyens de production de l'énergie électrique à partir des sources naturelles ou des ressources théoriquement illimitées à

l'échelle humaine ou qui peuvent être régénérées naturellement et disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées. [8]

Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- L'énergie solaire : est une source d'énergie propre et moderne qui dépend de la lumière du soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques.
- L'énergie éolienne : est une source d'énergie qui dépend du vent. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité dans des éoliennes appelées aussi aérogénérateurs, grâce à la force du vent.



**Figure I.5 :** Les énergies renouvelables « solaire et éolienne ».

- L'énergie hydraulique (hydroélectricité) : est une source d'énergie renouvelables qui permet de produire de l'électricité dans les centrales hydroélectrique grâce à la force et la circulation de l'eau dans les barrages.



**Figure I.6 :** Un barrage « hydraulique ».

- La biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que le biogaz...) : L'énergie issue de la biomasse est une source d'énergie renouvelable qui dépend du cycle de la matière vivante végétale et animale. [5].
- La géothermie : est une source d'énergie qui dépend de la chaleur de la terre pour chauffer l'eau et produire de l'électricité. Cette énergie permet de l'utiliser d'une manière durable et continue lorsqu'elle est bien exploitée.



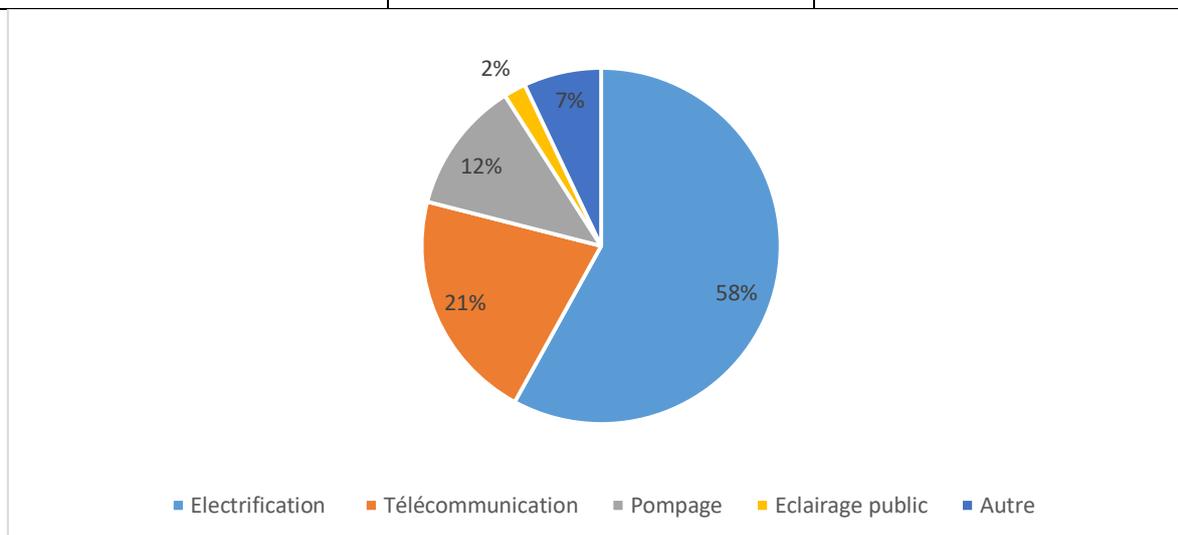
**Figure I.7 :** Centrale géothermique.

### I.3.2. Evaluation des énergies renouvelables en Algérie

Le potentiel de l'énergie renouvelable en Algérie est le plus important d'Afrique du Nord. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays. Parmi les objectifs affichés par les pouvoirs publics, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 5% de l'électricité totale produite. [9]

**Tableau I.1** : La répartition de la puissance installée par application.

Application	Puissance installée (KW)	Pourcentage (%)
Electrification	1353	58
Télécommunication	498	21
Pompage	288	12
Eclairage public	45	2
Autres	166	7



**Figure I.8** : Répartition des usages de la filière ER en Algérie.

### I.4. L'énergie solaire photovoltaïque

Le soleil a une grande partie d'énergie ou on peut dire autrement dit les photons, les rayons de la lumière que le soleil fournit traversent la couche d'ozone vers la terre avec des charges des photons, Comme tous les êtres vivants on a besoin des rayons de soleil pour

survivre. Il y a beaucoup de méthode pour utiliser cette énergie, pour recueillir cette dernière on a une technologie qui s'appelle le photovoltaïque "l'effet photovoltaïque" cette dernière est inventée par le physicien "Alexandre Edmond Becquerel" en 1839.

L'énergie solaire photovoltaïque devient une énergie électrique par la transformation d'un rayonnement solaire à partir des cellules des panneaux photovoltaïque, quand les photons de lumière incident sur les cellules permettent sous certaines circonstances la libération d'un électron, donc la production d'une énergie électrique à courant continu.[10]

Les cellules photovoltaïques sont principalement fabriquées avec des matériaux semi-conducteurs, ces derniers sont produits à partir du silicium. Ces matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière [10], aussi il y a des matériaux spéciaux au niveau des couches des cellules.

L'avantage de Cette énergie c'est inépuisable et aussi disponible d'une très grande quantité dans la nature [10]. Cette énergie s'appelle l'énergie verte.

## **I.5. Conclusion**

On peut conclure qu'une énergie est dite renouvelable lorsqu'elle provient de sources que la nature renouvelle en permanence, par opposition à une énergie non renouvelable dont les stocks s'épuisent. Surnommées « énergies propres » ou « énergies vertes », leur exploitation engendre très peu de déchets et d'émissions polluantes mais leur pouvoir énergétique est beaucoup plus faible que celui des énergies non renouvelables.

Les énergies non renouvelables (énergies fossiles et fissiles) sont des énergies primaires qui, après leur utilisation, ne peuvent pas être reconstituées à l'échelle de temps humaine. Le pétrole, le gaz naturel et le charbon sont des énergies non renouvelables, plus nocif pour les plantes et les animaux, nocif pour notre belle planète.

Le prochain chapitre sera consacré à l'énergie solaire photovoltaïque.

**Chapitre II**

**Energie solaire**

**photovoltaïque**

## II.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est la conversion d'une partie de la lumière du soleil en électricité par une cellule solaire. Cette conversion d'énergie peut être réalisée par les cellules photovoltaïques. Ceci est basé sur un phénomène appelé effet photovoltaïque.

Dans ce chapitre nous exposons l'énergie solaire, le principe de l'effet photovoltaïque et cellules et modules photovoltaïque ainsi l'influence de la température et du temps.

## II.2. Energie solaire

Pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique, on a besoin d'une cellule photovoltaïque, l'assemblage des cellules crée un module photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque, qui transforme l'énergie solaire en énergie électrique d'après un phénomène appelé « l'effet photovoltaïque ».

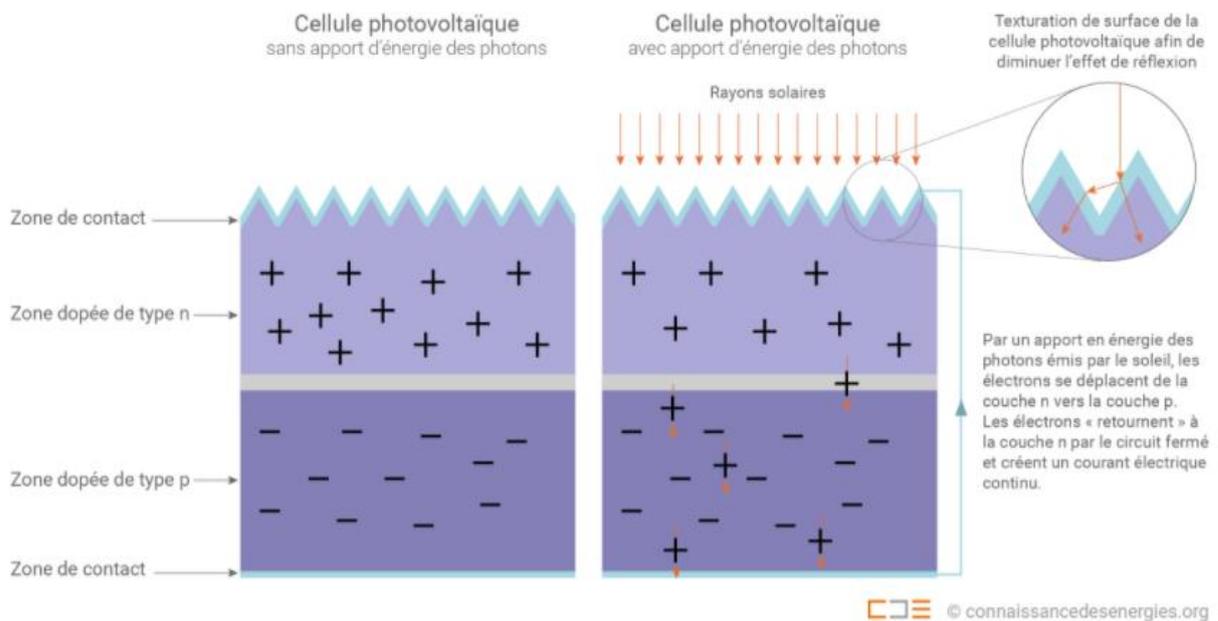
### II.2.1. La conversion photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'une des couches de la cellule est dopée par le phosphore ce dernier possède plus d'électron sur sa périphérie que le silicium, un atome de silicium compte 4 électrons périphériques et un atome de phosphore compte 5 électrons périphériques, alors l'une de ces électrons ne participe pas aux liaisons il est donc libre de se déplacer, le dopage introduit dans cette couche des atomes susceptibles de libérer des électrons mobiles donc on parle de couche «N» parce que la charge mobile est négative. L'autre couche de semi-conducteur dopé par le bore, le bore est un atome compte 3 électrons périphériques il manque un électron pour la réalisation des liaisons donc il va capter un électron dans le reste des matériaux, cet électron laisse derrière lui un «trou» d'électrons qui est mobile est de charge positive, le dopage donc introduit dans cette couche des atomes susceptibles de libérer des trous mobiles, on parle de couche «P» car la charge mobile est positive.

### II.2.2. Principe de l'effet photovoltaïque

Les électrons et les trous se déplacent par diffusion dans ces deux couches, au voisinage de leur interface la diffusion entraîne une recombinaison entre les trous et les électrons, les électrons et les trous mobiles s'annulent, ce phénomène produit une zone non neutre électriquement d'atome de phosphore chargé positivement et une zone non neutre

électriquement d'atome de bore chargé négativement, on obtient un champ électrique au sein de semi-conducteur et cette région est appelé "jonction PN". Ce champ électrique sa compagne de l'apparition d'une différence de potentiel électrique entre la zone "N" et la zone "P", lorsque les rayons de soleil est frappent une cellule photovoltaïque sur laquelle on a disposé deux borne, les photons de la lumière transmette leur énergie au électrons qui sont arraché des atome dans les quelle il laisse des trous, les électrons et les trous ainsi formé vont avoir tendance à ce recombinié mais lorsque le phénomène au lieu dans au voisinage a la jonction PN le champ électrique va au contraire contribue à les charge positive et négative, les électrons sont repoussé vers la couche "N" et les trou vers la couche "P", les électrons cherchons à ce combiné avec les trous sont alors obligé de passer par circuit extérieur pour rejoindre les trous créant ainsi un courant électrique continue que on appelle le photocourant, les électrons sont délivré sous la tension crée dans la jonction PN que on appelle la phototension, le produit des deux correspond à la puissance électrique délivré par la cellule qui convertis ainsi directement une partis de l'énergie lumineuse en énergie électrique le rapport entre l'énergie de la lumière et l'énergie électrique est appelle le rendement de la conversion de la cellule, on peut introduire tout cette comme la Figure II.1 suivante :



**Figure II.1 :** Constitution d'une cellule photovoltaïque (d'après CEA).

## **II.3. Cellules et modules photovoltaïques**

### **II.3.1. Définition**

On appelle une cellule photovoltaïque, un convertisseur qui permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique, le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés du rayonnement solaire et celles des semi-conducteurs.

### **II.3.2. Le rayonnement Solaire**

Bien que le rayonnement de la surface du soleil soit pratiquement constant, au moment où il atteint la surface de la terre il devient fortement variable, et cela est dû à son absorption et à sa dispersion dans l'atmosphère terrestre. [11]

### **II.3.3. Les différents types de rayonnement solaire**

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé vers le sol, On distingue plusieurs composantes :

#### **II.3.3.1. Le rayonnement direct**

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire incident sur un plan donné provenant d'un angle solide centré sur le disque solaire. [11]

#### **II.3.3.2. Le rayonnement diffus**

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. [11]

#### **II.3.3.3. Le rayonnement réfléchi**

C'est la fraction du rayonnement incident diffusée ou réfléchi par le sol et les nuages. Ce terme étant généralement réservé au sol, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possible. Par définition, le corps noir possède un albédo nul. [11]

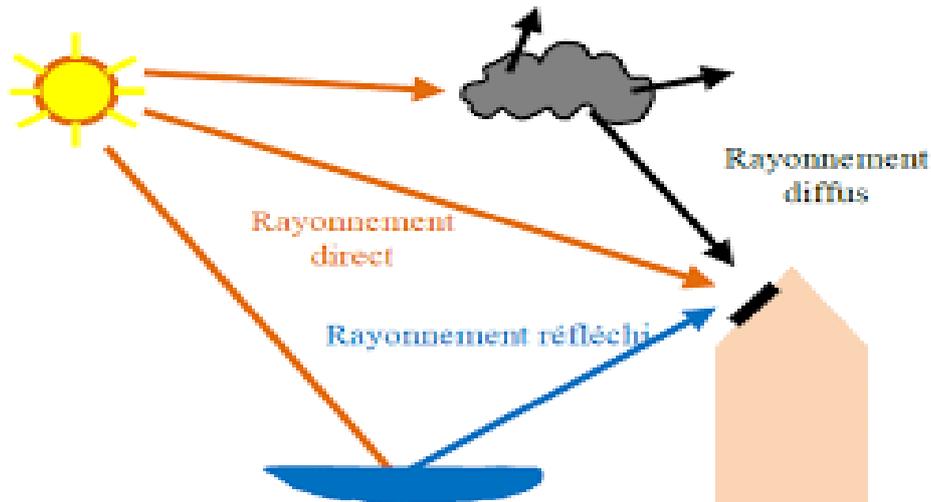


Figure II.2 : Différents composants du rayonnement.

#### II.3.3.4. Le rayonnement global

Rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des rayonnements : Direct, Diffus et Réfléchi. [11]

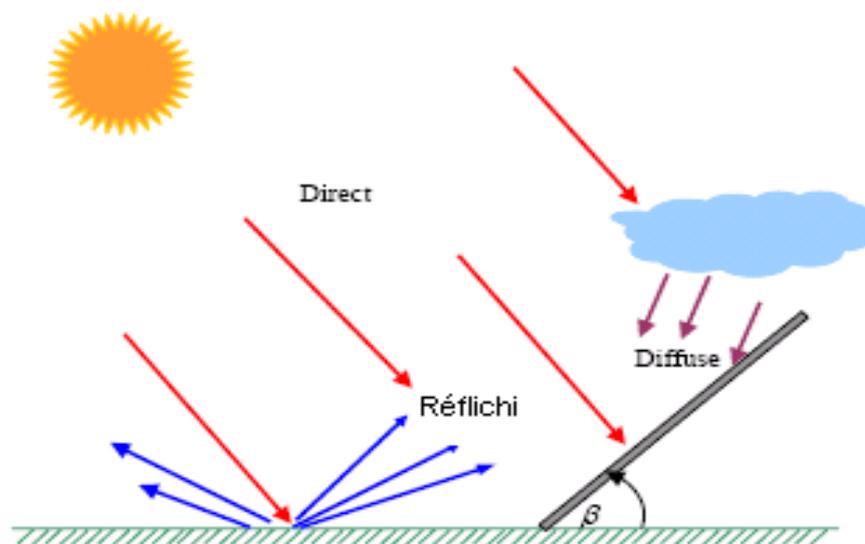


Figure II.3 : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.

#### II.3.4. Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des éléments naturels. Sensibles à la lumière visible et invisible (rayon ultra-violet, infrarouge...), Ils conduisent le courant nettement moins bien que les métaux, mais d'autant mieux que la température est plus élevée (Exemples types : le

silicium ‘‘Si’’, le germanium ‘‘Ge’’). La bonne conductivité électrique des métaux est due à la présence des électrons libres du gaz électronique qui parcourent tout le réseau métallique. La filière la plus avancée sur le plan technologique et industriel est la réalisation de cellules à base de silicium. Ce dernier est l'élément le plus utilisé car il est peu coûteux et il se trouve en très grande quantité sur terre : il constitue 28% de l'écorce terrestre, sous forme de silice ou dioxyde de silicium ‘‘SiO<sub>2</sub>’’ contenu dans le quartz ou le sable Figure II.4.a, parfaitement stable et non toxique. Le silicium métallurgique (MG-Si) résulte de la transformation de la silice à l'intérieur d'un four à arc Figure II.4.b et c dont on extrait l'oxygène. Cette réaction est appelée réduction carbothermique.[11]

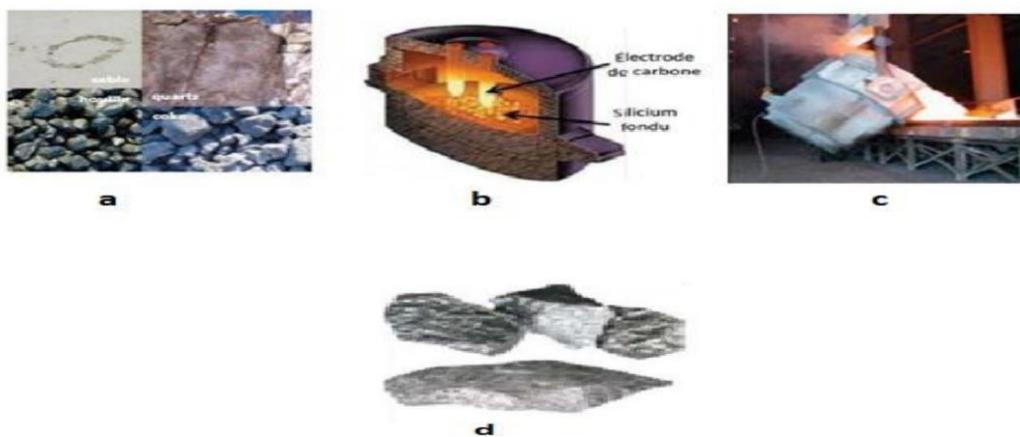


Figure II.4 : Raffinage de silicium.

### II.3.5. Les différents types des cellules solaires

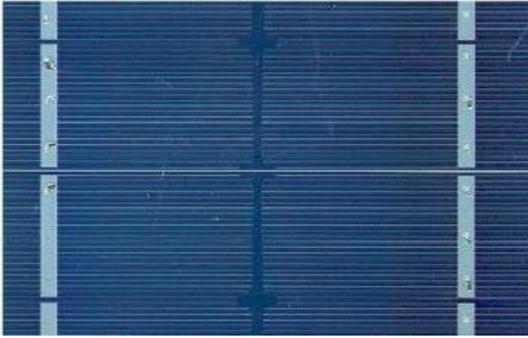
Il existe trois grands types des cellules : monocristalline, polycristalline, amorphe.

#### II.3.5.1. Les cellules monocristallines

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique. Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher.

#### II.3.5.2. Les cellules polycristallines

Le silicium polycristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que le monocristallin). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser.



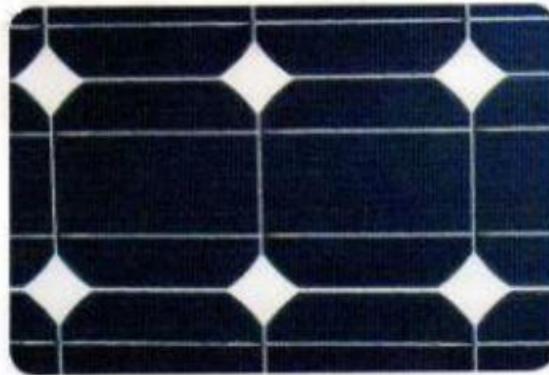
**Figure II.5 :** Cellule monocristalline.



**Figure II.6 :** Cellules polycristallines.

### II.3.5.3. Les cellules amorphes

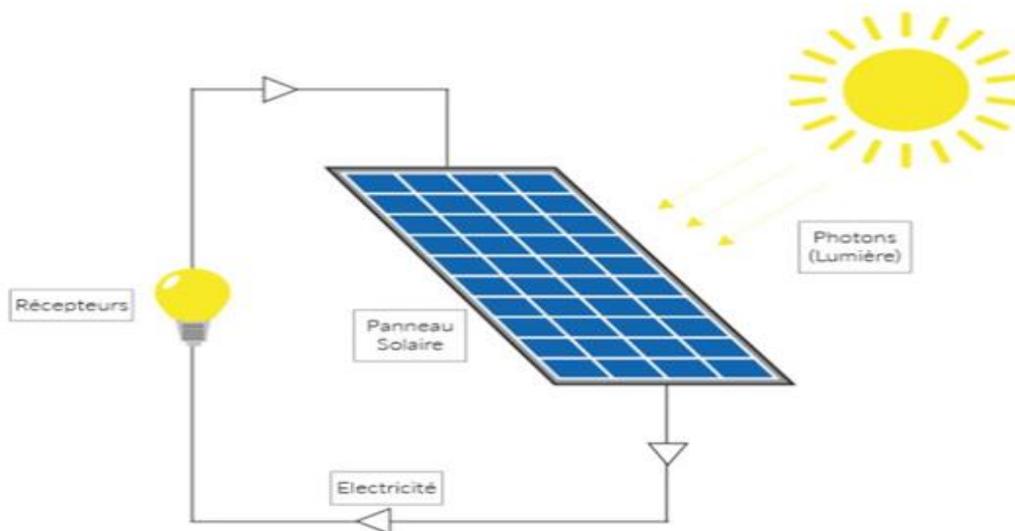
Le silicium absorbe le rayonnement solaire jusqu'à 100 fois mieux qu'en état cristallin ; les cellules sont constituées par des couches très minces.[12]



**Figure II.7 :** Cellule amorphe.

### II.3.6. Les modules photovoltaïques

Le module solaire est l'association de plusieurs cellules photovoltaïques en vue d'obtenir la tension et le courant souhaités, on rencontre l'association série, l'association parallèle, l'association série parallèle. Le module ayant une grande superficie par rapport à la cellule permet de capter une bonne quantité de rayonnement solaire en vue de produire l'électricité qui sera utilisée pour la charge des batteries ou pour l'alimentation directe.



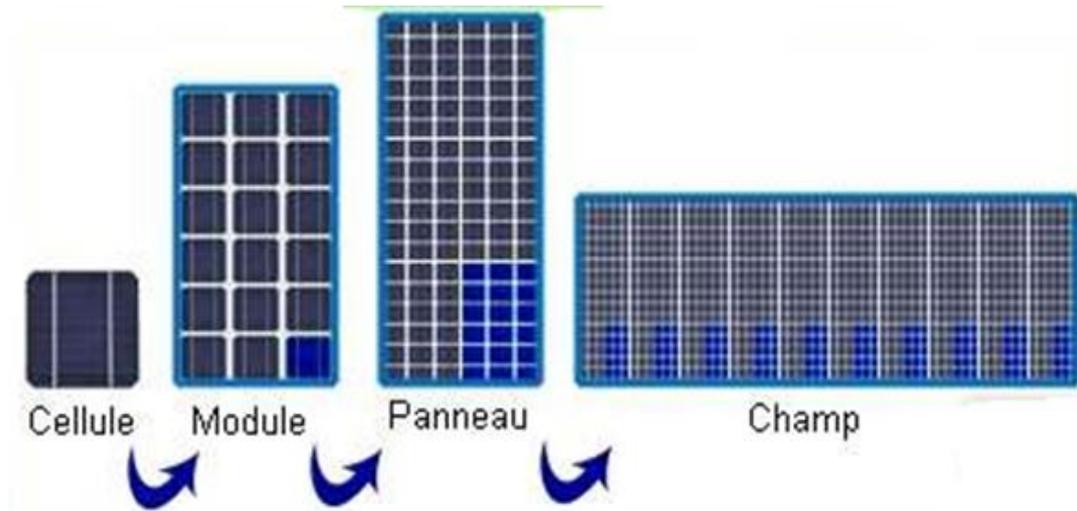
**Figure II.8 :** Le module solaire.

Le module photovoltaïque à la base est constitué par le silicium, le silicium est un matériau semi-conducteur de nature fragile. C'est pour cette raison qu'on recouvre le module par une couche de verre solide de plus en plus fine grâce aux progrès technologiques, capable de supporter la grêle et les variations climatiques. Le cadre est composé d'aluminium.

Sous le module, il est possible de trouver soit une seconde plaque de verre soit un polymère durci conçu pour résister aux intempéries.

Les modules photovoltaïques se présentent le plus couramment sous la forme de panneaux rectangulaires bleu foncé ou noirs. [13]

Un module photovoltaïque est caractérisé par sa puissance (en Watt crête), sa tension (en volt) et le courant (en ampère), sa durée de vie est d'environ 35 ans, et la majorité des constructeurs la garantissent pour une durée de 20 à 25 ans, pour optimiser le rendement, il est conseillé de veiller à l'entretien des modules car la poussière et l'ombrage entrave le bon fonctionnement des modules. [13]



**Figure II.9 :** De la cellule au champ photovoltaïque.

La cellule est l'élément principal de la chaîne, l'association de plusieurs cellules conduit à un module photovoltaïque et l'association de plusieurs panneaux conduit à un champ photovoltaïque.

### II.3.7. Constitution d'un module photovoltaïque

Un module est constitué des cellules associées en série/parallèle encapsulées et protégées en face avant du module.

La face avant du module doit être en verre ayant les caractéristiques suivantes :

- Bonne transparence
- Résistance à l'impact et à l'abrasion (grêle, jet de pierres, vent de sable, nettoyage au chiffon).
- Étanchéité à l'humidité.

#### L'enrobage des cellules ayant les caractéristiques suivantes

- Transparence (à l'avant)
- Souplesse pour «enrober» les cellules et connexions.
- Adéquation aux indices optiques du verre et des cellules.

Le matériau généralement utilisé est de l'Acétate d'éthylène-vinyl (EVA).

#### En Face arrière, un matériau ayant les caractéristiques suivantes

- Protection mécanique contre le poinçonnement et les chocs (risque de mise à nu et de bris des cellules).
- Étanchéité à l'humidité.
- Bonne évacuation de la chaleur.

- La face arrière est généralement réalisée soit en verre (modules dits «bi-verre») soit en composite tedlar/alu/tedlar (plus fragile).

### **Un Boitier de connexion qui permet**

- Le repérage des sorties (+, -, éventuellement point milieu),
- La connexion et le passage des câbles de liaison,
- Le logement des diodes de protection,
- L'étanchéité à l'humidité.

### **Un joint périphérique**

Il évite les pénétrations d'humidité entre la face avant et la face arrière.

### **Un cadre**

- Il permet le montage et la fixation mécanique, tout en participant si nécessaire à la rigidité du module. Il doit résister à la corrosion (inox, aluminium...) et la visserie doit être choisie afin d'éviter des problèmes de corrosion.

Le cadre est généralement en aluminium ou en aluminium anodisé avec une visserie en matériau inoxydable. [14]

## **II.3.8. Système d'énergie solaire**

Le système solaire est un système constitué d'éléments aptes à transformer une partie de l'énergie solaire reçue, directement ou indirectement en énergie électrique.

Il existe deux différents types de systèmes solaires :

- **Système solaire à conversion directe**

Il s'agit de transformer l'énergie contenue dans la lumière du soleil en énergie électrique avec l'utilisation d'une seule technologie nommée photopile (l'effet photovoltaïque).

- **Système solaire à conversion indirecte**

Il s'agit de transformer l'énergie contenue dans la lumière du soleil en énergie électrique avec l'intermédiaire de deux technologies au minimum. [14]

## **II.3.9. Application de l'énergie solaire**

### **II.3.9.1. Pompage photovoltaïque**

La différence entre un système de pompage solaire et un système de pompage classique est l'utilisation de panneaux photovoltaïques, d'un convertisseur et d'une pompe adéquate. Les pompes utilisées peuvent être de surfaces ou immergées selon la condition d'utilisation.

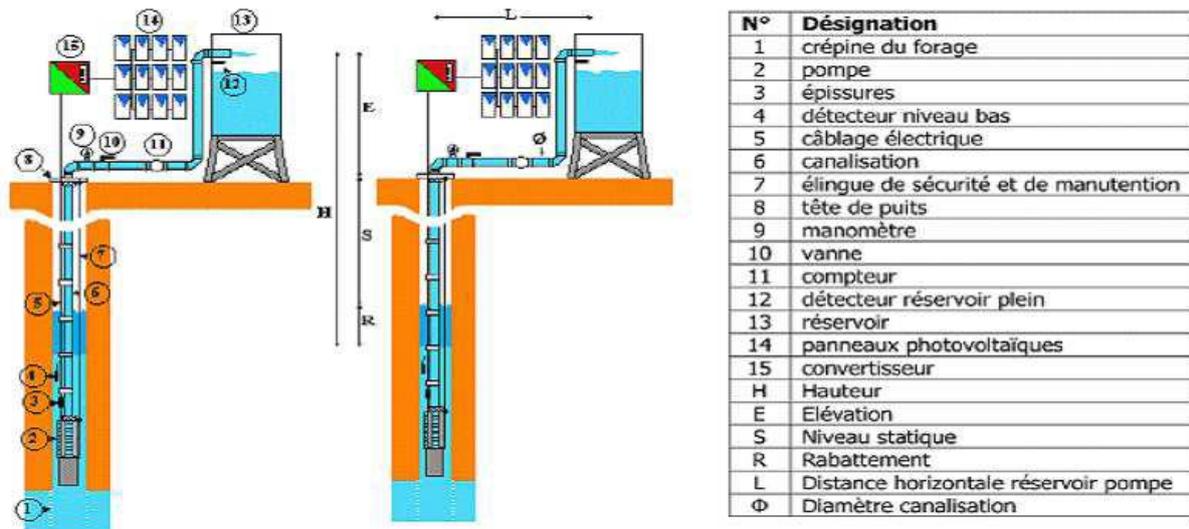


Figure II.10 : Schéma de principe du système de pompage d'eau.

Le pompage photovoltaïque se présente fondamentalement de deux façons selon qu'elle fonctionne avec ou sans batterie. Alors que cette première utilise une batterie pour stocker l'électricité produite par les modules, le pompage sans batterie, plus communément appelée (pompage au fil du soleil), utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation.

- **Le pompage avec batterie**

Permet de s'affranchir des aléas du soleil et des problèmes d'adaptation entre générateur photovoltaïque et motopompe. L'utilisation des batteries influe sur le coût global du système. Les batteries sont fragiles et sont souvent les premiers éléments qui auront besoin d'être changés. Elles nécessitent en outre un entretien constant et un contrôle rigoureux de leur charge et décharge. Les contrôleurs utilisent pour régulariser la charge et la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non fiables. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30 % de la production d'énergie.

- **Le pompage au fil du soleil**

Permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système avec batterie. Le stockage se fait de manière hydraulique, l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement, dans un réservoir au-dessus du sol. Elle est ensuite distribuée par gravité au besoin. Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours.

Compte tenu du cout additionnel du système avec batterie, des problèmes de maintenance des batteries et de l'obligation de les remplacer après 3 à 5 ans d'usage, la solution au fil du soleil est présentement préférée. Néanmoins, celle-ci présente certains inconvénients qu'il ne faut pas négliger :

Il est impossible de pomper au-dessous d'un certain niveau d'éclairement, la pompe ne pouvant être amorcée sous une certaine puissance fournie. Il y a donc perte d'énergie au début et à la fin de la journée.

- Parce que le rendement des pompes diminue en dehors de leur puissance nominale de fonctionnement, le système nécessitera l'utilisation d'un adaptateur de charge. Ceci est particulièrement nécessaire pour les pompes volumétriques.

- Le débit de la pompe ne sera pas constant et le rabattement du puits ou du forage peut être trop élevé durant certaines périodes de la journée.[14]

### **II.3.9.2. Eclairage photovoltaïque**

Un capteur solaire, placé sur le toit, reçoit la lumière du soleil et la convertit en électricité. Cette électricité est une tension continue d'une vingtaine de volts, qui varie en fonction des conditions d'éclairement : plus il y a de lumière, plus on produit d'énergie. Bien entendu, la nuit la production est arrêtée.

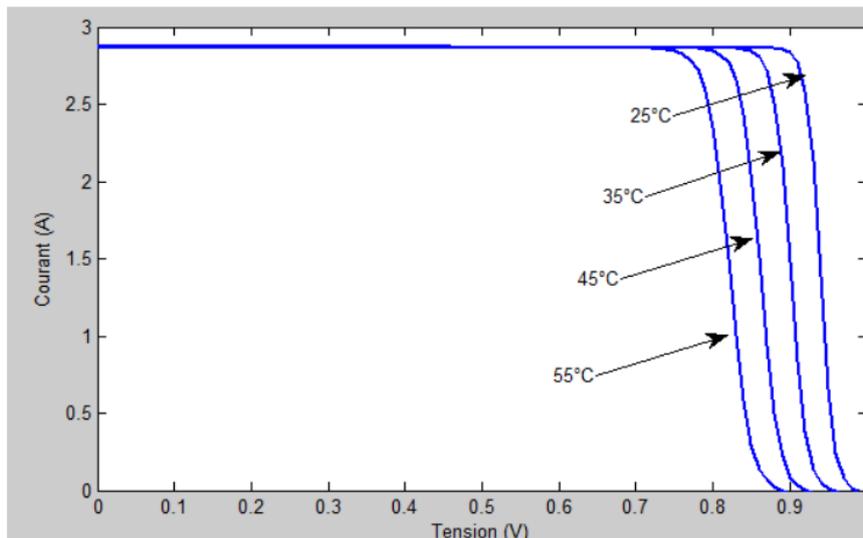
L'énergie du panneau est envoyée à un régulateur qui la transforme en une tension stable de 12 volts.

Les 12 volts du régulateur sont utilisés pour charger une batterie qui accumule l'énergie au fur et à mesure de sa production.

Le régulateur joue également un rôle de distributeur, il délivre 12 volts pour la consommation mais c'est lui qui détermine d'où vient l'énergie : soit directement du panneau (s'il y a de la lumière) soit de la batterie si le panneau ne produit pas (la nuit par exemple).[14]

## **II.4. Influence de la température et du temps**

La température est un paramètre très important dans les panneaux solaires parce qu'elle influence sur les caractéristiques courant-tension d'une cellule photovoltaïque par rapport au temps, une cellule photovoltaïque convertit l'énergie radiative en énergie électrique avec un rendement compris entre 5% et 20% selon la technologie, Le reste du rayonnement est converti en grande partie sous forme de chaleur, la fraction résiduelle étant réfléchi. Ainsi, une cellule photovoltaïque mal ventilée voit sa température monter très rapidement.[15]



**Figure II.11** : Influence de la température sur la caractéristique courant (tension) pour une irradiation de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

La figure II.11 représente la caractéristique courant-tension en fonction de la température, on observe sur la figure quand la chaleur augmente la tension diminue et le courant reste presque le même (le courant change seulement si l'irradiation solaire change) et automatiquement la puissance change par ce que la puissance est égale le produit de tension multiplié fois le courant.

## II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué le phénomène de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique d'après ce qu'on appelle le système photovoltaïque, on a bien défini la conversion et le principe de fonctionnement du système photovoltaïque, ainsi on a montré trois types de cellules (monocristalline, poly cristalline, amorphe) et ensuite on a parlé de la constitution d'un module photovoltaïque et après on a montré les applications de l'énergie solaire qui sont le pompage photovoltaïque et l'éclairage public, et enfin on a constaté que la température influence sur la caractéristique courant-tension et le courant n'est pas affecté par la variation de température.

**Chapitre III**  
**Etude d'un système**  
**Aérovoltaique**

### III.1. Introduction

Le système aérovoltaïque est un système hybride : photovoltaïque-thermique, donc c'est un nouveau système qui est développé pour produire de l'énergie électrique avec un rendement énergétique élevé en récupérant l'une énergie thermique qui peut être utilisée pour le séchage des aliments et la conservation des aliments secs ou le chauffage des locaux qui nécessitent une température ambiante chaude tels que : les habitations, les poulaillers... etc.

Dans ce chapitre nous étudions ce système hybride et nous réalisons un séchoir solaire pour sécher des aliments.

### III.2. Définition d'un système aérovoltaïque

L'aérovoltaïque est un système qui s'agit d'une technologie hybride, qui permet la production d'énergie électrique et la production d'énergie thermique.

Le panneau aérovoltaïque est un mixte de panneaux solaires photovoltaïques qui produisent l'électricité et de panneaux solaires pour la production de la chaleur.



Figure III.1 : Un panneau aérovoltaïque.

### III.3. Le principe de fonctionnement d'un système aérovoltaïque :

Le système aérovoltaïque combine deux types de technologies :

- Les panneaux photovoltaïques : exposés aux rayons solaires, ces panneaux permettent la production d'électricité par un système de conversion de l'énergie solaire. Cette dernière peut alors être consommée par son producteur.
- Les panneaux thermiques : la chaleur créée par les rayons lumineux est récupérée par des capteurs thermiques positionnés sur la face interne des panneaux photovoltaïques. L'air chaud ainsi récupéré est généralement employé pour chauffer l'habitation par exemple.

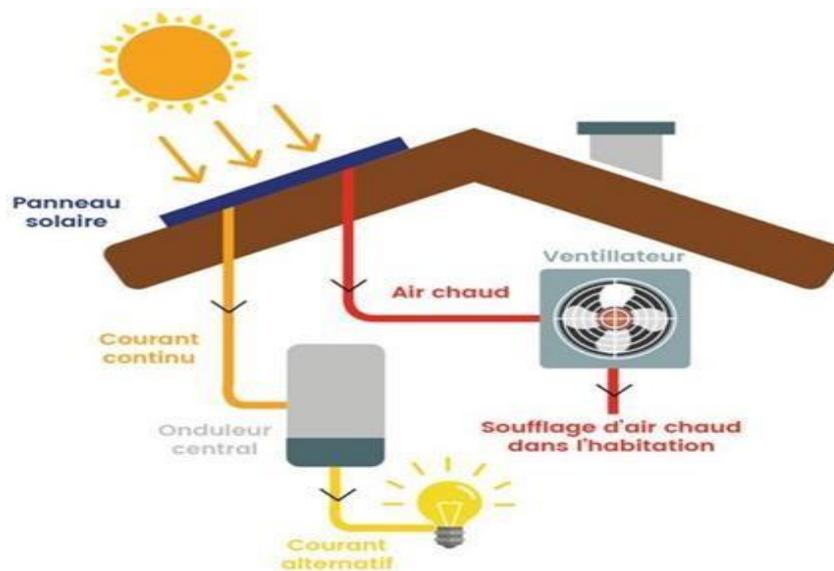


Figure III.2 : Installation d'un panneau aérovoltaïque.

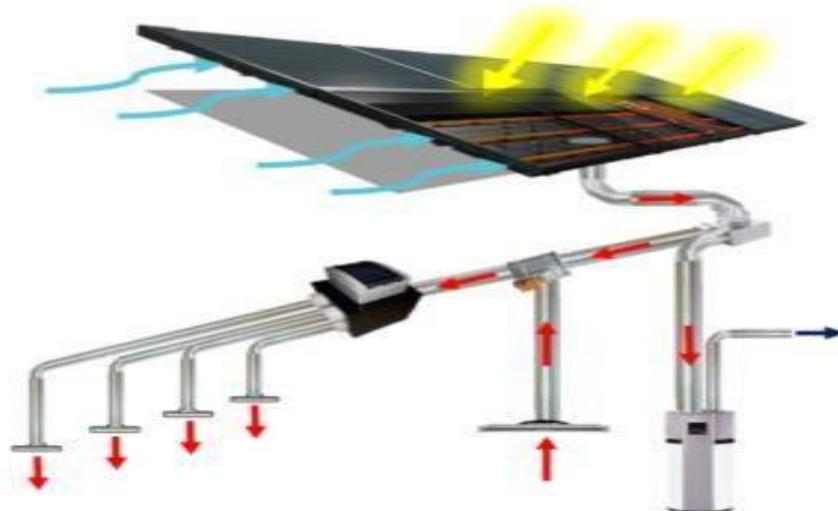


Figure III.3: Principe de fonctionnement d'un panneau aérovoltaïque.

Ce système hybride permet ainsi d'optimiser les deux faces d'un même panneau solaire et de multiplier les sources naturelles d'énergie. [16].

#### III.4. Les avantages et les inconvénients d'un système aérovoltaique

Un panneau solaire hybride offre de très nombreux avantages pour quelques inconvénients. D'abord, le rendement énergétique de ce type de panneau solaire est bien supérieur aux panneaux solaires photovoltaïques. Aussi, vous économisez de l'espace en combinant deux technologies complémentaires sur une même surface.

Le panneau solaire aérovoltaique a plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer :

- **Un rendement énergétique intéressant** : le rendement énergétique est de 70 à 90% contre 12 à 20% pour les panneaux solaires photovoltaïques.
- **Une production d'énergie supérieure** : un panneau solaire hybride permet de générer jusqu'à deux fois plus d'énergie pour une maison individuelle et jusqu'à quatre fois plus pour un bâtiment collectif.
- **L'optimisation de l'espace** : économisez l'espace en combinant la production électrique et thermique sur une même surface.
- **Une technologie non polluante** : l'électricité photovoltaïque n'est pas génératrice de pollution. Il s'agit donc d'une solution entièrement écologique s'inscrivant dans les démarches de préservation de notre planète.
- **Une source d'énergie illimitée** : l'énergie solaire est inépuisable, gratuite et naturelle.
- **Une génération d'économies** : le solaire hybride permet de réaliser des économies pendant 20 ans, soit tout au long de la durée de vie du panneau.
- **Un coût d'énergie compétitif** : les subventions nécessaires au solaire se réduisant drastiquement, le prix de revente de l'électricité par les professionnels baisse également.

Comme toute solution, celle-ci compte également certains inconvénients. Le principal est sa sensibilité en fonction des températures qui font varier son rendement.

- **Une sensibilité en fonction des températures** : plus la température augmente, plus son rendement baisse.

- **Un rendement limité** : la stabilisation de la température du système n'offre pas une production solaire thermique optimale.
- **Une dépendance au rayonnement solaire** : aucune énergie solaire n'est produite en l'absence de rayonnement (nuit). [3].

### III.5. La rentabilité des panneaux aérovoltaique

Pour bien comprendre comment des **panneaux aérovoltaiques** vont permettre de réaliser des économies d'énergie, nous allons parler ici de rendement. Dans le monde des énergies renouvelables, le rendement des panneaux solaires (toutes technologies confondues) est exprimé en pourcentage. Si votre panneau photovoltaïque présente un rendement de 20 %, cela signifie que 20 % des rayons solaires captés seront convertis en électricité. Ce chiffre revêt donc une importance capitale et il est influencé par de nombreux paramètres. Tout comme pour le photovoltaïque, la performance du système aérovoltaique va dépendre de votre lieu d'habitation. Plus l'ensoleillement est important, plus la production d'énergie sera avantageuse. Mais le rendement de l'aérovoltaique est encore plus spécifiquement influencé par la qualité d'isolation de votre logement. À ce titre, un logement neuf répondant aux normes RT2012 (la réglementation thermique 2012) permettra des économies de chauffage supérieures à celles réalisées dans un logement ancien. D'autre part, l'installation d'un ballon thermodynamique en complément du système aérovoltaique permettra de faire chauffer votre eau sanitaire et par conséquent d'accroître le rendement de votre système. [16]

### III.6. L'utilisation des panneaux solaires aérovoltaiques

Comme on l'a déjà exposé le principe de l'**aérovoltaique** est de refroidir le panneau solaire pour augmenter son rendement, en même temps de valoriser la chaleur qui est dégagée par le panneau solaire et l'utiliser dans les domaines suivants :

- Séchoir solaire, qui fait l'objet de notre projet.
- Rafraîchir une habitation en été.
- Chauffage d'une maison en hiver.
- Des utilisations industrielles.
- Ventilation par insufflation.

## III.7. La réalisation d'un séchoir solaire avec un système aérovoltaique

### III.7.1. Résumé

Le but de notre travail est de réaliser un séchoir solaire pour récupérer la chaleur fournie par le panneau solaire, afin de sécher des aliments ou des herbes qui ont des vertus médicinales. Cela permet d'augmenter le rendement de panneau solaire par rapport au panneau solaire classique (système photovoltaïque).

Le panneau solaire hybride est constitué d'une boîte fixée sous le panneau solaire classique, qui est incliné d'un angle de  $41^\circ$ , spécifique au territoire de Guelma. Cette boîte est utilisée pour récupérer la chaleur dissipée par le bas du panneau, donc elle sert comme un système de refroidissement du panneau solaire. Elle est raccordée à un caisson de séchage par un tuyau. Ce caisson est construit à partir de la partie de congélation d'un réfrigérateur parce qu'elle a une bonne isolation thermique.

### III.7.2. Matériaux utilisés

- **La boîte sous le panneau solaire**

Matériau utilisé	Bois
Dimensions intérieures :	
Longueur	1,02 m
Largeur	0,667 m
Hauteur	0,05 m.
Isolation :	Polystyrène Papier aluminium
Volume utile :	0,0340 m <sup>2</sup> .
Surface de séchage :	0,6803 m <sup>2</sup> .
Rapport surface/volume	20,0088.

- **Le caisson de séchage**

Matériau utilisé	Partie de congélation récupérée d'un réfrigérateur.
Dimensions extérieures :	
Hauteur	0,48 m
Largeur	0,70 m
Profondeur	0,62 m
Dimensions intérieures :	
Hauteur	0,335 m
Largeur	0,59 m
Profondeur	0,425 m
Isolation :	Spéciale d'un réfrigérateur.
Volume utile :	0,0840 m <sup>3</sup> .
Dimensions :	0,567 m * 0,425 m.
Surface de séchage :	0,1976 m <sup>2</sup> .
Rapport surface/volume	2,3523.

- **Les ventilateurs**

Deux ventilateurs sont utilisés :

- Un ventilateur de 1A/ 12V est installé dans la boîte pour récupérer la chaleur dégagée par le panneau solaire (système de refroidissement).
- Un ventilateur (ventilateur turbine) de 2.5 A / 12V est installé dans le caisson de séchage pour assurer une bonne circulation d'air chaud dans tous les coins caisson.

### III.7.3. Réalisation d'un séchoir solaire

#### III.7.3.1. Fabrication de la boîte de récupération de chaleur

Pour construire la boîte, on a utilisé des chutes de bois et de contreplaqué de récupération d'une menuiserie. Les étapes de fabrication de la boîte sont décrites comme suit :

1. Dans cette boîte on a placé des planches pour former un circuit de circulation d'air en serpentant, cette forme serpentée permet de récupérer le maximum possible de chaleur et d'assurer une bonne circulation d'air (Figure III.4).



Figure III.4

2. La façade extérieure de la boîte est peinte en noir pour capter le maximum de chaleur et reboucher les pores (voir Figure III.5).

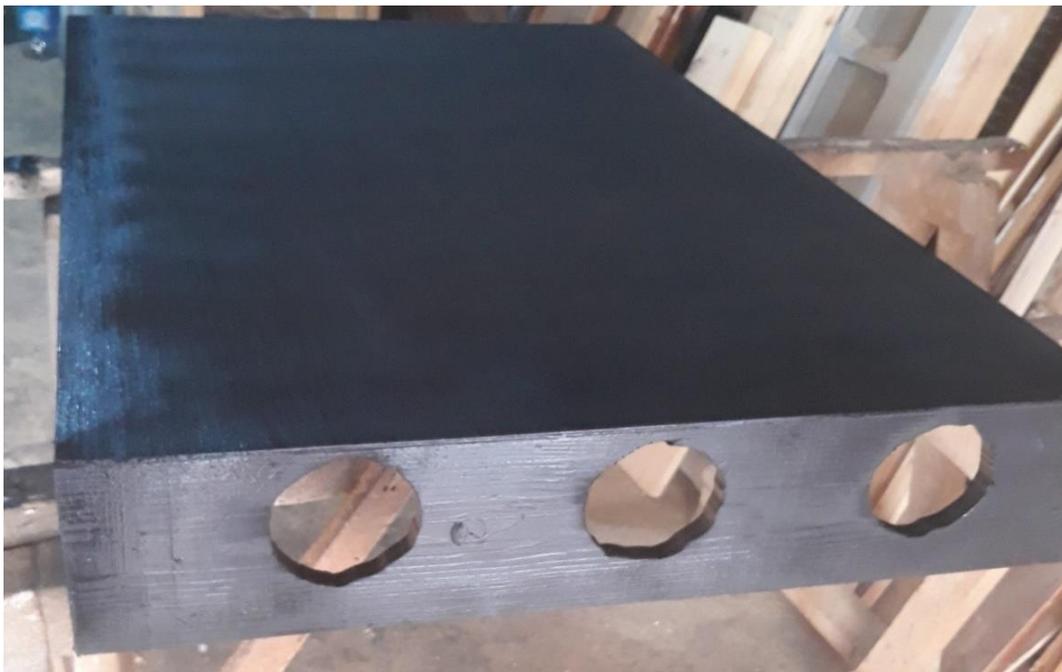


Figure III.5

3. La façade intérieure de la boîte est couverte avec du polystyrène (Figure III.6), et on colle des feuilles d'aluminium sur le polystyrène pour assurer une bonne isolation thermique (Figure III.7).

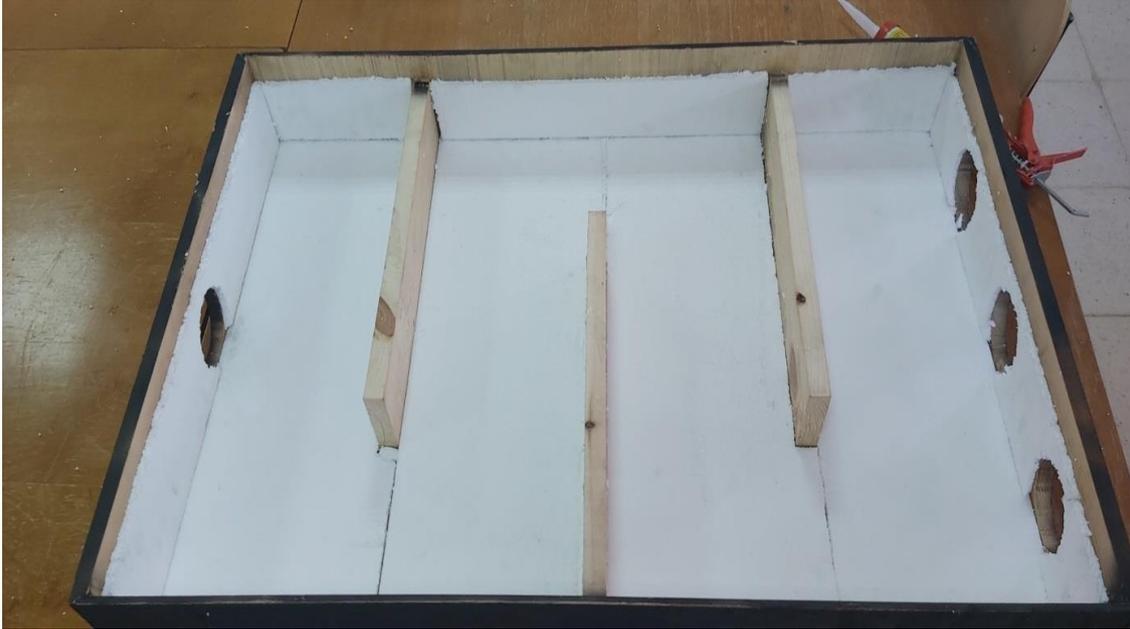


Figure III.6



Figure III.7

4. Un ventilateur (de récupération d'un ordinateur) est placé dans la direction opposée des ouvertures en bas de la boîte, pour aspirer l'air chaud vers le caisson de séchage (Figure III.8).



**Figure III.8**

5. Le panneau solaire est placé en dessus de la boîte comme le montre la figure III.9.



**Figure III.9**

### III.7.3.2. Fabrication du caisson de séchage

1. On découpe un réfrigérateur défectueux pour séparer la partie de congélation qui sera utilisée comme un caisson de séchage.
2. On perce un trou de rayon de 4.5 cm, sur la partie inférieure, du congélateur pour placer un ventilateur (qu'on utilise d'habitude pour le refroidissement des véhicules légers) qui va turbiner l'air chaud à l'intérieur du congélateur pour éviter le pourrissement des produits alimentaires durant le séchage (Figure III. 10).



Figure III.10

3. La façade extérieure du congélateur est peinte en noir pour assurer que la lumière ne puisse pas entrer à l'intérieur de du caisson de séchage (Figure III.11), parce que la lumière affecte la composition des produits que nous voulons sécher.



Figure III.11

4. On raccorde la boîte au caisson de séchage avec un conduit d'évacuation flexible en aluminium, et en fin, on branche les deux ventilateurs en parallèle avec le panneau solaire avec un interrupteur coupe-fil (pour chaque ventilateur) pour faciliter l'utilisation du séchoir solaire. La Figure III.12 présente la forme finale de notre séchoir solaire.



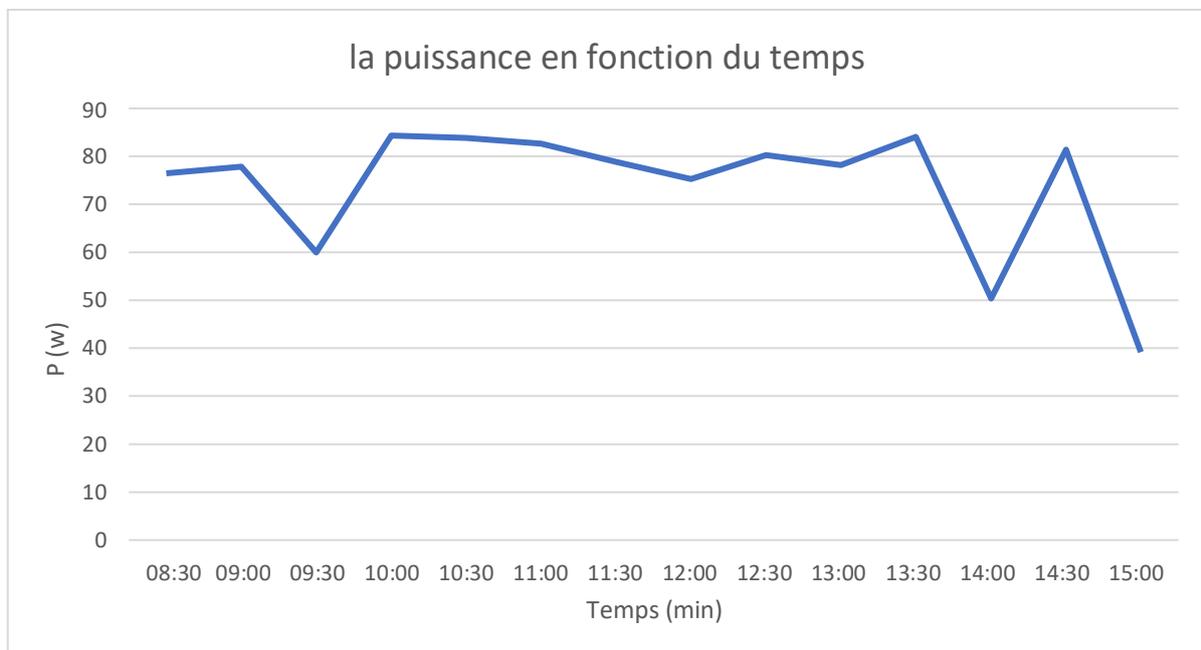
Figure III.12

### III.8. Résultats expérimentaux

Une fois le séchoir réalisé, on a procédé à la mesure de : la température ambiante, la tension et le courant développé par le panneau solaire sans le système de récupération de chaleur de ce dernier et on calcule de la puissance générée.

**Tableau III.1** : Mesures effectuées avec panneau seul (sans le système de récupération de chaleur)

Temps (min)	T(c°) ambiante	U(v)	I(A)	P(w) calculée
8:30	26.9	19.80	3.85	76.46
9:00	24.6	18.73	4.16	77.91
9:30	35.7	18.52	3.24	60.00
10:00	34.2	18.3	4.61	84.36
10:30	34.8	18.40	4.56	83.90
11:00	35.2	18.33	4.51	82.66
11:30	35.6	18.1	4.36	78.91
12:00	37.6	18.28	4.12	75.31
12:30	37.5	18.17	4.42	80.31
13:00	35.3	18.19	4.3	78.21
13:30	35	18.28	4.6	84.08
14:00	36.7	18.38	2.74	50.36
14:30	35.6	18.42	4.42	81.41
15:00	34.1	18.16	2.16	39.22

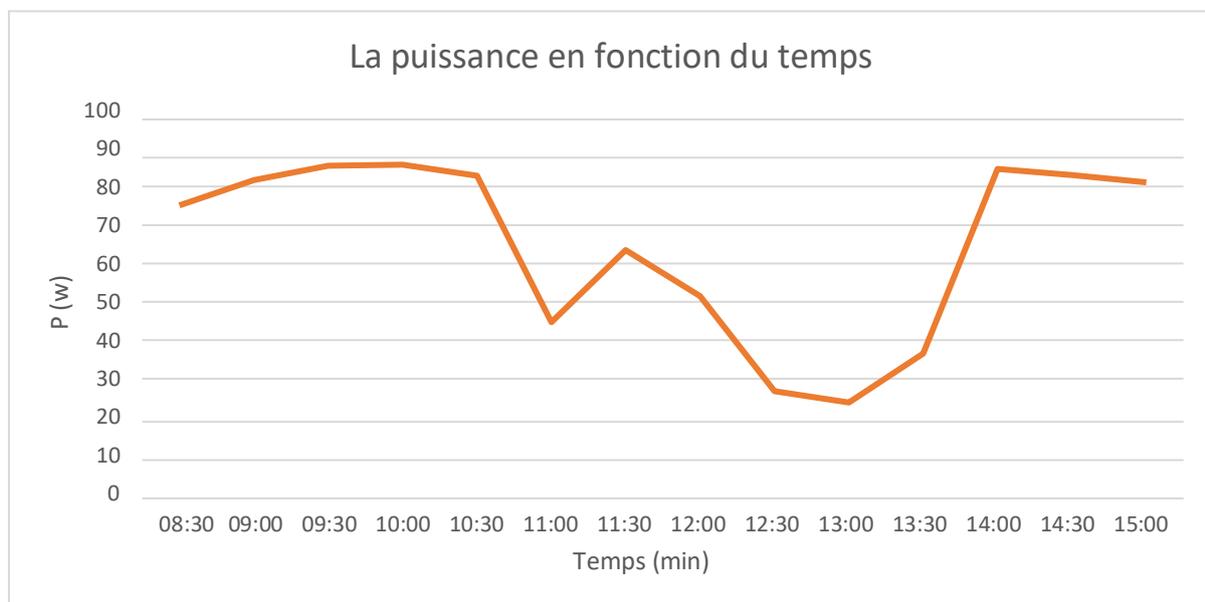


**Figure III.13** : Courbe de la puissance générée par le panneau le sans système de récupération de chaleur en fonction du temps.

La deuxième expérience consiste à la mesure des températures ambiante et celle du caisson de séchage, et la mesure de la tension et du courant développé par le panneau solaire avec le système de refroidissement (le caisson) sans mise en marche des ventilateurs, puis on calcule la puissance générée par le panneau.

**Tableau III.2 :** Mesures effectuées avec panneau raccordé au système de récupération de chaleur.

Temps (min)	T(c°) ambiante	T(c°) dans la boîte de séchage	U(v)	I(A)	P(w) calculée
8:30	24	33.7	18.87	3.98	75.10
9:00	24.8	32.8	18.7	4.37	81.71
9:30	35.8	33	18.66	4.58	85.46
10:00	33	33.8	18.4	4.66	85.74
10:30	36.1	38.1	18.22	4.55	82.90
11:00	35.1	37.8	18.32	2.44	44.70
11:30	32.7	34.3	18.3	3.47	63.50
12:00	36.5	32.9	18.2	2.83	51.50
12:30	36.2	34.2	17.83	1.50	26.74
13:00	35.9	36.6	18.00	1.32	23.76
13:30	34.8	33.1	18.12	2.18	39.50
14:00	37.9	33.2	18.40	4.60	84.64
14:30	33.8	35.8	18.49	4.49	83.02
15:00	35.5	34.6	18.56	4.37	81.10

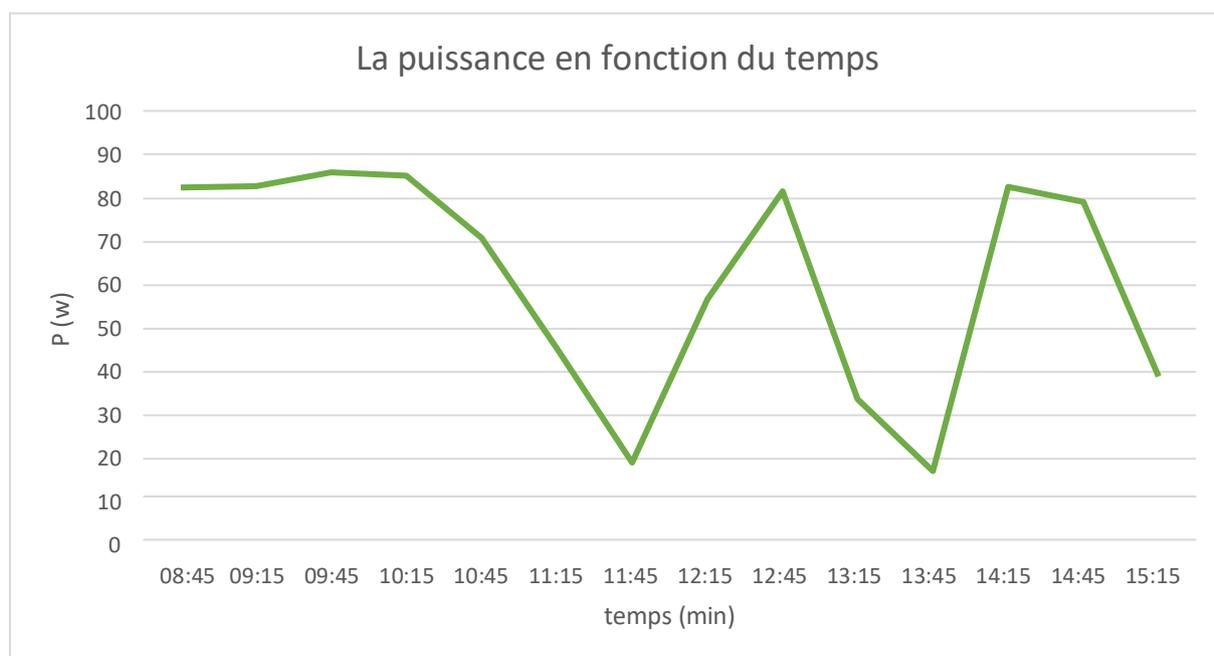


**Figure III.14 :** Courbe de la puissance générée par le panneau raccordé au système de récupération de chaleur en fonction du temps.

La troisième expérience consiste à récupérer l'air chaud de la boîte de récupération de chaleur et le refouler vers le caisson de séchage, puis mesurer les deux températures : ambiante et celle de la boîte de récupération de chaleur, la tension et le courant après 15 minutes de mise en marche des ventilateurs, pour calculer la puissance générée par le panneau.

**Tableau III.3 :** Mesures effectuées avec panneau raccordé au système de récupération d'énergie thermique et envoyé vers le caisson de séchage.

Temps (min)	T(c°) ambiante	T(c°) dans la boîte	U(v)	I(A)	P(w) calculée
8:45	34	35.3	18.61	4.44	82.62
9:15	34	35.3	18.66	4.44	82.85
9:45	33.8	35.7	18.55	4.64	86.07
10:15	37.8	38.3	18.34	4.65	85.28
10:45	34.1	38.8	18.20	3.90	70.98
11:15	34.3	39.6	18.2	2.50	45.5
11:45	34.3	38.00	18.04	1.06	19.12
12:15	36.1	42.1	18.2	3.12	56.78
12:45	36.2	43.2	18.16	4.5	81.72
13:15	41.8	36.6	18.08	1.87	33.80
13:45	33	39.3	17.35	0.99	17.17
14:15	37	42.1	18.26	4.53	82.71
14:45	36.1	48.8	18.52	4.28	79.26
15:15	34.8	42.5	18.32	2.13	39.02



**Figure III.15 :** Courbe de la puissance générée par le panneau raccordé au système de récupération d'énergie thermique et envoyée vers le caisson de séchage, fonction du temps.

**Remarque**

Si nous comparons la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> expérience avec la 3<sup>ème</sup> expérience, on observe que la puissance est diminuée en raison du réchauffement du panneau solaire donc ce système n'a pas pu refroidir ce panneau photovoltaïque à cause de la faiblesse des ventilateurs. Donc c'est un système de récupération de la chaleur et ne fonctionne pas comme un système de refroidissement.

La variation brusque de la puissance (courant) générée par le panneau elle est aussi due au changement climatique (présence de nuage, variation de la température, etc...), et aux erreurs de mesures des appareils utilisés (capteur de température).

**III.9. Le séchage alimentaire**

Le séchage est une opération de conservation des aliments avec une séparation thermique qui consiste à retirer tout ou une partie de l'eau par vaporisation de ce liquide. Le produit final est un solide qualifié sec même s'il contient une humidité résiduelle.

Vu les difficultés rencontrées et le temps pris pour la réalisation du séchoir solaire, nous n'avons pu que sécher la tomate et la menthe sans effectuer les tests de qualité faute de temps et de prérequis préalable dans ce domaine.



**Figure III.16 : Séchage de la tomate.**



Figure III.17 : Début de séchage de la menthe.



**Figure III.18 : Séchage complet de la menthe**

Généralement le séchage de la menthe à l'ombre dure quelques jours, mais avec le séchoir solaire la durée est réduite à 3 heures sous une température à l'intérieur du caisson de séchage de 51.1°C.

### **III.10. Conclusion**

Dans ce dernier chapitre une description détaillée du système aérovoltaique, a été donnée. Puis l'accent a été mis sur la réalisation et les étapes de fabrication de ce système.

Les résultats trouvés expérimentalement montrent l'intérêt de l'utilisation du système aérovoltaique qui permet de refroidir les panneaux solaires d'une part et de récupérer la chaleur dégagée par les panneaux pour être utilisée pour le séchage des aliments, comme il peut être aussi utilisé pour le chauffage des locaux en hiver, rafraîchissement des habitations en été, ventilation par insufflation ou utilisations industrielles diverses.

Vu l'abondance de l'énergie solaire, la simplicité de fabrication du séchoir solaire, le séchage solaire est une méthode saine, rapide et efficace pour assécher et conserver de nombreux produits alimentaires, donc elle peut être vivement recommandée pour l'industrie agroalimentaire, ou le chauffage des locaux (habitations, administrations, les poulaillers industriels, ...etc.).

# Conclusion générale

Nous avons présenté dans ce mémoire un résumé d'une étude expérimentale sur le système aérovoltaïque à travers une réalisation d'un séchoir solaire.

Les panneaux solaires classiques ou les panneaux photovoltaïques ne transforment qu'une faible partie de l'énergie solaire en électricité (15-20%), la récupération de l'énergie thermique dégagée par les panneaux aérovoltaïques permet d'atteindre un rendement énergétique de 60%.

Le but principal de ce travail est l'étude de l'influence de la température sur le panneau solaire et l'augmentation de son rendement, en valorisant l'énergie perdue sous formes de pertes thermiques (l'air chaud dégagé par le panneau solaire), qui sera restituée et utilisée pour le séchage des produits alimentaire.

Les résultats trouvés expérimentalement montrent l'intérêt de l'utilisation du système hybride pour produire de l'électricité pour l'éclairage et récupérer l'énergie thermique pour le séchage des aliments. Comme il peut être aussi utiliser pour le chauffage des locaux en hiver, rafraîchissement des habitations en été, ventilation par insufflation ou utilisations industrielles diverse.

Vu l'abondance de l'énergie solaire, la simplicité de fabrication du séchoir solaire, le séchage solaire est une méthode saine, rapide et efficace pour assécher et conserver de nombreux produits alimentaires, donc elle peut être vivement recommandée pour l'industrie agroalimentaire, ou le chauffage des locaux (habitations, administrations, les poulaillers industriels, ...etc.).

# Bibliographie

[1] <https://www.actu-environnement.com>

[2] <https://energie.meilleurtaux.com>

[3] <https://www.quelleenergie.fr>

[4] [Http://samuel.benoit.online.fr](http://samuel.benoit.online.fr)

[5] <https://www.edf.fr>

[6] <https://www.orano.group/fr>

[7] <https://www.lelynx.fr>

[8] Khadraoui Zakaria, 'Etude d'une centrale solaire thermique', Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.

[9] Soltane Belakehal, 'Conception et commande des machines à aimant permanent dédiées aux énergies renouvelables', Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2010.

[10] <https://www.connaissancedesenergies.org>

[11] Bidi Manel, 'Conception d'une centrale photovoltaïque pour recharge de voitures', Mémoire de Master, Université de M'sila, 2018/2019.

[12] Traore Massitan, 'Gestion du système photovoltaïque d'une alimentation privée connecté au réseau', Mémoire de Master, université Annaba, 2017.

[13] <https://www.m-habitat.fr>

[14] Merzogui Fatma, BEN LAICHI Meriem, " Réalisation et expérimentation d'un capteur hybride photovoltaïque-thermique PV-T", MASTER ACADEMIQUE, Université Ahmed Draia Adrar, 2018.

[15] <http://www.photovoltaique.guidenr.fr>

[16] <http://mypower.engie.fr/energie-solaire>