

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Électrotechnique  
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : HAMADOUCH Mohamed  
HAMMELNA Rabie

Thème

**l'impact des paramètres météorologiques sur le  
rendement des systèmes photovoltaïques**

Soutenu publiquement, le 29 / 06 /2022 , devant le jury composé de :

Mme SEBBAGH Hafidha	Professeur	ESSA. Tlemcen	Président
Mr. BEY Mohammed	Docteur	URMER. Tlemcen	Encadrant
Mme GHOMRI Amina	Docteur	ESSA. Tlemcen	Examinatrice
Mme. FARADJI Djamila Née KHERBOUCHE	Docteur	ESSA. Tlemcen	Co- Encadrante
Mr. ABDELLAOUI Ghouti	Docteur	ESSA Tlemcen	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

## Remerciements

De prime abord, nous remercions Allah de nous avoir dotés du plus précieux facteur, qui est la raison qui nous permet d'assurer la continuité de notre vie dans un cadre de tranquillité, de paix et de réussite.

Nous remercions aussi notre encadrants DR. BEY MOHAMED et DR. KHARBOUCH DJAMILA pour ce judicieux accompagnement durant toutes les phases de notre thèse de fin d'études tout en lui exprimant nos remerciements les plus sincères pour la patience et la bonté inépuisable.

Nos remerciements s'adressent également aux membres de jury :

C'est un immense honneur et privilège de vous avoir comme membres de jury pour juger notre modeste travail.

Nous voudrions également exprimer toute notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin, en particulier le personnel de notre école, pour leurs conseils et leurs aides dans la réalisation de ce travail.

## Dédicaces

A ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur

Exprimer mon amour sincère :

- A mes chers parents Zahra et à mon père Ben Gendouz que Dieu ait pitié de lui et bénis le, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur confiance, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. A mon tour par ce travail, j'espère ne pouvoir cesser de vous honorer. Que le tout puissant vous prête une longue vie pour apprécier le fruit de ce travail.

A mon chères Frère, Amine Tox et Bessafi Ilyes qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A mes adorables petites sœurs Sara, Nesrine, Moukhtaria et Nerdjisse qui savent toujours

Comment parcourir la joie et le bonheur pour toute la famille.

A ma grande mère mes oncles et mes tantes. Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous mes amis (Issam, Akram ,Younes frih , Benaissa ,Imad,Boudjela Mohamed,Ghilem mohamed ,Mounir, Hadjoudja Ganouz ,Fayssel Bouzar ,Karim Djab Arbi , Hichem ,Fatah ,Fares ) qui m'ont chaleureusement supporté et encouragé lors de la réalisation de ce travail, et à qui je souhaite plus de succès.

A ma fiancée Israa pour sa compréhension et son soutien dans tout mon parcours.

A mon binôme pour ses efforts, sa volonté et son engagement pour accomplir ce Travail.

A mes cousines et ma cousine (Rima, Souad et Abdllah) pour leur présence, leur gentillesse, leur générosité et leur soutien moral tout au long de mes études.

A tous mes amis de promotion de notre école qui occupent une place dans mon cœur.

A ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère :

- A mes chers parents nacer eddine et nacera, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur confiance, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. A mon tour par ce travail, j'espère ne pouvoir cesser de vous honorer. Que le tout puissant vous prête une longue vie pour apprécier le fruit de ce travail.

A mes chers Frères mokhtar , abdelkader et ma sœur amani qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

- A ma grande mère mes oncles et mes tantes. Que dieu leur donne une longue et Joyeuse vie.

A tous mes amis (issam, akram , mohamed ,said abdel illah , yacine , oussama , fares , younes

, abdefettah) qui m'ont chaleureusement supporté et encouragé lors de la réalisation de ce Travail, et à qui je souhaite plus de succès.

A ma copine sarah pour sa compréhension et son soutien dans tout mon parcours.

A mon binôme pour ses efforts, sa volonté et son engagement pour accomplir ce Travail.

A mes cousines et ma cousine (ilies, Amel) pour leur présence,

Leur gentillesse, leur générosité et leur soutien moral tout au long de mes études.

A tous mes amis de promotion de notre école qui occupent une place dans mon Cœur.

A tous les membres de techsquad, pour tout ce qu'on s'est partagé durant ces années.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués et le fruit de votre soutien infailible.

**Rabie**

# Sommaire

Remerciements .....	i
Dédicaces.....	ii
Sommaire.....	iv
Liste des Figures.....	vi
Liste des Tableaux.....	vii
Chapitre I.  Energie photovoltaïque .....	0
1.  Introduction .....	1
2.  Bref historique sur l'énergie solaire photovoltaïque .....	1
3.  Conversion de photovoltaïque :.....	2
3.1.  Module photovoltaïque .....	2
3.2.  Principe d'une cellule photovoltaïque.....	3
3.3.  Caractéristiques de la cellule photovoltaïque.....	4
4.  Différents type de systèmes photovoltaïques.....	6
4.1.  Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau .....	6
4.2.  Systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau .....	10
5.  Dégradation du module photovoltaïque .....	12
5.1.  Principaux modes de dégradation .....	13
5.2.  Moyens de détection de la dégradation .....	16
6.  Conclusion.....	17
Chapitre II.  Accumulation de la poussière.....	18
1.  Introduction .....	19
2.  Etat de l'art : .....	19
3.  Facteurs influençant sur le dépôt de poussière.....	21
3.1.  Effet des paramètres du système PV sur l'accumulation de poussière .....	22
3.2.  Effets des paramètres environnementaux sur la poussière.....	23
4.  Modèles mathématiques de l'impact de la poussière .....	25
4.1.  Modèle Martin et Ruiz : .....	25
4.2.  Modèle d'ELminir : .....	26
4.3.  Modèle de Cabanillas .....	26
4.4.  Modèle Massipavan : .....	27
4.5.  Modèle de Guo : .....	27
4.6.  Modèle de Kazem.....	27
4.7.  Modèle de Conceição : .....	28
5.  Problématiques du nettoyage des modules.....	28
6.  Méthode de nettoyage des panneaux solaires .....	29
6.1.  Nettoyage manuel.....	29
6.2.  Nettoyage par aspiration sous vide : .....	30
6.3.  Nettoyage automatique à base d'essuie-glace.....	30
6.4.  Nettoyage naturel : vent et pluie .....	30



# Liste des Figures

## Chapitre I : Energie photovoltaïque

Figure 1 : Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque ..	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2 : Effet photovoltaïque .....	2
Figure 3 : Points et valeurs remarquables de la caractéristique courant-tension .....	3
Figure 4 : photopile décrite par le modèle a exponentielle simple .....	4
Figure 5 : Circuit électrique équivalent d'une photopile (DEM) .....	5
Figure 6 : Exemple de système photovoltaïque a injection totale sans stockage.....	6
Figure 7 : Exemple de système photovoltaïque a injection totale avec stockage .....	7
Figure 8 : Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage.....	8
Figure 9 : Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation avec stockage .....	9
Figure 10 : principe d'un système PV autonome sans stockage.....	10
Figure 11 : Principe d'un système PV autonome avec stockage .....	11
Figure 12 : Différents composant du module photovoltaïque soumis a la dégradation.....	12
Figure 13 : Module affecté par la corrosion.....	13
Figure 14 : Module photovoltaïque présentant .....	14
Figure 15 : Module photovoltaïque avec des cellules décolorées.....	15
Figure 16 : Dégradation de module photovoltaïque par des bris de verre .....	16
Figure 17 : Modules présentant des points chauds sur les bords des coins supérieurs .....	17

## Chapitre II : Accumulation de la poussière

Figure 1 : Facteurs influent sur le dépôt de poussière.....	18
Figure 2 : variation du niveau d'éclairement avec humidité .....	19
Figure 3 : variation de $V_{co}$ et de $I_{CC}$ avec le niveau d'irradiante .....	20
Figure 4 : Nettoyage manuel .....	21
Figure 5 : Nettoyage manuel.....	22

## Chapitre III : Etude de cas : Région de Tlemcen

Figure 1 : Présentation du support et la dimension des pièces de verre.....	23
Figure 2 : Balance électronique utilisée d'une précision de $10^{-4}$ .....	24
Figure 3 : Densité de poussière accumulée sur les pièces de verre.....	25
Figure 4 : Eclairement sur les pièces de verre.....	26
Figure 5 : schéma explicatif des outils utilisés.....	27
Figure 6 : Transmittance des pièces de verre .....	28
Figure 7 : Mesures de température, humidité, ensoleillement et puissance photovoltaïque....	29

# Liste des Tableaux

Chapitre III : Etude de cas : Région de Tlemcen

Tableau 1 : Programme d'expérience .....	<u>1</u>
Tableau 2 : Résultats de mesures .....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 3 : Mesurer de la transmittance des pièces de verre .....	<u>3</u>



# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

Au cours des deux dernières décennies, il y a eu une augmentation constante de la capacité installée des centrales solaires photovoltaïques (PV) à travers le monde. Il est essentiel que les installations photovoltaïques fonctionnent à leurs capacités de conception maximales pour assurer une alimentation électrique constante et fiable tout au long de la vie de l'installation. Les paramètres environnementaux tels que les températures ambiantes, la vitesse de vent et la poussière peuvent affecter considérablement les performances du système. Les effets des températures ambiantes sur les performances du système PV sont assez bien compris théoriquement. Les pertes de performance attribuables au dépôt de poussière sont un problème qui n'a pas été traité de manière exhaustive dans les études précédentes, car il est complexe à quantifier avec précision.

L'objectif de notre travail est de mettre à la place des modules photovoltaïques des pièces de verre et voir les effets des phénomènes physiques ( humidité , température et l'ensoleillement) sur le dépôt de poussière et sur la transmittance optique des pièces de verre. Tout d'abord nous allons installer notre support en bois qui contient des pièces de verre dans un site isolé. Notre mémoire est organisé en trois chapitres. le premier chapitre donne un apercevoir sur l'introduction générale des panneaux photovoltaïques , le deuxième chapitre est consacré pour les différents modules mathématiques et les méthodes de nettoyage des systèmes photovoltaïques. Le troisième chapitre est réservé à l'étude expérimentale dans la région de Tlemcen afin d'analyser et interpréter les résultats obtenues via des courbes graphiques.

## **Chapitre I. Energie photovoltaïque**

# **Energie photovoltaïque**

# Chapitre I. Energie photovoltaïque

## 1. Introduction

L'énergie solaire est l'une des énergies les plus essentielles dans notre vie quotidienne. Elle est considérée comme une énergie 100% renouvelable car elle provient du soleil. Elle est donc classée dans la catégorie des énergies pures et des énergies écologiques [1]–[4]. Dans ce chapitre nous allons parler et présenter en général la filière de l'énergie solaire photovoltaïque

## 2. Bref historique sur l'énergie solaire photovoltaïque

Le mot photovoltaïque provient de la grecque « photo » qui signifie lumière et de « volta » qui provient directement du nom du célèbre physicien Alessandro Volta qui a contribué à la découverte de l'électricité. [5] .

Le photovoltaïque a évolué selon les dates suivantes :

1839 : Le français Alexandre Edmond Becquerel (1820/1891) découvre l'effet photoélectrique. Avec son père Antoine César Becquerel (1788/1878), ils présentent devant l'Académie des Sciences l'effet photoélectrique expérimenté avec des électrodes de platine et de cuivre plongées dans une solution électrolytique acide.

1873 : Willoughby Smith (1828/1891), ingénieur électricien anglais, découvre avec son assistant J. May les propriétés photosensibles du sélénium.

1875 : Ernst Werner Von Siemens (1816/1892), ingénieur et industriel allemand, expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1877 : William Grylls Adams (1836/1915), professeur anglais, met en évidence l'effet photovoltaïque du sélénium

1885 : Ernst Werner Von Siemens précise que la conductivité du sélénium est proportionnelle à la racine carrée de l'intensité de la lumière et imagine les possibilités de captage de l'énergie solaire.

1887 : Heinrich Rudolf Hertz (1857/1894), physicien allemand, publie les résultats de ses expériences photoélectriques dans un article intitulé "Sur un effet de la lumière ultraviolette sur les décharges électriques

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

1902 : Philippe Lenard (1862/1947), physicien allemand, fait une série d'observations sur l'énergie cinétique des électrons et détermine que le seuil de l'effet photoélectrique dépend de la fréquence de la lumière incidente

1905 : Albert Einstein (1879/1955), physicien allemand, publie "Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière". En 1921, il reçoit le prix Nobel de physique pour son apport à la physique théorique et particulièrement son explication de l'effet photoélectrique.

1916 : Robert Andrews Millikan (1868/1953), physicien américain, confirme expérimentalement les travaux d'Einstein.

1939 : Russel Ohl (1898/1987), ingénieur américain, découvre la jonction p-n et ses travaux le conduisent à développer la première cellule solaire en silicium

1954 : La première photopile a été développée aux États-Unis par les chercheurs des laboratoires Bell (D.M. Chapin, C.S. Fuller, et G. L. Pearson), qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Leur cellule solaire a un rendement de conversion de 6 %. Cette découverte constitue pour l'industrie spatiale naissante une solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites.

1958 : Une cellule avec un rendement de conversion de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace

### 3. Conversion de photovoltaïque :

#### 3.1. Module photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques sont particulièrement adaptés à la production décentralisée. Localisation de l'électricité et ségrégation: électrification rurale (répondant aux besoins et aux désirs des ménages communauté : centres de santé, écoles, etc.), pompage de l'eau, réfrigération, télécom etc [1]. Par conséquent, ils sont la solution préférée de la population rurale. Incapacité à se connecter aux réseaux électriques traditionnels, même dans les villes. L'utilisation d'un toit pour installer des panneaux PV permet d'exploiter les surfaces libres [6].

# Chapitre I. Energie photovoltaïque

Un capteur solaire ou un panneau solaire est un élément d'une installation solaire conçu pour récupérer l'énergie solaire pour la convertir en chaleur et la transformer en fluide Caloporteur (air, eau) ou énergie électrique [6].

Les modules solaires sont constitués de cellules photovoltaïques, qui sont principalement composées de silicium. Dès qu'une cellule reçoit de la lumière, elle se met à fonctionner. Dans ce chapitre, nous présentons les principales caractéristiques des éléments constitutifs du panneau photovoltaïque avec leurs problématiques propres et les différents modèles de panneau solaire [7].

## 3.2. Principe d'une cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque (PV) est la conversion de l'énergie du soleil en électricité. Dans un système PV, les cellules PV exercent cet effet. Les matériaux semi-conducteurs de la cellule PV sont dopés pour former une structure P-N sous l'effet d'un champ électrique interne. La force électromotrice (fem.) aux bornes du semi-conducteur correspond donc à Phénomène physique appelé effet photovoltaïque [8]

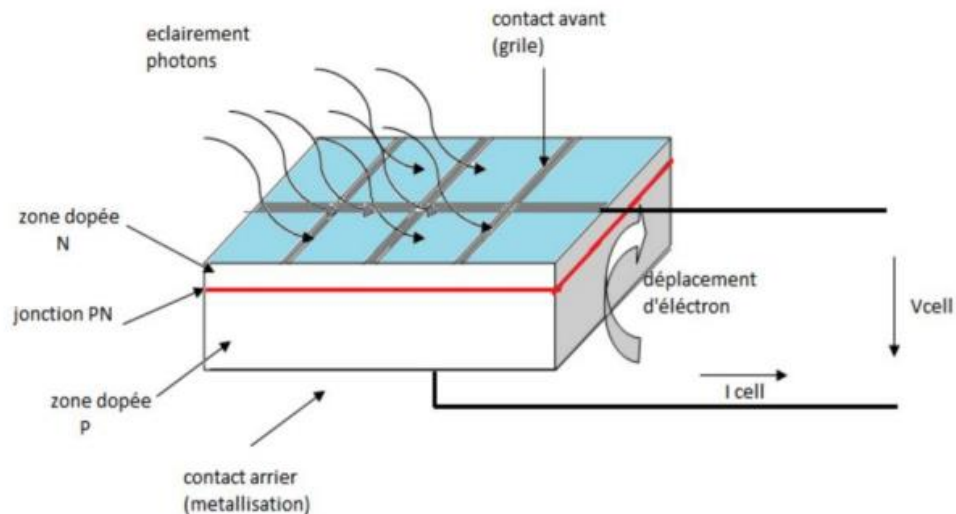


Figure I.1 : Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque [8]

# Chapitre I. Energie photovoltaïque

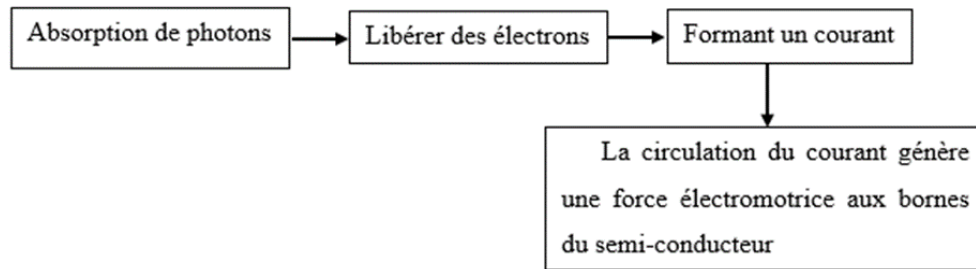


Figure I.2: Effet photovoltaïque

## 3.3. Caractéristiques de la cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont caractérisées par les paramètres de base suivants :

### 3.3.1. Tension en circuit ouvert $V_{co}$

C'est la tension pour laquelle la diode à l'obscurité ( $I = 0$ ) fournit un courant égal au courant de court-circuit  $I_{cc}$ . Elle est obtenue à partir de l'équation :

$$V_{co} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_{cc}}{I_0} + 1 \right) \quad (01)$$

$I_0$  : Courant de saturation de la diode

### 3.3.2. Courant de court-circuit $I_{cc}$

Il définit la quantité des paires électron-trou créé  $G$  et qui traverse la jonction sans recombinaison entre les longueurs de diffusion des électrons et trous ( $L_n$  et  $L_p$ ) respectivement

$$I_{ph} = q \cdot G (L_n + L_p) \quad (2)$$

### 3.3.3. Puissance maximale $P_{max}$

C'est le point M ( $V_{op}$ ,  $I_{op}$ ), la consommation électrique de la charge est la plus importante

$$P_{max} = V_{op} \cdot I_{op} \quad (3)$$

$V_{op}$  : La tension optimale

$I_{op}$  : Le courant Optimale

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

### 3.3.4. Le facteur de forme FF

Il définit l'efficacité de la cellule solaire, il est obtenu comme suit [9]:

$$FF = \frac{V_M I_M}{V_{co} I_{cc}} \quad (04)$$

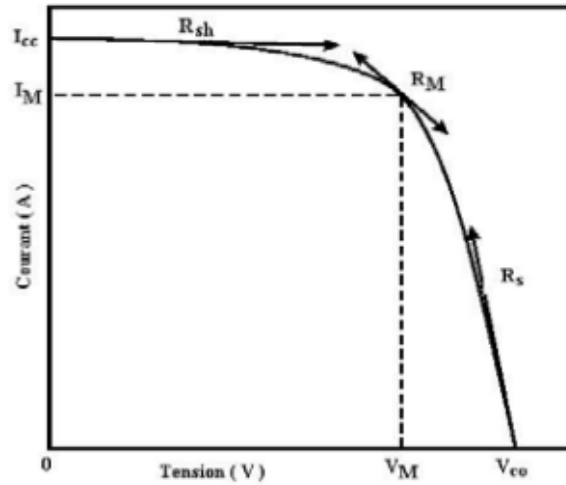


Figure I.3: Points et valeurs remarquables de la caractéristique courant-tension [10]

### 3.3.5. Rendement de conversion d'énergie $\eta$

C'est le rapport de la puissance maximale générée et de la puissance du rayonnement solaire incident :

$$\eta = FF \cdot \frac{I_{cc} \cdot V_{co}}{P_o} = \frac{I_m v_m}{P_o} \quad (05)$$

### 3.3.6. Modèle à exponentielle simple (SEM)

Ce modèle est le plus courant et est utilisé par de nombreux auteurs pour obtenir des valeurs de certains paramètres de la caractéristique courant - tension d'une cellule solaire par des méthodes d'approximations. La caractéristique courant - tension est représentée par l'équation [11] ;[9] :

$$I = I_{ph} - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} - I_s \cdot \left\{ \exp \left[ \frac{q(v + R_s \cdot I)}{nk} \right] - 1 \right\} \quad (06)$$



## Chapitre I. Energie photovoltaïque

Le circuit équivalent correspondant est schématisé :

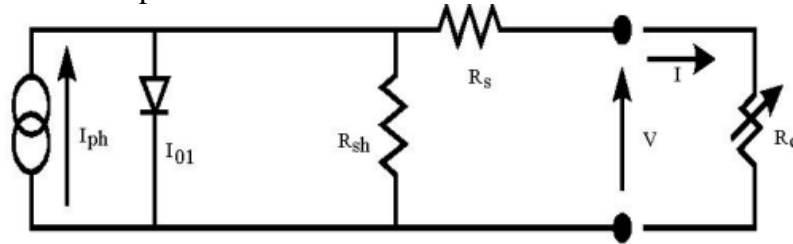


Figure I.4: photopile décrite par le modèle à exponentielle simple (SEM)

3.3.7. Modèle à exponentielles doubles (DEM) :

L'expression de la caractéristique courant – tension sous éclaircissement s'écrit :

$$I = I_{PH} - I_{01} \left\{ \exp \left[ \frac{q(v + R_s \cdot I)}{nkT} \right] - 1 \right\} - I_{02} \left\{ \exp \left[ \frac{q(v + R_s \cdot I)}{K.T} \right] - 1 \right\} - \frac{V + R_s I}{R_s \cdot H} \quad (07)$$

Circuit électrique équivalent d'une photopile (DEM) :

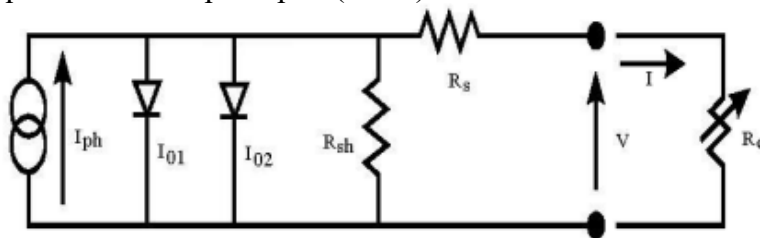


Figure I.5: Circuit électrique équivalent d'une photopile (DEM)

### 4. Différents type de systèmes photovoltaïques

#### 4.1. Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau sont avant tout des instruments de production conçus pour produire de l'énergie à partir de sources de phénomènes électriques pour alimenter le réseau électrique associâtes in Nursing de différentes sources de production, à partir de machines tournantes de plus grande puissance. Deux architectures d'association électrique seront envisagées, en pariant sur le fait que l'énergie produite est consommée sur le site de l'assemblage (autoconsommation) ou non (injection totale). [12]

##### 4.1.1. Systèmes PV raccordés au réseau avec injection totale sans stockage

Le principe de fonctionnement de ce système est le suivant :

Un générateur photovoltaïque convertit le rayonnement solaire directement en électricité. L'électricité créée par les modules est transformée par un convertisseur électrique PV en onduleur en courant alternatif compatible avec les caractéristiques électriques du réseau public général.

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

Réseau de distribution. L'énergie créée est injectée dans le réseau de distribution grand public afin d'être utilisée dans les plus simples conditions économiques pour le producteur. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors de la tolérance), le convertisseur électrique PV cesse de fonctionner. Le convertisseur électrique PV s'arrête de fonctionner. [12]

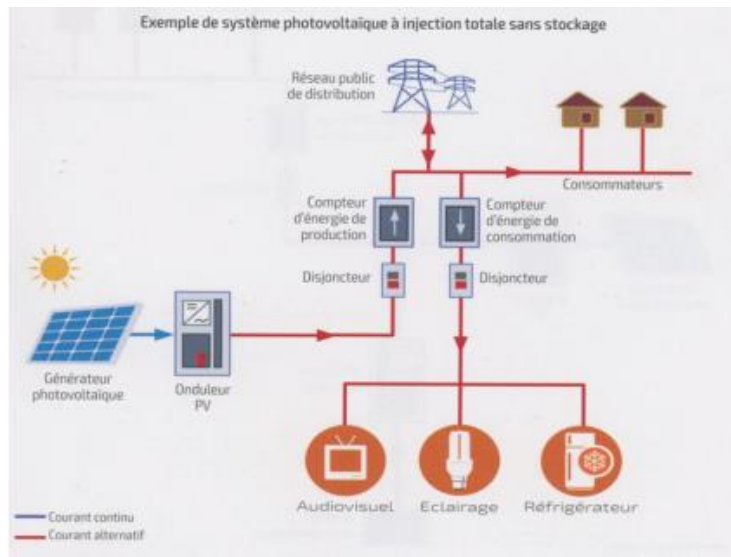


Figure I.6 : Exemple de système photovoltaïque à injection totale sans stockage [12]

### 4.1.2. Injection totale avec stockage

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré à la centrale de production. Toutefois, pour des raisons économiques, le stockage est très limité et a pour but de lisser la production et/ou de restituer l'énergie en fin de journée pour faire face à un pic de consommation sur le réseau électrique.

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

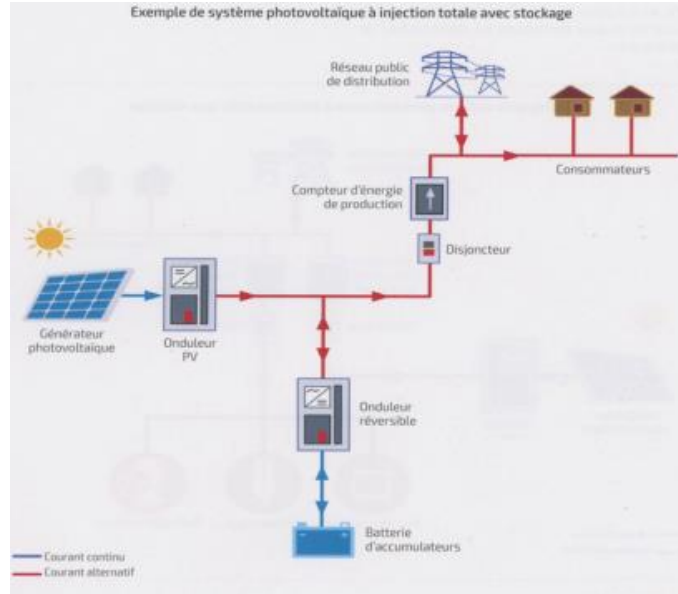


Figure I.7: Exemple de système photovoltaïque à injection totale avec stockage [12]

### 4.1.3. Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation sans stockage

Le système photovoltaïque fonctionne comme précédemment mais il est connecté directement sur l'installation électrique intérieure du site. L'électricité en étoile est consommée par les récepteurs en service. En service. Le surplus d'électricité en étoile créé est injecté dans la produite est injectée dans le réseau de distribution public réseau de distribution. En cas de défaillance du réseau d'influence (perte de tension ou perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), le phénomène électrique convertisseur électrique cesse de fonctionner et le convertisseur électrique de phénomène électrique s'arrête de fonctionner et les récepteurs ne sont plus alimentés [12]

L'intérêt d'un tel système est le suivant :

- Pour le producteur/consommateur : réduction de sa facture d'électricité (surtout si le prix du kWh acheté au réseau est supérieur au coût de l'énergie photovoltaïque produite) et valorisation éventuelle du surplus d'énergie produite, si un tarif d'achat est institué.
- Pour le gestionnaire de réseau : réduction de la fourniture d'électricité (tout ce qui est fourni localement n'est pas à produire par les autres sources généralement d'origine fossiles). [12]

# Chapitre I. Energie photovoltaïque

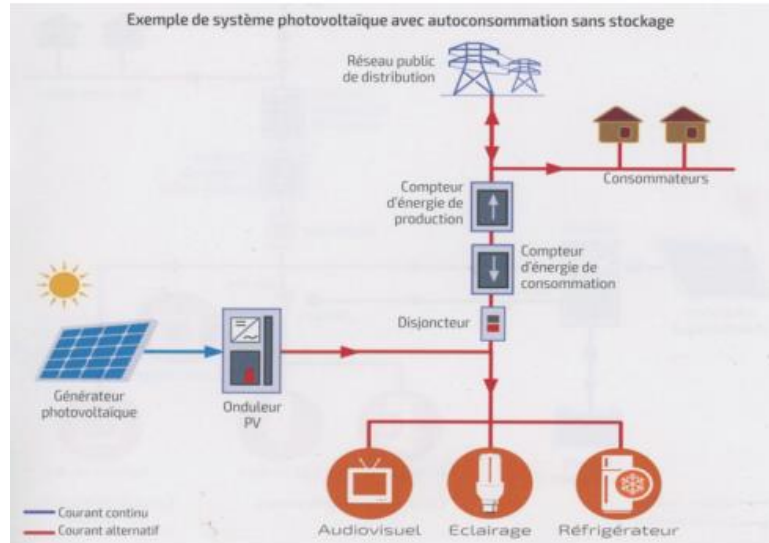


Figure I.8: Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage [12]

## 4.1.4. Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation avec stockage

Le principe est le même que précédemment, mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré au système. Qui permet le stockage de l'énergie créée par le phénomène électrique photovoltaïque tout au long de la journée et de la restituer dans la soirée pour la consommation locale. Cependant, pour des raisons économiques, le stockage est limité à quelques heures de fonctionnement et à quelques heures de consommation. Le stockage est limité à quelques heures de fonctionnement et à quelques heures de consommation. Cependant, pour des raisons économiques, le stockage est limité à quelques heures de fonctionnement et ne permet pas une indépendance totale vis-à-vis du réseau électrique. du réseau électrique [12]

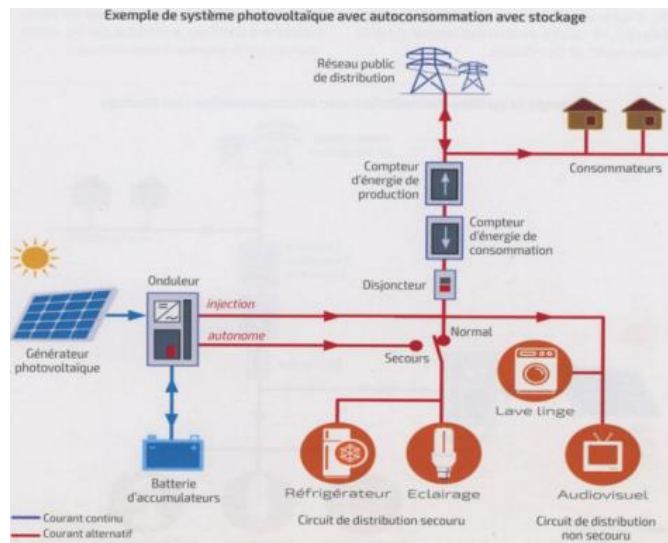


Figure I.9: Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation avec stockage [12]

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

L'intérêt d'un tel système est identique au précédent, mais avec un taux d'autoconsommation supérieur. De plus, en cas de défaillance réseau, cette configuration donne souvent la possibilité d'alimenter d'une manière autonome les récepteurs prioritaires pendant quelques heures, et assure ainsi une fonction de secours. Toutefois, ce système présente l'inconvénient d'un stockage électrochimique entraînant un coût d'investissement entretien, renouvellement, recyclage, entre autres.

L'intérêt d'un tel système est le clone du précédent, avec toutefois un meilleur taux d'autoconsommation. Taux. de plus, en cas de défaillance du réseau, cette configuration permet généralement de d'offrir de manière autonome les récepteurs prioritaires pendant plusieurs heures, assurant ainsi un fonctionnement de secours. Un fonctionnement de secours. Cependant, cette technique présente l'inconvénient du stockage chimique qui entraîne un prix d'investissement associé pour la maintenance, le renouvellement, le recyclage, etc. [12]

### 4.2. Systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau

Parmi les systèmes photovoltaïques hors réseau, une distinction est souvent établie entre les systèmes complets les systèmes autonomes qui fonctionnent sans autre source d'énergie que le photovoltaïque et les systèmes hybrides les systèmes qui utilisent une ou plusieurs sources d'énergie complémentaires, renouvelables ou non, comme le vent, l'eau, une génératrice ou différente source. Comme le vent, l'eau, un générateur ou différentes. Ces systèmes hors réseau sont conçus pour fournir un service aux utilisateurs. C'est souvent pour cette raison que la notion de système photovoltaïque fait référence à tout ou partie des composants : production, stockage, gestion, conversion distribution et utilisation. On distingue souvent les systèmes qui fonctionnent sans stockage (sur le soleil) et les systèmes avec stockage sur batterie. Les systèmes avec stockage sur batterie. [12]

#### 4.2.1. Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage

Ils fonctionnent de la façon suivante: sur jour, le générateur de phénomènes électriques fournit la directement ou via un dispositif DC/DC ou DC/DC. Dispositif DC/DC ou dispositif DC/AC. Dispositif DC/AC (DC/AC). La puissance la puissance fournie à la charge dépend du nombre de jours de lumière du jour. Pendant la nuit, la charge n'est plus alimentée et est donc est transitionnel.

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

Les applications les plus applications qui fonctionnent avec une énergie alternative sont : le pompage, la ventilation, la production de froid, le dessalement d'eau de mer, entre autres [12]

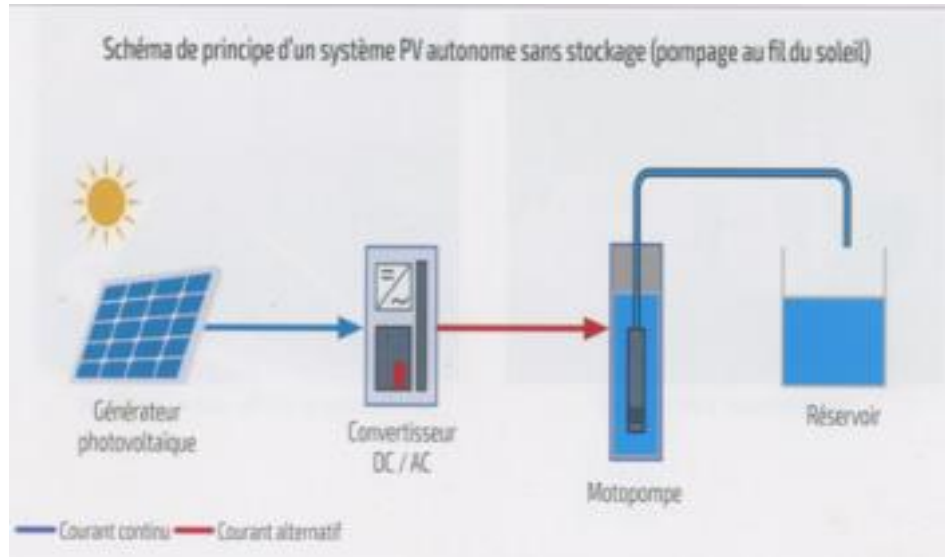


Figure I.10: principe d'un système PV autonome sans stockage [12]

### 4.2.2. Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage

Leur principe de fonctionnement est le suivant. Tout au long de la journée, le générateur de phénomènes électriques assure le récepteurs CC en fonctionnement et charge l'accumulateur. Un régulateur de charge empêche la batterie d'être surchargée en cas de production d'étoiles. Pendant la nuit et par mauvais temps, les récepteurs sont surchargés par la batterie. Récepteurs sont surchargés par la batterie. Un circuit électrique de décharge protège l'accumulateur en cas de décharge profonde. Un circuit électrique de décharge protège la batterie en cas de décharge profonde. En présence de récepteurs fonctionnant en courant alternatif, un convertisseur électrique complet convertit la tension continue en tension alternative, ce qui permet à la batterie de fonctionner en continu. Tension en tension alternative, ce qui permet de les surcharger. [12]

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

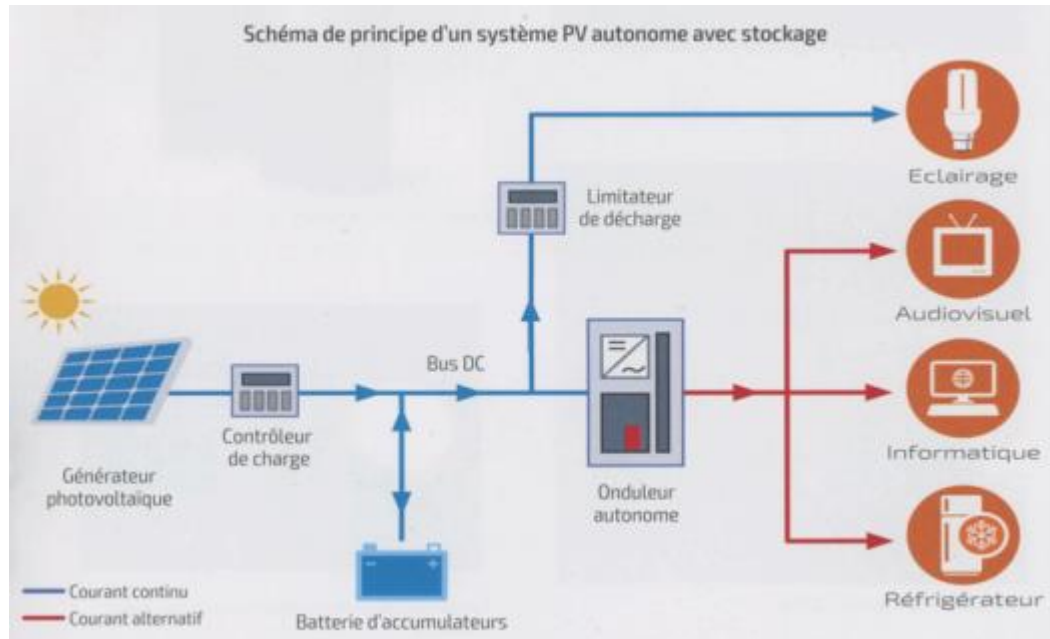


Figure I.11: Principe d'un système PV autonome avec stockage [12]

### 5. Dégradation du module photovoltaïque

La détérioration affecte les caractéristiques globales de l'élément et sa capacité. Capacité, qui est causée par les conditions de fonctionnement [13], [14]. A module PV dégradé produira toujours de l'électricité, mais son fonctionnement pourra également être affecté une fois que la détérioration aura dépassé un seuil essentiel. être affecté une fois que la détérioration dépasse un seuil essentiel [14]. Selon Wohlgemuth en 2005, les fabricants considèrent qu'un module PV est dégradé dès que sa puissance atteint une note inférieure à un quatre-vingtième de sa puissance initiale [13]. La température, l'humidité et le l'humidité et les radiations, ainsi que les chocs mécaniques, sont parmi les facteurs qui causent la détérioration d'un module PV. Dégradation d'un module photovoltaïque. Dégradation sont distingués comme la corrosion, la décoloration, la fissuration, la rupture et les fissures à l'intérieur des cellules. Fissuration et fracture des cellules. La dégradation des modules de phénomènes électriques peut avoir un effet sur ces composants complètement différents ; le verre, l'acétate de vinyle (EVA) et différents matériaux d'emballage ; l'interconnexion entre les L'interconnexion entre les unités, appelée conjointement la couche de support de la feuille de fond, donnera un film protecteur. Les polymères protecteurs, comme le montre la figure :

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

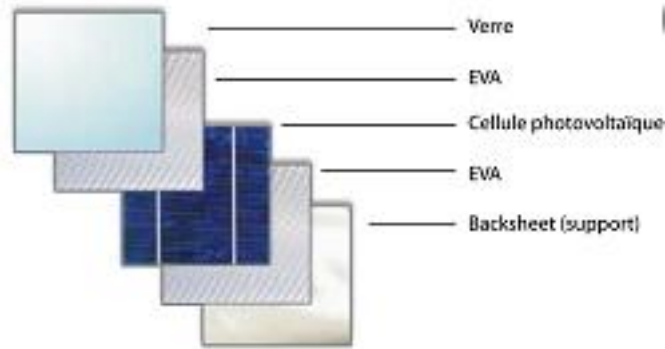


Figure I.12: Différents composants du module photovoltaïque soumis à la dégradation [12]

### 5.1. Principaux modes de dégradation

#### 5.1.1. Corrosion

L'humidité qui pénètre dans le module de phénomène électrique par les bords stratifiés entraîne une corrosion. La rétention d'humidité à l'intérieur de l'enveloppe du module augmente la conduction électrique du tissu. La corrosion attaque les connexions métalliques des cellules du module PV, ce qui provoque des courants de fuite et donc une perte de performance. La corrosion dégrade conjointement l'adhésion entre les cellules et le cadre métallique [5].



Figure 13 : Module affecté par la corrosion [8]

#### 5.1.2. Délamination

Le délaminage est la dégradation la plus courante qui se produit sur les bords et dans les coins du module, provoquant des problèmes tels que la réflexion accrue, la pénétration d'eau accrue, la perte de puissance de sortie, etc. La délamination est la dégradation la plus courante qui se produit sur les bords et dans les coins du module, causant des problèmes tels que la réflexion accrue, la pénétration d'eau accrue, la perte de puissance, une pénétration accrue de l'eau, une perte de puissance de sortie et des risques électriques pour les modules et des risques électriques aux modules et donc à l'installation dans son ensemble. Montre la délamination poignante des



## Chapitre I. Energie photovoltaïque

panneaux photovoltaïques. La délamination est provoquée lorsqu'il y a un mélange de combinaison d'humidité et de chaleur, infligeant une dégradation chimique et physique, principalement grâce à l'humidité et à la salinité[15]. La pénétration de l'humidité et la délamination dans le module contribuent à l'augmentation de la résistance asynchrone, et donc à la perte de puissance de sortie [15]



Figure I.14 : Module photovoltaïque présentant [5]

### 5.1.3. La décoloration

La décoloration du module de phénomène électrique entraîne une modification de la couleur du tissu utilisé pour son encapsulation matériau d'encapsulation, c'est-à-dire parfois de l'acétate de vinyle gazeux (EVA) ou de la matière située entre le verre et entre le verre et donc les cellules. Cette modification de couleur se traduit souvent soit par un jaunissement ou un brunissement du jaunissement ou un brunissement du matériau d'encapsulation. Elle entraîne une modification de la transmittance de l'encapsulant des cellules et par conséquent la capacité générée par le module est diminuée [5].



Figure I.15 : Module photovoltaïque avec des cellules décolorées [8]

## Chapitre I. Energie photovoltaïque

### 5.1.4. Les fissures et bris de verre

Les bris de verre et les fissures constituent une réflexion cruciale sur la dégradation des modules de phénomènes électriques. Ils se produisent dans la plupart des cas tout au long de l'installation, de la maintenance et surtout du transport des modules vers les sites d'installation. Et surtout tout au long du transport des modules vers les sites d'installation. [10]



Figure I.16 : Dégradation de module photovoltaïque par des bris de verre [8]

### 5.1.5. Les points chauds ou Hot-spots

Un module de phénomène électrique peut être une combinaison de cellules en série/parallèle. Ses caractéristiques globales peuvent varier en fonction de l'éclairement, de la température, du vieillissement des cellules et aussi des effets d'ombrage ou de l'irrégularité de l'éclairement. Effets de l'ombrage ou de l'irrégularité de l'éclairement. de plus, l'ombrage ou la dégradation d'une des cellules de l'une des cellules de manière asynchrone pour provoquer une diminution ponctuelle du courant créé par le phénomène électrique photovoltaïque. Une fois que le courant produit est supérieur au courant créé par la cellule défectueuse ou mal éclairée, la cellule, la tension de cette cellule devient négative et elle se comporte comme un récepteur. Elle est donc soumise à un refroidissement comparativement élevé, qui peut entraîner sa destruction totale : c'est souvent l'explication du fait que la cellule est C'est le développement du "point chaud"[10].



Figure I.17 : Modules présentant des points chauds sur les bords des coins supérieurs [5]

# Chapitre I. Energie photovoltaïque

## 5.2. Moyens de détection de la dégradation

### 5.2.1. Inspection visuelle

L'inspection visuelle est la première étape pour évaluer la détérioration du système photovoltaïque. Cette méthode peut détecter et identifier les défauts visibles tels que la décoloration, les bosses, les bulles ou le verre brisé, la corrosion des contacts métalliques, les fissures du panneau photovoltaïque, les défaillances d'adhérence ou de boîte de jonction, les défaillances de liaison et les points chauds [8].

### 5.2.2. Imagerie infrarouge

Cette technologie permet de détecter des zones à haute température, généralement des zones à haute température en raison de points chauds. La méthode utilisée dépend des propriétés de tout matériau qui émet un rayonnement électromagnétique, et la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique est liée à la température du matériau. Cette technique est connue et utilisée dans de nombreux travaux antérieurs [8].

### 5.2.3. Thermographie

Il s'agit d'une variante de la méthode IR précitée. Cette méthode est très utile pour trouver une perte de puissance. Dans cette technologie, du courant est injecté dans la cellule solaire. Le courant n'est pas un courant continu, mais un courant pulsé. Si le panneau a une panne de court-circuit, la température augmentera à chaque fois qu'elle se produit. En utilisant différentes modulations du courant injecté, plusieurs types de défauts peuvent être détectés. Le test peut être effectué dans des conditions d'obscurité ou à la lumière. Dans des conditions d'éclairage, le module photovoltaïque est généralement dans un état de circuit ouvert ( $V_{co}$ ) [8].

### 5.2.4. Résonance de vibrations ultrasoniques

La méthode de résonance de vibrations ultrasoniques est non destructive. Il comprend la capture d'ondes ultrasonores supérieures à 20 kHz afin de les analyser et de les interpréter. Grâce à cette technologie, le module PV peut être scanné à la recherche de fissures de cellule pouvant survenir pendant le processus de fabrication ou pendant le fonctionnement du module PV [8].

# Chapitre I. Energie photovoltaïque

## 5.2.5. Imagerie par électroluminescence

L'imagerie EL est une méthode utilisée pour définir les zones inactives ou les fissures dans les cellules solaires modulaires. Un équipement (Great eyes) EL est utilisé. Par conséquent, un courant est appliqué entre les bornes du module, et le rayonnement invisible de l'unité est détecté par la caméra installée dans le dispositif EL [8]

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous donnons un aperçu des systèmes photovoltaïques et de leurs différents composants, nous avons également discuté de différents types de systèmes photovoltaïques. Enfin, nous donnons un aperçu des différents modes dégradation des modules PV. La corrosion et les changements de couleur sont toujours la principale voie de dégradation. Changement climatique, poussière et divers facteurs environnementaux sont les principales causes de la dégradation.

**Chapitre II. Accumulation de la poussière**

# Chapitre 2

**Accumulation de la poussière**

## **Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique**

### **1. Introduction**

Le développement de la conversion photovoltaïque se heurte à un certain nombre de difficultés, parmi lesquelles le coût élevé du kWh produit et la longue durée de retour sur investissement. A cela s'ajoute certains aspects d'installation et d'exploitation des modules photovoltaïque (PV). Sur le plan de l'exploitation, les modules photovoltaïques nécessitent d'être exposés à l'extérieur afin de fonctionner sous l'ensoleillement le plus direct possible. De tels équipements sont de ce fait soumis à un environnement occasionnant de multiples sources de pollution et d'encrassement. Parmi les plus courantes, nous pouvons citer : polluants industriels, pollutions automobiles, pluie acide, cheminées, pollens, poussières, sables, feuilles d'arbres, mousse, champignons, sels en ambiance marine, calcaire, résidus de produits de nettoyage. En plus de baisser leurs rendements certains polluants peuvent entraîner une usure prématurée des modules en engendrant des phénomènes d'échauffement intense via l'effet «hot spot». Les châssis en aluminium dont les modules sont équipés peuvent également être source de nuisance en termes de production électrique parce que sous l'effet de la corrosion, les profilés en aluminium attaquent les surfaces vitrées de protection. Celles-ci deviennent alors rugueuses et s'opacifient, ce qui engendre donc un effet néfaste sur le rendement de production, Ce chapitre est consacré à l'étude de l'impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance des modules photovoltaïques cristallins

### **2. Etat de l'art :**

L'accumulation des particules de poussière sur la surface du module PV peut affecter grandement sa performance surtout dans les zones désertiques. Cependant les pertes de performance attribuables au dépôt de poussière sont un problème qui n'a pas été traité de manière exhaustive dans les études précédentes, car il est complexe à quantifier avec précision [16]. Aujourd'hui, l'idée de mettre en place de vastes champs photovoltaïques dans les pays sahariens en vue de l'exportation de l'énergie produite vers d'autres pays est en cours de discussion [17]. L'accumulation de poussière sur la surface du panneau PV dépend de différents paramètres comme l'inclinaison du module PV, le type d'installation, l'humidité, etc... .

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

Le modèle mathématique a été développé à partir de données mesurées tout au long de l'année. De plus, le modèle a été amélioré en considérant d'une nouvelle manière l'effet de la composition de la poussière sur les performances du système. Les résultats du modèle proposé sont comparés aux résultats mesurés en termes de caractéristiques : courant/tension, courant/puissance et puissance/tension.

Hottel et Woertz ont été parmi les premiers à étudier les effets de la poussière sur le système solaire [18]. La baisse de performance maximale qu'ils ont enregistrée était de 4,7%, avec une perte moyenne de rayonnement solaire incident inférieure à 1%. Une autre étude sur l'accumulation de poussière sur les systèmes photovoltaïques installés dans des villages près de Riyad Arabie Saoudite, a montré une baisse de 32 % des performances après huit mois sans nettoyage des modules. Les modules installés à Koweït City ont montré une baisse de performance de 17% après six jours de nettoyage des modules. De plus, l'étude a également montré que l'impact de la poussière sur les performances photovoltaïques est plus important pendant la saison sèche de l'année. Dans une autre étude sur les effets de la poussière sur les modules photovoltaïques à Palo Alto, en Californie, Il a été démontré que l'accumulation de poussière sur les modules PV entraîne une réduction de 2 % du courant de court-circuit par rapport aux modules propres [17]. Sarin et al. La réduction de puissance due au dépôt de poussière sur les modules PV s'est avérée être aussi élevée que 18% [19]. La perte de puissance due à la poussière est fonction du type de poussière, du temps écoulé depuis la dernière pluie et du programme de nettoyage [20]. Detrick et al. La perte de puissance moyenne annuelle des modules PV est considérée comme variant de 1% à 4% [21]. Il a été démontré que l'eau de pluie nettoie les modules PV pour restaurer les performances avec une perte de 1 % de la pleine puissance dans les zones où il pleut fréquemment[8]. Dans une étude récente en Crète, la perte de puissance annuelle moyenne due à la poussière était de 5,86 %, allant de 4 % à 5 % en hiver et de 6 % à 7 % en été[18]. Une étude a été menée sur des systèmes photovoltaïques installés en Egypte en comparant l'énergie produite par un module propre avec un module exposé à la poussière pendant un an et un module exposé à la poussière mais nettoyé tous les deux mois. Les résultats ont montré que les modules qui n'avaient pas été nettoyés depuis un an produisaient 35 % d'énergie en moins que les modules nettoyés. Les modules nettoyés tous les deux mois produisent moins de 25 % d'énergie en moins par rapport aux modules propres [22].

## **Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique**

### **3. Facteurs influençant sur le dépôt de poussière**

La poussière est constituée de fines particules de matière solide. Sur Terre, il se compose généralement de particules dans l'atmosphère provenant de diverses sources telles que le sol soulevé par le vent, les éruptions volcaniques et la pollution. La poussière dans les maisons est composée d'environ 20 à 50 % de cellules mortes de la peau. Ils varient d'une région à l'autre en raison des différentes caractéristiques environnementales.

De nombreux paramètres influencent le dépôt de poussière sur la surface du panneau solaire. L'un des principaux paramètres qui influencent l'accumulation de poussière est : la propriété de la poussière, caractéristiques de la poussière, y compris le type chimique, la taille, la forme, etc. La vitesse du vent peut augmenter ou diminuer le dépôt de poussière. L'environnement local est une partie importante, qui doit tenir compte davantage des caractéristiques du site, de la température ambiante et de l'humidité. D'autre part, l'angle et l'orientation du panneau solaire, la surface du verre sont les paramètres qui conduisent à augmenter la poussière à la surface du générateur solaire [8].



## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

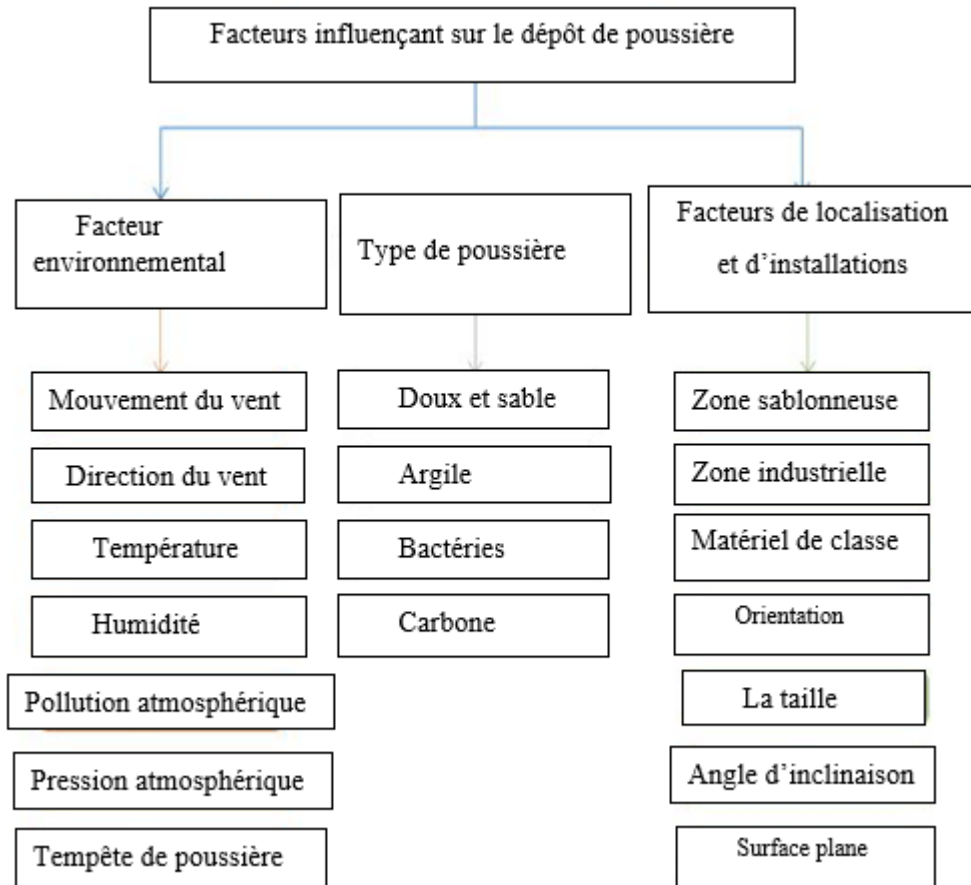


Figure II.1. Facteurs influent sur le dépôt de poussière[23]

### 3.1. Effet des paramètres du système PV sur l'accumulation de poussière

#### 3.1.1. Effet de l'angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison est l'un des facteurs importants qui déterminent les performances des panneaux photovoltaïques. Dans une expérience réalisée à Roorkee par Graga découvert que la poussière accumulée sur une plaque de verre diminue la transmission en moyenne de 8% après une période d'exposition de 10 jours[24].Hegazy a étudié le dépôt de poussière sur une plaque de verre avec différents angles d'inclinaison et a mesuré la transmission de la plaque dans différentes conditions météorologiques[25]. Il a été constaté que la dégradation de la transmission solaire dépend de l'angle d'inclinaison. De plus, les travaux de Sayigh sur le dépôt de poussière sur une plaque de verre inclinée située dans la ville de Koweït, ont permis de réduire la transmittance de la plaque de 64 % à 17 % pour des angles d'inclinaison allant de  $0^{\circ}$  à  $60^{\circ}$  respectivement après 38 jours[26].

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

### 3.1.2. Effet de la technologie photovoltaïque

Le module PV est classé en deux catégories qui sont le silicium cristallin et le film mince. Chaque catégorie de modules PV (cellules solaires) contient différents types. Les types de silicium cristallin sont le silicium monocristallin, polycristallin, le silicium hybride, l'enveloppe d'émetteur à travers la cellule et l'investissement cristallin de silicium, tandis que le silicium amorphe, le sulfure ou le tellure de cadmium et le diséléniure de cuivre-indium ou le gallium de cuivre sont les types de couches minces. Les enquêtes ont révélé que l'a-Si fonctionne mieux dans un environnement poussiéreux [27].

### 3.1.3. Effet des méthodes de nettoyage

La poussière est susceptible de coller au réseau par les forces d'adhérence de Van der Waals [28]. Ces forces sont très fortes aux tailles de particules de poussière attendues. La méthode de nettoyage doit surmonter ces forces. Il existe quatre méthodes classées pour éliminer la poussière de la surface du panneau solaire, à savoir naturelle, mécanique, électromécanique et électrostatique. Plus d'investigations et d'idées sont importantes pour réduire l'effet de la poussière.

## 3.2. Effets des paramètres environnementaux sur la poussière

### 3.2.1. Effet de la température

L'efficacité de la cellule PV diminue généralement avec une température ambiante élevée sur la cellule[29]. Cela signifie que la puissance électrique générée par la cellule diminue. Avec l'augmentation de la température,  $I_{CC}$  augmente légèrement avec la température d'environ  $6 \mu A$  par  $^{\circ}C$  pour  $1 \text{ cm}^2$  de cellule. Un effet plus significatif est la dépendance de la tension qui diminue avec l'augmentation de la température. Typiquement, la tension diminuera de  $2,3 \text{ mV}$  par  $^{\circ}C$  par cellule. Les enquêtes ont révélé que la puissance de sortie PV était affectée par la température ambiante. Plus le module photovoltaïque est propre et frais, plus la puissance générée est élevée.

### 3.2.2. Effet de l'humidité

Étudier l'effet de l'humidité sur la cellule photovoltaïque, deux cas doit prendre en compte. Le premier cas est l'effet de particules de vapeur d'eau sur le niveau d'irradiance solaire et le second cas est l'entrée d'humidité dans l'enceinte de la cellule solaire. Trois phénomènes se produisent lorsque la lumière frappe des gouttelettes d'eau :1) Elle peut être réfractée, 2) Réfléchié ou 3)

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

Diffraction. Ces effets détériorent le niveau de réception de la composante directe du rayonnement solaire[30].

La figure II.2 montre l'effet de l'humidité relative sur la réception du rayonnement solaire visible. Il semble que cette variation soit non linéaire et que cet effet entraîne une faible variation de  $V_{co}$  et une grande variation de  $I_{CC}$ , comme sur la figure II.3

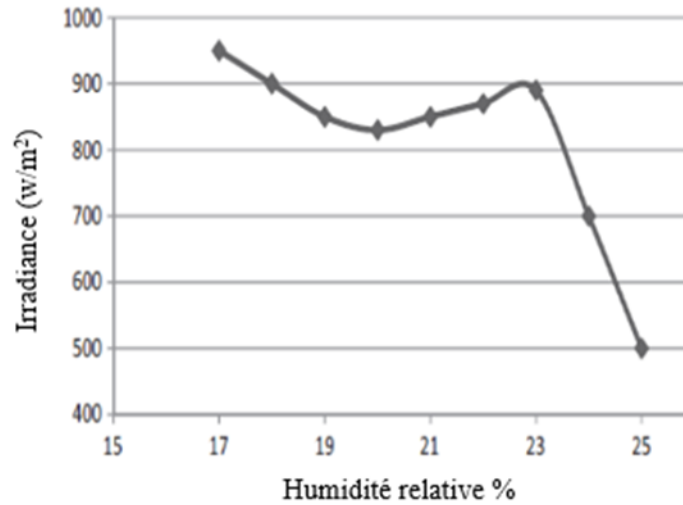


Figure II.2. variation du niveau d'éclairage avec humidité[30]

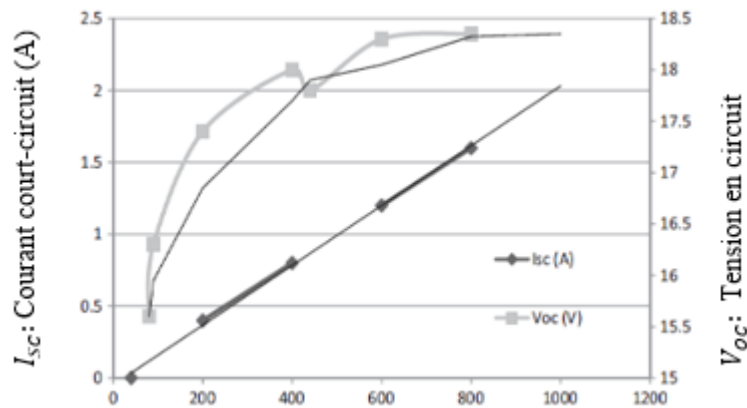


Figure II.3. variation de  $V_{co}$  et du  $I_{CC}$  avec le niveau d'irradiance[31]

La tendance de la vitesse du vent a un effet inverse sur l'humidité relative qui à son tour affecte l'irradiance reçue. Pendant une longue période, l'exposition des modules PV à l'humidité entraîne la pénétration d'eau dans le module et diminue les performances[32]. Dans ce contexte, la délimitation avec le module PV est l'un des modes de défaillance les plus critiques pendant la durée de vie. Le module de silicium cristallin échoue la plupart du temps au niveau de l'interconnexion des cellules ou en raison de cellules endommagées, tandis que le film mince échoue au niveau des

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

lignes de découpe, ce qui est la cause principale de la dégradation des modules. En conséquence, les films minces sont sensibles à l'humidité corrosive tandis que les cellules de silicium cristallin sont sensibles à l'embrillement des matériaux d'encapsulation. Ces deux processus de dégradation sont amplifiés par la température et humide[33]. L'effet de la poussière augmente par temps humide car ils forment ensemble une couche de ciment qui rend le processus de nettoyage difficile.

De nombreux articles tentent d'étudier les phénomènes de l'environnement d'installation des centrales solaires et les lois régissant le transport et le dépôt des poussières. Plusieurs expériences ont été menées pour tester l'effet de la poussière sur les panneaux solaires. Le sable est la principale source de dégradation naturelle. Par exemple, différents types de poussières d'excitation utilisées dans l'étude expérimentale de Mr. Khatib en 2013 sont [34] :

- 1) Sol rouge est obtenu à partir de la terre ferme agricole.
- 2) Cendres volantes de carbone proviennent principalement de la combustion incomplète des hydrocarbures émis par les gaz d'échappement des automobiles.
- 3) Sable varie considérablement, en fonction de la source des roches et de leurs conditions locales, et est principalement utilisé dans les activités de construction.
- 4) Carbonate de calcium, une forme courante de sable, s'est principalement formée à partir de diverses formes de vie telles que les crustacés et les récifs coralliens au cours du dernier milliard d'années.
- 5) Silice est le composant le plus courant du sable dans les régions côtières continentales et non tropicales

### 4. Modèles mathématiques de l'impact de la poussière

L'efficacité des panneaux solaire sera influencer par le dépôt de poussière sur le module photovoltaïque donc c'est pourquoi plusieurs chercheurs ont développé des modèles mathématiques pour visualiser l'impact de la poussière accumulé.

#### 4.1. Modèle Martin et Ruiz :

Un modèle mathématique étudié par Martin and Ruiz en 2001 [8], A partir de l'analyse optique de différentes configurations de modules PV, en considérant les technologies de silicium cristallin (x-Si) et de silicium amorphe (a-Si), avec ou sans revêtements antireflets, et en recherchant une

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

expression analytique simple, le résultat suivant la formule de la réflectance d'un module PV a été obtenue[35] :

$$R(\alpha) = R(0) + [1 - R(0)] \left[ \frac{\text{Exp}(-\cos(\alpha/\alpha_r)) - \text{exp}(-1/\alpha_r)}{1 - \text{exp}(-1/\alpha_r)} \right] \quad (03)$$

Où  $\alpha$  est l'angle d'incidence de l'irradiance et  $\alpha_r$  le coefficient de pertes angulaires, un paramètre empirique sans dimension à ajuster dans chaque cas. Le modèle a été appliqué à l'analyse de différents modules x- et a-Si. Dans tous les cas, les résultats sont très satisfaisants. Avec elle l'expression des pertes angulaires devient [35]:

$$AL(\alpha) = 1 - \left[ \frac{1 - \text{exp}(-\cos(\alpha/\alpha_r))}{1 - \text{exp}(-\cos(\alpha/\alpha_r))} \right] \quad (04)$$

### 4.2. Modèle d'ELminir :

Un modèle mathématique étudié en Egypte par Elminir et al en 2006[26] ,Ils ont utilisé la poussière naturelle, et le principal paramètre étudié était  $\Delta\tau$  la réduction de la transmittance. Ce modèle suggère la relation suivante :

$$\Delta\tau = 0.0381 \rho_D^4 - 0.8626 \rho_D^3 + 6.4143 \rho_D^2 + 16.769 \quad (05)$$

Avec :

$\rho_D$  : Densité de dépôt de poussière

$\Delta\tau$  : Réduction de la transmittance

### 4.3. Modèle de Cabanillas

Un modèle mathématique étudié en Mexique par Cabanillas en 2011[23] .Ils ont utilisé de pollution de l'air/Naturel, et le principal paramètre étudié était la puissance maximale de module (PMax) :

$$P_{max} = \alpha R^b T_{MOD}^c \quad (06)$$

Avec :

R : Rayonnement solaire incident sur la surface des modules

$T_{MOD}$  : Température du module

A et b des constantes empiriques

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

### 4.4. Modèle Massipavan :

Un modèle mathématique étudié en Italie par MassiPavan en 2011 [36]. Il a utilisé du sol sableu/Naturel, et le principal paramètre étudié était la puissance photovoltaïque (PPV):

$$P_{PV} = A + B T_{MOD} H_i + C H_i + D H_i^2 \quad (07)$$

Avec :

$T_{mod}$ : Est la température du module PV ;  $H_i$  est l'irradiante globale dans le plan A, B, C et D sont des constantes polynomiales

La procédure de simulation nécessite l'étalonnage du modèle au système étudié afin d'obtenir A, B, C et D. Une fois le modèle bien ajusté, les mêmes constantes sont utilisées avec de nouvelles entrées de température et d'irradiante pour prédire la puissance générée par le système.

### 4.5. Modèle de Guo :

Le modèle mathématique est étudié par Guo en 2015 [37]. Il a utilisé de poussière naturelle, et le principal paramètre étudié était l'indice de propreté CI du module photovoltaïque :

$$CI = \frac{PR_{T-corr}}{PR_{T-corr-clean}} \quad (08)$$

Avec :

$PR_{T-corr}$  Est le rapport de performance corrigé en température du module PV dont l'indice de propreté est évalué

$PR_{T-corr-clean}$  Est le rapport de performance corrigé en température d'un module PV « propre »

### 4.6. Modèle de Kazem

Un modèle mathématique proposé par Kazem et al en 2020. Le modèle a anticipé avec précision les performances du système et validé par des résultats expérimentaux [20]:

$$I_{PV} = -0.860 + 0.007 G + 0.049 T_{ambiante} \quad (09)$$

$$I_{PV} = -0.860 + G[0.007 - m(a_1 k_1 + a_2 k_2 + a_3 k_3)] + 0.049 T_{ambient} \quad (10)$$

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

Où  $k_1$ ,  $k_2$  et  $k_3$  sont les paramètres des trois plus hauts pourcentages d'élément de poussière dans l'emplacement. De plus,  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$  sont les coefficients des éléments de poussière. De plus,  $m$  est la masse de poussière accumulée par unité de surface ( $\text{kg} / \text{m}^2$ ).

### 4.7. Modèle de Conceição :

Un modèle mathématique a été étudié par Conceição en 2019 [38]. Il a utilisé de Sol/Naturel, et le principal paramètre étudié était le taux de transmittance, ce modèle modéliser la relation du rapport de transmission avec l'angle d'inclinaison, les données d'accumulation de masse ont été liées au rapport de transmission entre les verres sales et propres. Cela conduit à un ajustement linéaire des moindres carrés qui peut être obtenu par l'équation :

$$\tau_r(M_A) = b_1 M_A + 1 \quad (11)$$

Avec :

$\tau_r$  Rapport de transmission

$M_A$  Accumulation de masse

B :- 0.2545  $\text{m}^2/\text{g}$

## 5. Problématiques du nettoyage des modules

L'encrassement des modules photovoltaïques constitue un réel obstacle au maintien des performances de production, il est au contraire un acteur majeur de la baisse de leurs rendements. Une solution courante à ce problème consiste en un nettoyage manuel et périodique des installations par application d'eau. Cette méthode usuelle est certes efficace, mais plusieurs inconvénients peuvent toutefois s'en dégager.

**Premièrement**, un premier problème concerne le « gaspillage » de l'eau. En effet, des centrales photovoltaïques de très grande surface (plusieurs centaines de milliers de modules repartis sur quelques centaines d'hectares) sont régulièrement implantées dans des zones désertiques, favorisant ainsi un ensoleillement optimal. De telles zones d'implantation présentent malheureusement l'inconvénient d'accélérer les phénomènes d'encrassement par le sable et la poussière. Les opérations de maintenance sont donc régulières et requièrent des quantités d'eau conséquentes pour le refroidissement et le nettoyage intégral de la centrale...quantités d'eau qui se révèlent être en contradiction avec l'état des ressources dans les régions sèches ou désertiques.

## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

**Deuxièmement**, il a été constaté que le nettoyage manuel des panneaux (ceci concerne principalement les installations photovoltaïques de petite et moyenne taille) peut aussi avoir un effet nocif. Des micro-rayures apparaissent au fil du temps sur les surfaces suite à des frottements sur des grains de sable, par exemple. Les conséquences de ces micro-rayures sont radicales puisqu'elles changent les propriétés optiques du matériau, en modifiant les propriétés de réflexion et de transmission, notamment.

**Troisièmement**, les opérations régulières de nettoyage requises pour le maintien du rendement des modules PV peuvent être coûteuses. En effet, il faut l'intervention d'une équipe technique pour le suivi des équipements techniques permettant le nettoyage des modules PV. Ceci peut impacter significativement la durée d'amortissement économique des générateurs photovoltaïques[17].

### 6. Méthode de nettoyage des panneaux solaires

Le sujet du nettoyage des panneaux solaires est un sujet sensible chez les propriétaires de panneaux solaires. Certains vous diront que c'est tout à fait nécessaire, tandis que d'autres prétendent que la pluie éliminera tout simplement les problèmes que les panneaux pourraient rencontrer.

#### 6.1. Nettoyage manuel

Cette méthode nécessite un opérateur humain pour nettoyer manuellement à l'aide d'une vadrouille ou de tout essuie-glace avec structures de support appropriées, comme illustré à la figure II.9. La qualité de la surface nettoyée est jugée visuellement méthode par l'opérateur lui-même pour le niveau satisfaisant ou jusqu'à ce que les particules de poussière soient éliminées complètement[22].



Figure II.4. Nettoyage manuel



## Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique

### 6.2. Nettoyage par aspiration sous vide :

Un aspirateur-aspirateur est un appareil qui utilise une pompe à air pour créer un vide partiel afin d'aspirer la poussière et la saleté, généralement des sols, des vitres, etc. En général, l'alimentation électrique est fournie à l'aspirateur moteur qui crée la pression d'aspiration[22].

### 6.3. Nettoyage automatique à base d'essuie-glace

Le nettoyage automatique à base d'essuie-glace intègre un essuie-glace en caoutchouc et pot d'eau pour le jet d'eau avec additifs et nettoyage. Le processus est exactement comme le nettoyage des vitres de véhicules et nécessitent un automatique mécanisme pour opérer et accomplir la tâche. Le mécanisme fonctionne sur batterie, comme illustré à la figure II.10. [22]



Figure II.5. nettoyage automatique

### 6.4. Nettoyage naturel : vent et pluie

Panneaux solaires sont toujours inclinés, même lorsqu'ils sont posés sur une toiture plate. La saleté s'évacue donc naturellement grâce à la pente des modules. Par ailleurs, si des résidus peuvent se déposer sur le bas des panneaux, ils sont nettoyés par la pluie et le vent

## **Chapitre II. Simulation et conception de station météo logique**

### **7. Conclusion**

La recherche a été discutée sur la base de l'effet de la poussière sur le rendement du générateur photovoltaïque, quelques points sont profondément étudiés dans la littérature scientifique et d'autres sont encore besoin de plus d'étude. Les principaux points importants nécessitant davantage d'investigations sont : les propriétés de la poussière (taille, géométrie, comportement des dépôts électrostatiques), propriétés biologiques et électrochimiques des poussières. Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu de l'effet de poussière sur le rendement de module photovoltaïque par la présentation de quelques modèle mathématiques tels que: modèle de Martin and Ruiz en 2001 [35] et le modèle de Kazem en 2020 [20]

Dans le prochain chapitre, nous réaliserons une étude expérimentale de l'effet de la poussière sur un système photovoltaïque dans la région de Tlemcen.

**Chapitre III. Etude de cas: Région de Tlemcen**

# Chapitre 3

**Etude de cas: Région de Tlemcen**

## Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

### 1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons étudié expérimentalement l'effet de la poussière et les données météorologiques (Température, Humidité et Ensoleillement) sur le rendement des systèmes photovoltaïque, l'étude a été effectuée exactement dans la ville de Tlemcen.

#### 1.1. Présentation de la région étudiée :

Notre étude est effectuée à L'école ESSAT de Tlemcen. Elle est située dans la ville de Tlemcen au Nord-Ouest de l'Algérie ( $35^{\circ}53'N$   $01^{\circ}18'W$ ) [8]. Où la région de Tlemcen se caractérise par trois types de climat : Méditerranéen chaud-été, froids semi-arides et chauds semi-arides. La température moyenne annuelle à Tlemcen est de  $15.4^{\circ}C$ , la précipitation moyenne est autour de 454 mm/ans.

#### 1.2. Etude expérimentale :

Un support en bois d'une longueur de 60 cm a été fabriqué dans le but de placer des pièces de verre 15 pièce, voir la figure 1. Les pièces de dimensions 38 mm x 185mm sont placées avec une inclinaison de  $30^{\circ}$ , c'est l'angle de l'inclinaison des modules photovoltaïques dans la région étudiée.



Figure 18 : Présentation du support et la dimension des pièces de verre

## Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

### 1.3. Chronologie de l'expérience

Nous en avons utilisé 11 pièces. Nous le mettons sur le support et le laissons à l'extérieur exposé aux rayonnements solaires et aux. Les pièces déverse sont placées selon la chronologie qui est représentée dans le tableau 1

Tableau 1: Programme d'expérience

N° de pièces	Début	Fin	Durée (jours)
01	22/04/2022	23/04/2022	1
02	22/04/2022	24/04/2022	2
03	22/04/2022	25/04/2022	3
04	22/04/2022	26/04/2022	4
05	22/04/2022	29/04/2022	7
06	22/04/2022	30/04/2022	8
07	22/04/2022	05/05/2022	13
08	22/04/2022	07/05/2022	15
09	22/04/2022	08/05/2022	16
10	22/04/2022	09/05/2022	17
11	22/04/2022	10/05/2022	18

## 2. Transmittance et l'accumulation de poussière

### 2.1. Mesures de la densité de poussière

But de déterminer la densité de poussière accumulée, nous avons pesé les pièces de verre avant et après l'exposition aux changements climatiques à l'aide d'une balance électronique d'une précision de  $10^{-4}$  g, voir la figure 02

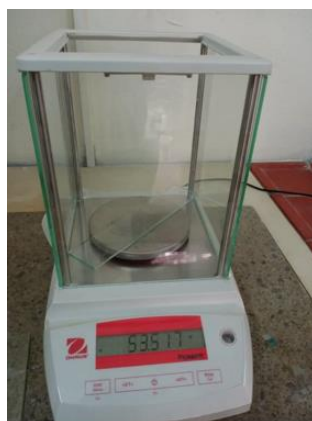


Figure 19 : Balance électronique d'une précision de  $10^{-4}$

### Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

La densité de poussière a été calculée pour chaque pièce de verre suivant les étapes suivantes :

1- Masse de la poussière :

$$M_{poussière} = M_{après} - M_{avant} \quad (1)$$

2- Surface de pièce de verre :

$$S = (38 * 185) = 7030 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

3- Densité de poussière :

$$d = \frac{M_{poussière}}{S} \quad (3)$$

Tableau 2 : Résultats de mesures

Récupération	N° pièce	Surface (mm <sup>2</sup> )	Masse de la poussière (g)	Densité (g/m <sup>2</sup> )
23/04/2022	01	0,007332	0,005	0,681942171
24/04/2022	02	0,007332	0,017	2,318603382
25/04/2022	03	0,007106	0,009	1,266535322
26/04/2022	04	0,007106	0,047	6,614128905
29/04/2022	05	0,007068	0,012	1,697792869
30/04/2022	06	0,007332	0,006	0,818330606
05/05/2022	07	0,007106	0,006	0,844356882
07/05/2022	08	0,007106	0,005	0,703630735
08/05/2022	09	0,007332	0,006	0,818330606
09/05/2022	10	0,007144	0,023	3,219484882
10/05/2022	11	0,006956	0,035	5,031627372

### Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

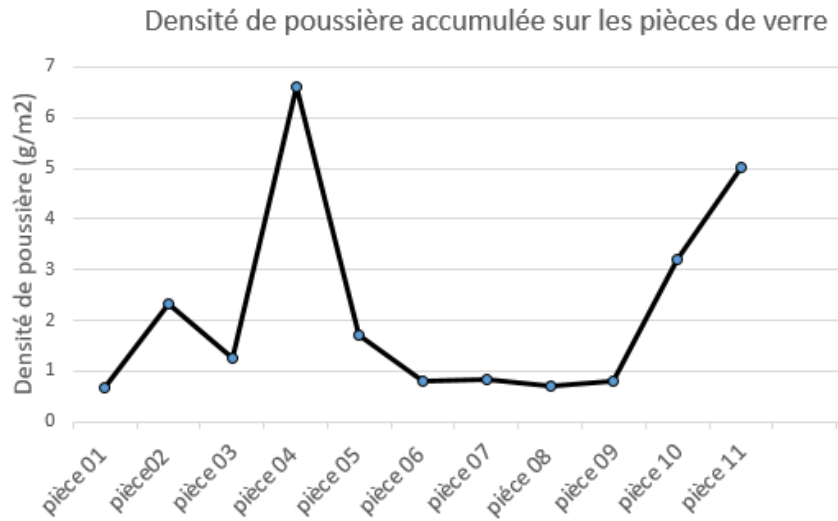


Figure 20 : Densité de poussière accumulée sur les pièces de verre

On voit que la densité de la poussière augmente, Le graphe forme un pic dans la pièce 04

#### 2.2. Effet de la poussière sur le taux de transmittance

Dans cette partie on va mesurer la transmittance de l'éclairage sur les pièces de verre utilisées précédemment. Nous mesurons l'éclairage voir la figure.04. Les pièces utilisées sont les pièces (01, 02, 03, 04, 05, 08, 09, 10,11) plus une pièce de verre propre. :



Figure 21 : Eclairage sur les pièces de verre

### Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

**Tableau 3 : Mesurer de la transmittance des pièces de verre**

Récupération	N° Pièces	Transmittance (w/m <sup>2</sup> )
22/04/2022	Pièce 0 (propre)	132
23/04/2022	01	99
24/04/2022	02	101
25/04/2022	03	95
26/04/2022	04	94
29/04/2022	05	90
30/04/2022	06	91
05/05/2022	07	92
07/05/2022	08	93
08/05/2022	09	92
09/05/2022	10	89
10/05/2022	11	95

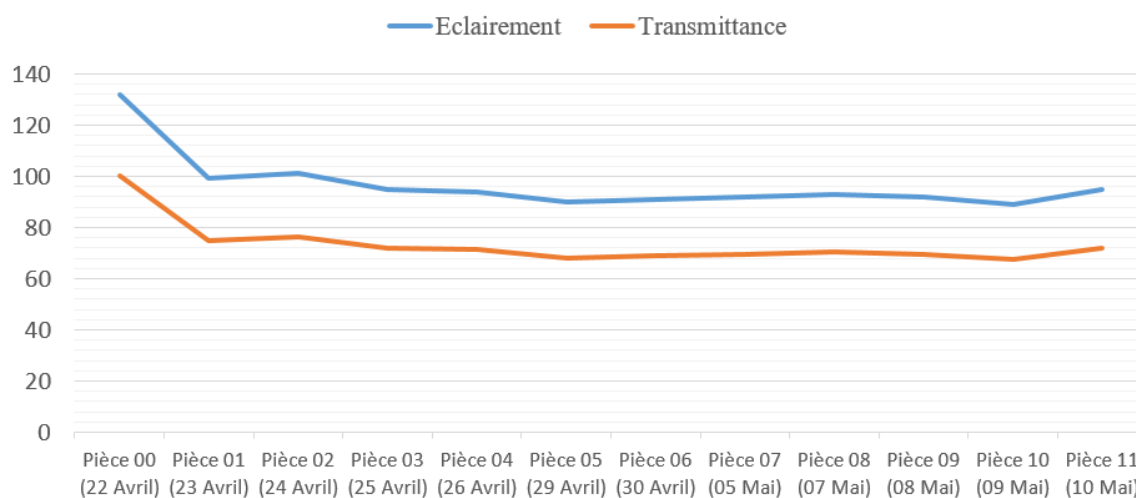


Figure 22 : Transmittance des pièces de verre

Les résultats des mesures expérimentales et la figure 05 représentent l'éclaircissement et la transmittance des pièces de verre. Dans la pièce 01 qui a été exposée aux changements climatiques (Température, Humidité et l'ensoleillement) de 22/04/2022 au 23/04/2022 pendant 24 heures, la poussière accumulée et la transmittance inversement proportionnels lorsque la poussière augmente et alors la transmittance va diminuer.

Par contre pour les pièces 04, 10 et 11, les valeurs de la densité de poussière sont très grandes par rapport aux autres valeurs alors que les transmittances restent presque les mêmes. Cette anomalie est due à la méthode classique de mesure utilisée qui contient forcément des erreurs de mesures.



# Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

## 2.3. Variation du taux de transmittance en fonction de paramètres météorologique

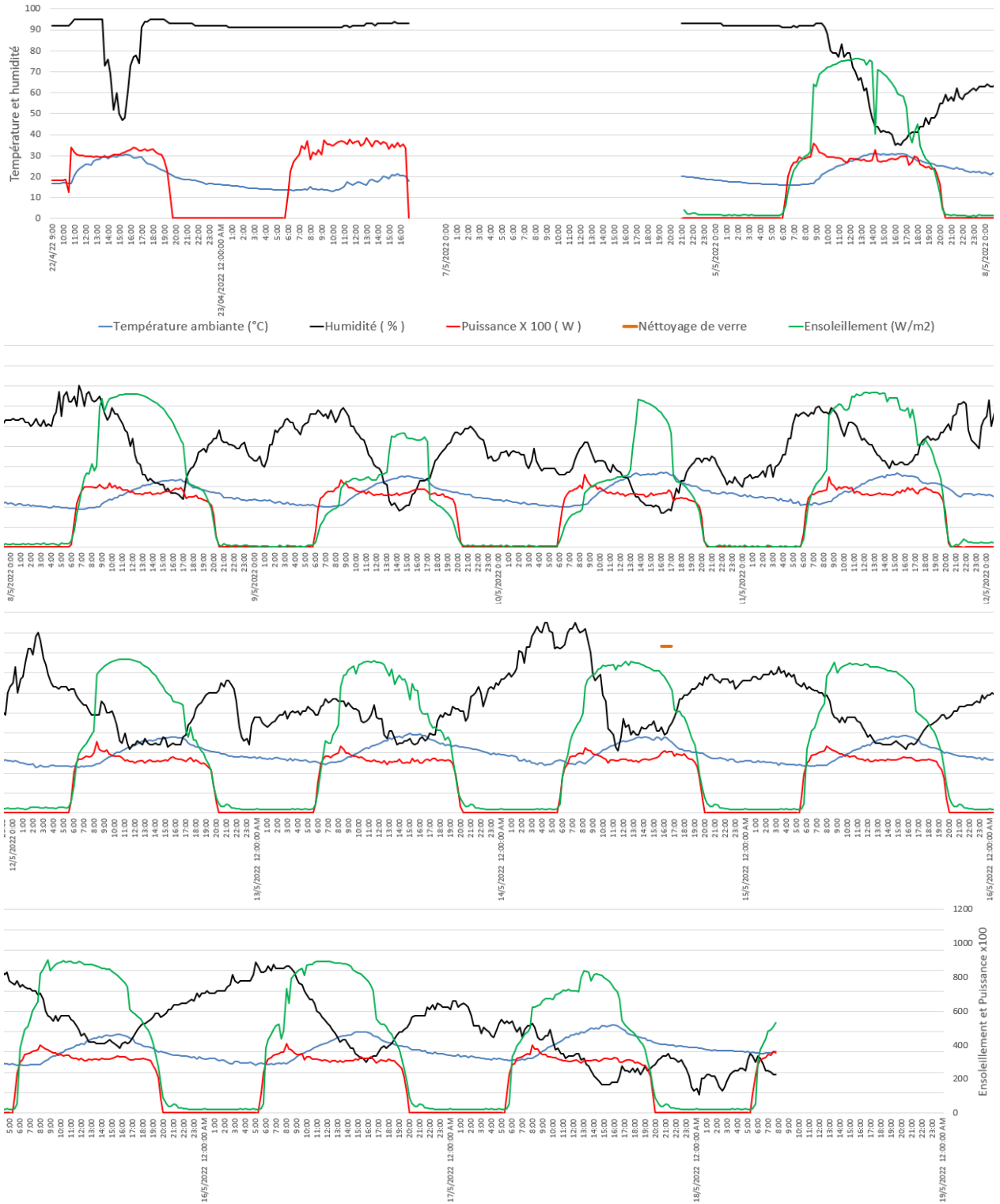


Figure 23 : Mesures de température, humidité, ensoleillement et puissance photovoltaïque

### Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

Dans la figure 07, la période de 22/04/2022 jusqu'à 23/04/2022 : l'apparition des trois paramètres (Humidité, température et la puissance), par contre le quatrième paramètre ensoleillement n'est pas mesuré. L'absence des données de quelques paramètres est tout à fait naturel puisque c'est la phase des essais du montage. Dans le jour suivant nous avons rectifié les erreurs électriques (nous avons perfectionné l'installation par un changement de capteur LDR et sa résistance).

Dans la période 23/04/2022 à 05/05/2022 (pièces 2, 3, 4, 5,6 et 7) : la température a diminué de 36°C à 13°C et de même pour l'ensoleillement de 923 W/m<sup>2</sup> à 4 W/m<sup>2</sup>. Humidité inversement proportionnels de 42% à 95% et qui conduisent à diminuer la transmittance comme nous l'avons vu dans la figure 05 pièce numéro 2.

Dans la période 11/05/2022 on voit que l'ensoleillement est plus petit que la journée qui suit. Par contre, les valeurs de la puissance électrique générée est plus grande que celle de la journée 12/05/2022, cela veut dire que le taux d'humidité élevé durant la nuit à influencer sur l'accumulation de poussière donc une diminution de la puissance photovoltaïque générée. Ceci confirme les résultats publiés par Mr. Houssain Zitouni, c'est-à-dire que l'humidité est un facteur qui favorise l'accumulation de poussière sur les modules photovoltaïques [39].

Dans la journée 15/05/2022 nous avons nettoyé notre module photovoltaïque avec de l'eau (nettoyage manuel) à 16:00 h, nous avons remarqué que la puissance électrique générée à augmenter par rapport à la journée précédente.

Dans la journée du 05/09/2022 nous avons remarqué qu'il pleuvait pendant une demi-heure donc comme on le voit sur le tableau 3 l'augmentation du taux de transmittance qui correspond à la pièce récupérer le jour suivant 05/10/2022. Après les heures de pluies, la conversion photovoltaïque peut augmenter de 10 %. De plus, une tempête de pluie occasionnelle peut en fait être bonne pour la production du système solaire, car c'est un moyen facile et sûr de nettoyer les panneaux, par contre le nettoyage n'est pas à 100 % car la chute de pluie rajoute une couche d'impuretés par-dessus, ce qui rend nos panneaux un peu sales.

## Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

### 2.1. Solutions proposées :

D'après cette expérience et des études faites auparavant, Il a été constaté que le nettoyage manuel des panneaux (cela concerne principalement les petites et moyennes installations photovoltaïques) a également des effets néfastes. Des micro-rayures apparaissent au fil du temps sur les surfaces suite à des frottements sur des grains de sable, elle représente une grande quantité mais Sans un nettoyage régulier, les installations solaires et photovoltaïques sont susceptibles à défaillance et distorsion

L'encrassement est un problème majeur pour les systèmes solaires, car l'accumulation de particules de poussière sur les surfaces peut entraîner l'absorption et la diffusion du rayonnement solaire, entraînant une réduction significative de la production d'énergie. dans le but de réduire Grande accumulation de poussière, des revêtements antisalissure sont en cours de développement pour réduire le dépôt de particules et réduire les coûts de maintenance dus aux opérations de nettoyage, augmentant ainsi la production d'énergie [40],[41]

Dans une étude de 2018, une équipe de chercheurs a étudié les revêtements et utilisé Capteur de nettoyage de piste pour comparer l'indice de saleté entre les groupes Miroirs peints et non peints laissés à l'extérieur pour s'accumuler naturellement La saleté est dans deux positions différentes : horizontale et à 45°. Conclu Le revêtement a un effet positif sur le rendement du système photovoltaïque car il aide Niveaux d'encrassement réduits et faibles coûts associés aux pertes d'énergie qui en résultent en raison de l'accumulation de poussière [40] .

Les chercheurs ont préparé un revêtement Réduire l'accumulation de poussière. Ils ont synthétisé deux films  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  avec une teneur en titane différente et les ont comparés avec du  $\text{TiO}_2$  pur en termes de transparence et hydrophile. De plus, des matériaux antireflets hydrophobes à base de films de  $\text{SiO}_2$  fonctionnalisés ont également été étudiés. Tous ces revêtements ont été déposés sur des substrats de verre flotté à faible teneur en fer par des techniques de trempage sol-gel et d'évaporation par faisceau d'électrons. Les couches minces de  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  et  $\text{SiO}_2$  présentent une transmission plus élevée que le  $\text{TiO}_2$  pur dans la plage de lumière visible [42]

## Chapitre III. Etude de cas : Région de Tlemcen

Il existe différentes stratégies pour réduire les salissures (poussière, sable, particules, etc.) d'atteindre les surfaces optiques et assurer la puissance de sortie des capteurs solaires. Parmi eux, les revêtements de surface « actifs » et « passifs » sur les réflecteurs peuvent aider à prévenir l'accumulation de poussière. Ces revêtements doivent être durables et résistants à l'abrasion (due aux tempêtes de sable et aux tâches de nettoyage par contact), à la température, à l'humidité, aux polluants et aux rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges.

Les revêtements actifs en tant qu'écrans électrodynamiques consistent en un mince film diélectrique transparent qui est construit, en déposant des rangées d'électrodes parallèles conductrices. Cet écran provoque le mouvement des poussières sous onde progressive champs électriques lorsqu'une charge est induite. Cette technologie n'utilise pas d'eau et peut éliminer 95% de la poussière du miroir cette présente deux inconvénients principaux : le coût élevé et la nécessité d'une source d'alimentation externe.

Dans ce contexte, une solution passive comme le revêtement anti-salissures semble être la stratégie la plus intéressante pour réduire l'accumulation de poussière sur les réflecteurs solaires. Revêtements anti-salissures déposés à la surface des réflecteurs en verre argenté présents les avantages suivants : le coût de maintenance est réduit en réduisant les temps de lavage, la consommation d'eau est considérablement diminué et l'efficacité est augmentée puisque la réflectance moyenne du champ solaire reste plus haut. [43]

### 3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons interprété les résultats obtenus à partir de cette expérience que nous avons fait dans la région de Tlemcen, et faire une discussion générale pour proposer des solutions. Tout d'abord nous avons mis un support en bois qui contient 15 morceaux de verre similaires à des modules photovoltaïques où nous avons mesuré la transmittance optique puis nous avons examiné l'influence des paramètres (humidité, température et ensoleillement) sur la puissance générée par le module photovoltaïque.

## Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire est d'étudier l'impact des paramètres météorologiques sur le rendement des systèmes photovoltaïques.

La première étape de ce travail est consacrée à une information générale sur la filière photovoltaïque. Celles-ci se sont d'abord concentrées sur les ressources énergétiques solaires et leurs principales caractéristiques, le fonctionnement et la modélisation des cellules photovoltaïques sont introduits. Les principaux composants constituant le module PV en général sont présentés.

Dans un deuxième chapitre, différents facteurs influençant sur le dépôt de poussière ont été présentées et l'influence des principaux paramètres météorologiques (ensoleillement, température) sur le comportement du module photovoltaïque est présentée. Ensuite, nous avons étudié l'effet de l'accumulation de poussière sur le rendement du système PV sur. Puis, nous avons donné des explications concernant les modèles mathématiques. Enfin, nous avons donné un apercevoir sur les méthodes de nettoyage des systèmes photovoltaïques

La troisième partie a porté sur l'étude expérimentale dédiée à étudier l'impact de la poussière et les conditions climatiques sur l'efficacité des systèmes photovoltaïques dans les régions à climat semi-aride. Dans ce travail, une étude expérimentale a été effectuée pour analyser l'effet de l'accumulation de la poussière sur la transmission de la lumière à travers le verre. Les expériences ont été effectuées durant des périodes différentes entre le 22/04/2021 et 19/05/2021. Où, il est constaté que l'accumulation de la poussière varie proportionnellement avec le taux d'humidité et inversement avec la pluie. Le taux de perte de transmittance a atteint environ 29% à la fin de cette étude.

Compte tenu des résultats importants obtenus dans ce travail, voici quelques solutions qui pourraient être considérée :

- L'étude expérimentale doit être fait en une période qui dure entre 6 mois et une année pour mieux analyser l'effets de Poussière accumulée dans la zone
- Utiliser des revêtements antialissure semble être la stratégie la plus intéressante pour réduire l'accumulation de poussière

## Références

- [1] M. Bey and B. Benyoucef, “Utilisation de l’énergie hybride renouvelable dans les fermes agricoles et leurs contributions dans le développement durable dans les régions de Tlemcen,” Oct. 2017, pp. 1–135, Accessed: Jun. 20, 2022. [Online]. Available: [https://scholar.google.fr/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=fr&user=K1LW2dIAAAAJ&citation\\_for\\_view=K1LW2dIAAAAJ:9yKSN-GCB0IC](https://scholar.google.fr/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=K1LW2dIAAAAJ&citation_for_view=K1LW2dIAAAAJ:9yKSN-GCB0IC).
- [2] D. Kherbouche and B. Benyoucef, “Anaerobic Digestion: an Energy and Environmental,” *Am. J. Environ. Prot.*, vol. 2, no. 2, pp. 47–52, 2013, Accessed: Jun. 20, 2022. [Online]. Available: [https://scholar.google.fr/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=fr&user=fYsmyNsAAAAJ&citation\\_for\\_view=fYsmyNsAAAAJ:NXb4pA-qfm4C](https://scholar.google.fr/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=fYsmyNsAAAAJ&citation_for_view=fYsmyNsAAAAJ:NXb4pA-qfm4C).
- [3] A. Ghomri and D. Kherbouche, “CONCEPTUAL DENSITY FUNCTIONAL THEORY [DFT] STUDY OF SOME ORGANIC DYES FOR THEIR USE AS SENSITIZERS IN MOLECULAR PHOTOVOLTAICS,” *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 1s, pp. 245–254, 2020, Accessed: Jun. 20, 2022. [Online]. Available: [https://scholar.google.fr/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=fr&user=fYsmyNsAAAAJ&citation\\_for\\_view=fYsmyNsAAAAJ:a9-T7VOCCH8C](https://scholar.google.fr/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=fYsmyNsAAAAJ&citation_for_view=fYsmyNsAAAAJ:a9-T7VOCCH8C).
- [4] D. Kherbouche and B. Benyoucef, “Valorisation énergétique de la biomasse: production du biogaz à partir de la méthanisation aux sites algériens,” in *JITH 2007*, Aug. 2007, pp. 1–5, Accessed: Jun. 20, 2022. [Online]. Available: [https://scholar.google.fr/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=fr&user=fYsmyNsAAAAJ&citation\\_for\\_view=fYsmyNsAAAAJ:z\\_wVstp3MssC](https://scholar.google.fr/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=fYsmyNsAAAAJ&citation_for_view=fYsmyNsAAAAJ:z_wVstp3MssC).
- [5] A. Bleila, “Etude et évaluation de la dégradation des modules photovoltaïques (UDTS 50) sous environnement saharien: URERMS Adrar,” Master, Université Ahmed Draia ADRAR, 2017.
- [6] A. Amjed, “Etude technicoéconomique d’une installation photovoltaïque pour application dans la région de Ouargla,” UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [7] M. Traore, “Gestion du système photovoltaïque d’une alimentation privée connectée au Réseau,” Magister, Université Badji Mokhtar ANNABA, 2017.
- [8] H. Boualem, “Effets de la poussière et les conditions climatiques sur l’efficacité du système photovoltaïque dans les régions à climat semi-aride: Cas de la région de Tlemcen,” Master, University of Tlemcen, 2021.
- [9] R. Algerienne and D. Et, “Mémoire,” Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2021.
- [10] E. et évaluation de la dégradation des modules photovoltaïques (UDTS 50) sous environnement Saharien, “University,” AHMED DRAIA ADRAR, 2017.
- [11] S. Motahr, A. El Ghzizal, S. Sebti, and A. Derouich, “Modélisation et commande d’un panneau photovoltaïque dans l’environnement PSIM,” *Congrès Int. Génie Ind. Manag. des Systèmes*, pp. 301–306, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.3401.6247/1.
- [12] M. Gérard, “L’énergie solaire photovoltaïque ( PV ) : une filière compétitive en site isolé,” *Encyclopédie de l’énergie*. pp. 1–10, 2016.
- [13] M. Sadok and B. B. A. Mehdaoui, “Performances et dégradation des modules PV en milieu

- saharien,” Université Abou bakr Belkaïd, B.P. 119, Tlemcen, Algeria, 2012.
- [14] D. M. Professionnel, “Étude du processus de dégradation d ’ une cellule photovoltaïque,” UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU FACULTE, 2015.
- [15] B. Beckelynck, “Étude de la délamination sur des matériaux composites tissés taffetas : Essais de caractérisation et simulations numériques,” Université LAVAL, 2016.
- [16] A. Rao, R. Pillai, M. Mani, and P. Ramamurthy, “Influence of dust deposition on photovoltaic panel performance,” *Energy Procedia*, vol. 54, pp. 690–700, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.310.
- [17] A. Ndiaye, “Étude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïques - Impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance,” Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2016.
- [18] H. K. Elminir, A. E. Ghitas, R. H. Hamid, F. El-hussainy, M. M. Beheary, and K. M. Abdelmoneim, “Effect of dust on the transparent cover of solar collectors,” vol. 47, pp. 3192–3203, 2006, doi: 10.1016/j.enconman.2006.02.014.
- [19] Z. Wu, S. Yan, T. Ming, X. Zhao, and N. Zhang, “Analysis and modeling of dust accumulation-composed spherical and cubic particles on PV module relative transmittance,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 44, no. September 2020, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101015.
- [20] H. A. Kazem, M. T. Chaichan, A. H. A. Al-Waeli, and K. Sopian, “A novel model and experimental validation of dust impact on grid-connected photovoltaic system performance in Northern Oman,” *Sol. Energy*, vol. 206, no. December 2019, pp. 564–578, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.06.043.
- [21] H. Zitouni *et al.*, “Experimental investigation and modeling of photovoltaic soiling loss as a function of environmental variables: A case study of semi-arid climate,” Elsevier B.V., 2021.
- [22] M. G. Hudedmani, G. Joshi, R. M. Umayal, and A. Revankar, “A Comparative Study of Dust Cleaning Methods for the Solar PV Panels,” vol. 1, no. 1, pp. 24–29, 2017.
- [23] R. E. Cabanillas and H. Munguía, “Dust accumulation effect on efficiency of Si photovoltaic modules,” *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 03, pp. 1–9, 2011, doi: 10.1063/1.3622609.
- [24] S. Anwar, A. Kumar, M. Maarof, and M. Mokhtar, “Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels,” *Energy Procedia*, vol. 50, pp. 50–56, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.06.006.
- [25] S. Semaoui, A. Hadj, E. Kouadri, and S. Bacha, “Dust effect on optical transmittance of photovoltaic module glazing in a desert region,” *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 1347–1357, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.781.
- [26] I. Al Siyabi, A. Al Mayasi, and A. Al Shukaili, “Effect of Soiling on Solar Photovoltaic Performance under Desert Climatic Conditions,” *Energies*, vol. 14, no. 659, pp. 1–18, 2021.
- [27] R. J. Mustafa, M. R. Gomaa, M. Al-Dhaifallah, and H. Rezk, “Environmental impacts on the performance of solar photovoltaic systems,” *Sustain.*, vol. 12, no. 2, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/su12020608.
- [28] H. A. Kazem, M. T. Chaichan, A. H. A. Al-Waeli, and K. Sopian, “A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems,” *J. Clean. Prod.*, vol. 276, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123187.
- [29] G. Ciulla, V. Lo Brano, V. Franzitta, and M. Trapanese, “Assessment of the Operating Temperature of Crystalline PV Modules Based on Real Use Conditions,” *Int. J. Photoenergy*, vol. 2014, pp. 1–11, 2014.
- [30] V. B. Omubo-Pepple and G. I. Alaminokuma, “Effects of temperature , solar flux and relative humidity on the efficient conversion of solar energy to electricity,” *Eur. J. Sci. Res.*,

- vol. 35, no. 2, pp. 173–180, 2009.
- [31] C. C. Okorieimoh and M. Conlon, “Influence of site and system parameters on the performance of roof-top grid-connected PV systems installed in Harlequins , Belfast , Northern Ireland,” *Int. Res. J. Eng. Technol. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 507–520, 2022, doi: 10.21427/JXVY-V383.
- [32] E. Annigoni *et al.*, “Moisture ingress into PV modules : Compressive shear test to accurately measure and a new monitoring technique adhesion of PV encapsulants,” 2013.
- [33] K.-A. Weiß, B. Laura S., and F. Roger H., “Service Life Estimation for Photovoltaic Modules 2021,” *International Energy Agency*, p. 76, 2021.
- [34] H. A. Kazem, T. Khatib, K. Sopian, F. Buttinger, W. Elmenreich, and A. S. Albusaidi, “Effect of Dust Deposition on the Performance of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 3, no. 4, 2013.
- [35] N. Martin and J. M. Ruiz, “Calculation of the PV modules angular losses under " eld conditions by means of an analytical model,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 70, no. September, pp. 25–38, 2001, doi: 10.1002/pip.585.
- [36] M. Heinrich *et al.*, “Detection of cleaning interventions on photovoltaic modules with machine learning,” *Appl. Energy*, vol. 263, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114642.
- [37] D. S. N. Simiyu, “Optimal cleaning strategy for large scale solar photovoltaic,” Master, University of Pretoria, 2020.
- [38] R. Filipe, “Soiling in Solar Energy Conversion Technologies : Assessment and Mitigation,” Doctorat, University of Évora, Portugal, 2019.
- [39] H. Zitouni *et al.*, “Experimental investigation of the soiling effect on the performance of monocrystalline photovoltaic systems,” *Energy Procedia*, vol. 157, no. 2018, pp. 1011–1021, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.268.
- [40] E. France, “Trois solutions pour optimiser la production photovoltaïque,” *Trois Solut. pour optimiser la Prod. photovoltaïque Le*, pp. 20–22, 2021, [Online]. Available: <https://www.actu-environnement.com/ae/news/solutions-optimiser-production-photovoltaique-reduire-prix-31746.php4>.
- [41] K. Zereg, A. Gama, M. Aksas, N. Rathore, F. Yettou, and N. Lal Panwar, “Dust impact on concentrated solar power: A review,” *Environ. Eng. Res.*, vol. 27, no. 6, pp. 0–20, 2021, doi: 10.4491/eer.2021.345.
- [42] M. A. M. L. de Jesus, G. Timò, C. Agustín-Sáenz, I. Braceras, M. Cornelli, and A. de M. Ferreira, “Anti-soiling coatings for solar cell cover glass: Climate and surface properties influence,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 185, no. December 2017, pp. 517–523, 2018, doi: 10.1016/j.solmat.2018.05.036.
- [43] E. Aranzabe *et al.*, “Hydrophilic anti-soiling coating for improved efficiency of solar reflectors,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2033, no. November 2018, pp. 0–7, 2018, doi: 10.1063/1.5067223.



## **Résumé :**

Afin d'optimiser un système photovoltaïque, nous avons pris les phénomènes physique (Température, humidité et l'ensoliment ) a partir de notre station météorologique qui est déjà réalisée pour obtenir le diplôme d'ingénieur . La poussière est connue pour avoir un impact significatif sur les performances optiques du système photovoltaïque. Le but de ce travail a été réalisé pour analyser les effets de l'accumulation de poussière sur les performances de sortie du panneau solaire. Des expériences utilisant différents matériaux d'obstruction ont été menées dans des conditions contrôlées en utilisant des projecteurs pour simuler la source de rayonnement solaire et en utilisant différents éléments de verre ainsi qu'un dispositif pyranomètre pour mesurer l'irradiation solaire. Les résultats montrent que la transmission de la lumière à travers le verre a été réduite de 29 %

**Mots clé :** Système photovoltaïque, accumulation de poussière, irradiation solaire, Station météorologique

## **Abstract :**

In order to optimize a photovoltaic system, the climatic and environmental factors of the region must be taken into account dust is known to have a significant impact on the optical performance of photovoltaic system. The aim of this work was performed to analyze the effects of accumulation of dust on the output performances of solar panel. Experiments using different obstruction materials were conducted under controlled condition using spotlights to simulate source of solar radiation and using different elements of glass and also a pyranometer device to measure solar irradiation .the results shows the transmittance of the light through the glass were reduced by 29%

**Keywords :** Photovoltaic system, accumulation of dust, solar irradiation.

## **المخلص:**

من أجل تحسين النظام الكهروضوئي، يجب أن تؤخذ العوامل المناخية والبيئية للمنطقة في الاعتبار، ومن المعروف أن الغبار له تأثير كبير على الأداء البصري للنظام الكهروضوئي

الهدف من هذا العمل هو تحليل آثار تراكم الغبار على أداء مخرجات الألواح الشمسية. أجريت تجارب باستخدام مواد مختلفة في ظل ظروف خاضعة للرقابة باستخدام مصابيح كاشفة لمحاكاة مصدر الإشعاع الشمسي واستخدام عناصر مختلفة من الزجاج وأيضًا جهاز بيرانومتر لقياس الإشعاع الشمسي

أظهرت النتائج أن انحراف الضوء عبر الزجاج انخفض بنسبة 29٪.

**الكلمات المفتاحية:** النظام الكهروضوئي، تراكم الغبار، اشعاع شمسي

