



République Algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR -ANNABA-



**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE**

**MÉMOIRE DE MASTER**

**Thème**

**Etude de détection des défauts liée aux installations  
Photovoltaïque**

**Présenté par:**

- Djellal Mokhtar
- Labed Nizar

**Dirigé par:**

- Mme Azizi Amina

**Jury de soutenance :**

ADJABI Mohamed	Professeur	Université d'Annaba	Président
NECEAIBIA Salah	Professeur	Université d'Annaba	Membre

**Année Universitaire:2024/2025**

## الخلاصة

تتناول هذه الدراسة موضوع الكشف عن الأعطال في الأنظمة الكهروضوئية، والتي تُعتبر أحد أهم مصادر الطاقة المتجددة في الوقت الحالي. تواجه هذه الأنظمة مجموعة من المشاكل التي قد تؤثر على أدائها وكفاءتها، مثل أعطال الوحدات الشمسية، التظليل الجزئي، مشاكل في التوصيلات الكهربائية، وأعطال العاكسات. تهدف هذه الدراسة إلى تطوير طرق فعالة لتشخيص هذه الأعطال والكشف عنها في وقت مبكر.

اعتمدت المنهجية المتبعة على تحليل منحنيات الجهد-التيار، واستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء، بالإضافة إلى تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل الشبكات العصبية والخوارزميات المعتمدة على التعلم الآلي. تسمح هذه التقنيات بتحديد الأعطال بدقة عالية، مما يساهم في تحسين أعمال الصيانة الوقائية وتقليل فترات توقف النظام.

أظهرت النتائج أن الجمع بين عدة تقنيات تشخيصية يؤدي إلى تحسين فعالية الكشف وتقليل الخسائر التشغيلية. وتقدم هذه الدراسة مساهمة علمية مهمة نحو زيادة موثوقية وكفاءة الأنظمة الكهروضوئية.

**الكلمات المفتاحية:** الأنظمة الكهروضوئية، كشف الأعطال، الصيانة الوقائية، منحنيات الجهد-التيار، التصوير الحراري، الذكاء الاصطناعي.

### *Abstract*

This research focuses on fault detection in photovoltaic (PV) installations, which are a critical component of renewable energy systems. The performance of PV systems can be degraded by various faults, including module failures, partial shading, wiring issues, and inverter malfunctions. The main objective of this work is to develop efficient methods for detecting and diagnosing such faults early.

The adopted methodology involves current-voltage (I-V) curve analysis, infrared thermography, and the application of artificial intelligence techniques such as neural networks and machine learning algorithms. These tools enable accurate fault identification, support predictive maintenance, and enhance the long-term performance of PV systems.

The results demonstrate that combining multiple diagnostic methods significantly improves detection accuracy and reduces system downtime. This study provides a valuable contribution to improving the reliability and operational efficiency of photovoltaic installations.

**Keywords:** Photovoltaic installations, fault detection, predictive maintenance, I-V curve analysis, infrared thermography, artificial intelligence, neural networks, machine learning, system reliability

### *Résumé*

Cette étude porte sur la détection des défauts dans les installations photovoltaïques, une composante essentielle des systèmes de production d'énergie renouvelable. Les performances de ces installations peuvent être compromises par différents types de dysfonctionnements, tels que les pannes de modules, les effets d'ombrage partiel, les défaillances des connexions électriques ou encore les défauts d'onduleurs. L'objectif principal de ce travail est d'identifier ces défauts de manière efficace, en s'appuyant sur des méthodes de diagnostic adaptées.

L'approche adoptée comprend l'analyse des courbes courant-tension (I-V), l'utilisation de la thermographie infrarouge, ainsi que l'intégration de techniques basées sur l'intelligence artificielle, telles que les réseaux de neurones et les algorithmes d'apprentissage automatique. Ces outils permettent de détecter précocement les anomalies, d'optimiser la maintenance préventive et d'améliorer la durabilité des installations.

Les résultats obtenus montrent que la combinaison de plusieurs techniques de diagnostic permet une meilleure précision de détection et réduit considérablement les temps d'arrêt des systèmes. Cette étude contribue ainsi à l'amélioration de la fiabilité et de la rentabilité des installations photovoltaïques.

**Mots-clés :** Installations photovoltaïques, détection des défauts, maintenance préventive, courbes I-V, thermographie infrarouge, intelligence artificielle, réseaux de neurones, apprentissage automatique, fiabilité.

## ***REMERCIEMENT***

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pourvoir réaliser ce travail de recherche.

### **A mes chers parents et mon frère, mes sœurs**

Quoi que je dise ou que je fasse, je n'arrivai jamais à vous remercier comme il se doit. C'est grâce à vos encouragements, vos bienveillances et votre présence à mes côtés, que j'ai réussi ce respectueux parcours

Je souhaite que vous soyez fière de moi, et que j'ai pu répondre aux espoirs que vous avez fondé en moi et merci à toute ma famille et mes amis

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à ***Madame Azizi Amina*** pour avoir dirigé ce mémoire.

Nous avons eu le plaisir de travailler sous votre direction. Nous vous remercions pour votre gentillesse et spontanéité avec lesquelles vous avez dirigé ce travail, ainsi que pour votre disponibilité et vos conseils que grâce à eux nous avons pu améliorer notre travail.

Nous espérons que votre confiance que vous nous accordez et que ce mémoire est à la hauteur de vos espérances.

## ***REMERCIEMENT***

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame **Azizi Amina** Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie mes très *chers parents*, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes frères leurs encouragements. *et* mes amis qui ont toujours été là pour moi Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude

## liste des Tableaux

---

### *Liste des tableaux*

<b>Tableau I.1</b> Potentiel solaire en Algérie.....	24
<b>Tableau I.2</b> Comparaison entre l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne selon plusieurs critères .....	56
<b>Tableau II.1</b> Les différents défauts dans le générateur PV .....	77

## *Liste des figures*

### ***Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque***

<b>Fig I.1</b> Les énergies renouvelables.....	
<b>Fig I.2</b> Energie biomasse .....	6
<b>Fig I.3</b> L'énergie hydraulique .....	7
<b>Fig I.4</b> L'énergie solaire photovoltaïque .....	9
<b>Fig I.5</b> Chauffe-eau solaire individuel.....	
<b>Fig I.6</b> Irradiation horizontale globale en Algérie .....	11
<b>Fig I.7</b> Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	
<b>Fig I.8</b> le soleil.....	12
<b>Fig I.9</b> Câblage de panneaux solaire en série .....	14
<b>Fig I.10</b> Connexion en parallèle de l'ampérage des panneaux solaires ..	15
<b>Fig I.11</b> Structure d'un système autonome .....	15
<b>Fig I.12</b> Système photovoltaïque connecté au réseau électrique.....	

### ***Chapitre II : Défauts liés aux systèmes photovoltaïques***

<b>Fig II.1</b> Exemples de défauts rencontrés dans des générateurs PV .....	
<b>Fig II.2</b> Pannes et pannes du module solaire photovoltaïque.....	
<b>Fig II.3</b> Fissuration et dommages cellulaires .....	21

### ***Chapitre III : Réalisation d'un système PV connecté au réseau***

<b>Fig III.1</b> Réalisation d'un système PV connecté au réseau .....	46
<b>Fig III.2</b> Solarimètre .....	47
<b>Fig III.3</b> multimètre .....	48
<b>Fig III.4</b> onduleur .....	49
<b>Fig III.5</b> Régulateur .....	49



<b>Fig III.6</b> Batterie.....	50
<b>Fig III.7</b> La dégradation à vue d’œil causée par la poussière .....	51
<b>Fig III.8</b> une interface logicielle en français utilisée pour la simulation ou la planification de systèmes photovoltaïques ou de production d'énergie. ....	52
<b>Fig III.9</b> une interface logicielle utilisée pour la conception d’un système photovoltaïque autonome. ....	52
<b>Fig III.10</b> la fiche technique d’un module photovoltaïque dans Psys .....	46
<b>Fig III.11</b> Paramètres pour modèle Pvsys d’un module photovoltaïque ... ..	47
<b>Fig III.12</b> Effet de l’éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$ .....	48
<b>Fig III.13</b> Effet de l’éclairement sur la caractéristique $P= f(V)$ .....	49
<b>Fig III.14</b> courbes courant-tension d’un module photovoltaïque différentes valeurs d’Irradiance solaire .....	49
<b>Fig III.15</b> une courbe de puissance en fonction de la tension (P-V).....	50
<b>Fig III.16</b> un graphique illustrant l’efficacité d’un module photovoltaïque en fonction de l’Irradiance globale incidente pour différentes températures de cellule. ....	51
<b>Fig III.17</b> les courbes courant-tension (I-V) d’un module photovoltaïque, en fonction de la température de cellule. ....	46
<b>Fig III.18</b> le comportement en puissance (P-V) d’un module photovoltaïque en fonction de la température des cellules.... ..	47
<b>Fig III.19</b> configuration d’un contrôleur de charge de batterie avec suiveur MPPT .....	48
<b>Fig III.20</b> paramètres de dégradation des modules photovoltaïques dans le logiciel de simulation Pvsys .....	49
<b>Fig III.21</b> dégradation des modules PV dans Pvsys en affichant le facteur de dégradation en pourcentage (%)... ..	47

---

**Fig III.22** une analyse détaillée du comportement du champ photovoltaïque (PV) avec prise en compte des différentes contributions aux pertes dans le logiciel Pvsys.....





## Tables des matières

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

### Chapitre I : généralité sur l'énergie solaire photovoltaïque

Introduction.....	3
I.1 Définition de l'énergie renouvelable.....	
I.2 Les différents types de l'énergie renouvelables.....	
I.2.1 L'énergie géothermie.....	
I.2.2 L'énergie éolienne.....	
I.2.3 L'énergie de la biomasse .....	
I.2.4 L'énergie hydraulique .....	
I.2.5 L'énergie solaire .....	
I.3 Potentiel solaire en Algérie .....	
I.4 Répartition spectrale du rayonnement solaire .....	
I.5 Définition d'énergie solaire .....	
I.5.1 Les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque.....	
I.6 Le câblage de panneaux solaires.....	
I.6.1 Le câblage de panneaux solaires en série .....	
I.6.2 Le câblage de panneaux solaire en parallèle.....	
I.7 Différents types de systèmes photovoltaïques.....	
I.7.1 Le système autonome .....	
I.7.1.1 Composants d'un système photovoltaïque autonome .....	
I.7.1.2 Fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome.....	
I.7.1.3 Avantages d'un système photovoltaïque autonome.....	
I.7.1.4 Inconvénients d'un système photovoltaïque autonome.....	
I.7.1.5 Applications typiques des systèmes photovoltaïques autonomes .....	
I.7.2 Le système connecté au réseau.....	

### Chapitre II : Défauts liées aux système photovoltaïque

Introduction .....	18
II.1 Les défauts les plus fréquents rencontrés dans un champ PV .....	18

---

II.2 Détection et localisation de défauts pour un système PV .....	26
II.3 Défauts dans le système photovoltaïque.....	
II.3.1 Types de défauts du module PV.....	
II.4 Défaut de ligne à ligne.....	
II.4.1 Défaut d'encapsulation.....	
II.5 Perte d'adhérence de back-sheet.....	
II.5.1 Fissuration des cellules.....	
II.5.2 Interconnexion endommagée.....	
II.5.3 Ombrage et des salissures .....	

### **Chapitre III : Réalisation d'un système PV connecté au réseau**

Introduction .....	46
III.1 Réalisation d'un système photovoltaïque connecté au réseau .....	46
III.1.2 Le Matériel.....	47
III.2 Validation par la simulation.....	50
Conclusion générale.....	116
Références .....	118

# Introduction générale

## **Introduction générale**

Les experts en énergie nous avertissent que dans les prochaines années, il y aura Crise énergétique causée par la baisse des capacités de production de pétrole et de gaz Ne sera pas en mesure de répondre à la demande. D'autre part, le réchauffement climatique causé par les émissions de gaz à effet de serre Les gaz à effet de serre et leurs impacts polluants associés (principalement causés par la combustion d'énergie) combustibles fossiles) et la croissance de toutes les formes de consommation d'énergie, De nombreux pays ont manifesté leur intérêt pour les énergies renouvelables, notamment Ce sera l'objet de ce travail : l'énergie solaire photovoltaïque. C'est une sorte d'énergie électrique Les appareils fabriqués à l'aide de panneaux solaires peuvent récupérer une partie de l'énergie Le soleil rayonne de l'énergie et la convertit en électricité. électricité L'eau produite peut être utilisée sur place ou injectée dans le réseau de distribution.

L'objectif de ce travail est de faire l'étude et le dimensionnement d'un système photovoltaïque. Sur ce, un travail de dimensionnement sur une charge isolée, en utilisant un logiciel spécifique "le Pvsys" Pour décrire cela, ce mémoire est présenté en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur l'énergie photovoltaïque, en introduisant le principe. Nous nous concentrons principalement sur la technologie utilisée dans les panneaux solaires et tous les problèmes qu'elle a subis.



---

# **Chapitre I :**

## **Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque**

**Introduction :**

Ces dernières années, l'utilisation des énergies renouvelables, connues pour leur respect de l'environnement, a considérablement augmenté. L'utilisation de sources d'énergie renouvelables pour la production d'électricité est soumise à des limitations spécifiques, telles que la variabilité de ces sources d'énergie, les limitations de la récupération d'énergie et la détérioration de la qualité des infrastructures [1].

Dans ce chapitre, nous analyserons l'état actuel des énergies renouvelables en Algérie, nous explorerons également les différents types de dégradations internes et externes qui peuvent affecter les installations PV et présenterons les principales méthodes de détection des panneaux dégradés..

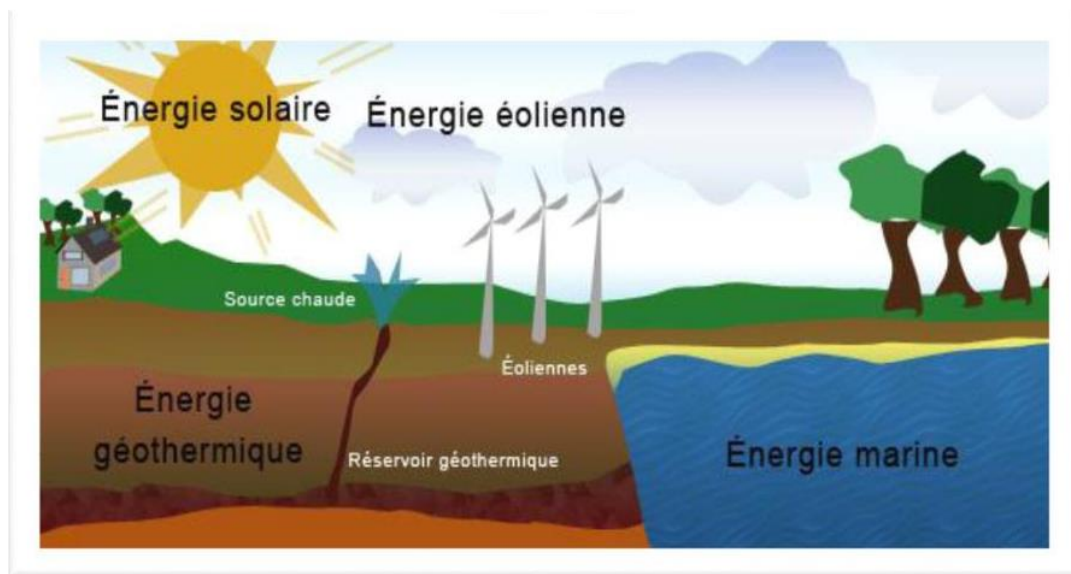
**I.1 Définition de l'énergie renouvelable:**

L'énergie renouvelable est un type d'énergie qui peut être renouvelé rapidement et qui est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain [2]. L'énergie renouvelable provient de phénomènes naturels réguliers ou continus causés par les étoiles, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marées) et la Terre (énergie géothermique).

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition. Les énergies renouvelables sont également plus « propres » (moins d'émissions de CO<sub>2</sub>, moins de pollution) que les énergies issues de sources fossiles. [3]

Les principales énergies renouvelables sont :

- L'énergie biomasse.
- L'énergie hydraulique.
- L'énergie éolienne.
- La géothermie.
- L'énergie solaire.



**Fig I.1 :** Les énergies renouvelables.

## **I.2 Les différents types des énergies renouvelables :**

### **I.2.1 L'énergie géothermie :**

L'énergie géothermique est une source d'énergie propre qui provient de la chaleur naturelle de la Terre. Il est produit en exploitant la chaleur stockée dans les roches et les fluides souterrains à des profondeurs de plusieurs kilomètres. Il peut être utilisé pour produire de l'électricité et chauffer des lieux.

En compilant des données géologiques, géochimiques et géophysiques, nous avons découvert plus de 200 sources chaudes dans la partie nord du pays. Environ un tiers d'entre eux (33 %) avaient une température supérieure à 45 °C [4]. Les températures les plus élevées ont été enregistrées à 98°C à Hamman el Mashutin dans le gouvernorat de Guelma et 118°C dans le gouvernorat de Biskra. Les réservoirs gréseux albo-aptiens du sud algérien ont une température moyenne de l'eau de 57°C.[5]

### **I.2.2 L'énergie éolienne :**

L'énergie éolienne est une source d'énergie renouvelable qui utilise la puissance du vent. Une éolienne est une grande turbine qui capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en électricité.

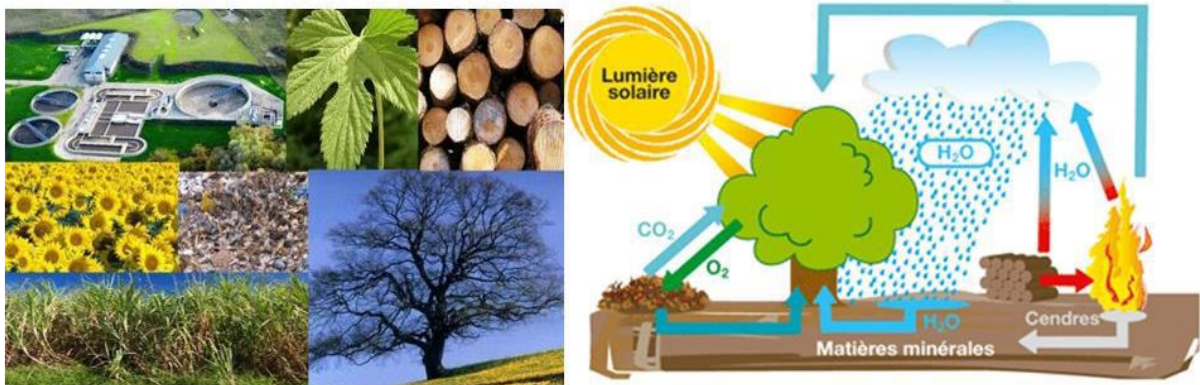
Les ressources éoliennes de l'Algérie se caractérisent par de grandes différences régionales. Selon l'étude de Chellali et al [6], 78% de la superficie du pays bénéficie de vitesses de vent supérieures à 3 m/s, dont près de 40% dépassent 5 m/s. Les vitesses du

vent dans le sud de l'Algérie (supérieures à 6 m/s) sont plus élevées que dans le nord[7] [8], ce qui prouve que la région est propice à l'exploitation de l'énergie éolienne, notamment grâce à l'installation de parcs éoliens ou de systèmes hybrides. Mais cette source d'énergie renouvelable présente de nombreuses difficultés, les coûts d'installation et les perturbations étant principalement les principaux obstacles à la mise en œuvre de projets d'éoliennes en Algérie.

### I.2.3 L'énergie de la biomasse :

L'énergie de la biomasse est l'énergie produite à partir de matières organiques (déchets alimentaires, déchets forestiers, carcasses et fumier animal) pour produire de l'électricité, de la chaleur ou du carburant. La biomasse est considérée comme une source d'énergie renouvelable car les matériaux utilisés peuvent être régénérés en faisant pousser de nouvelles plantes et de nouveaux arbres.

La biomasse possède un potentiel énergétique énorme : les forêts produisent 3,7 millions de tonnes d'équivalent pétrole par an et les déchets agricoles et municipaux produisent 1,33 million de tonnes d'équivalent pétrole par an[9]. Selon Akbi, plus de 1 700 GWh d'électricité pourraient être produits en recyclant les déchets. [10]



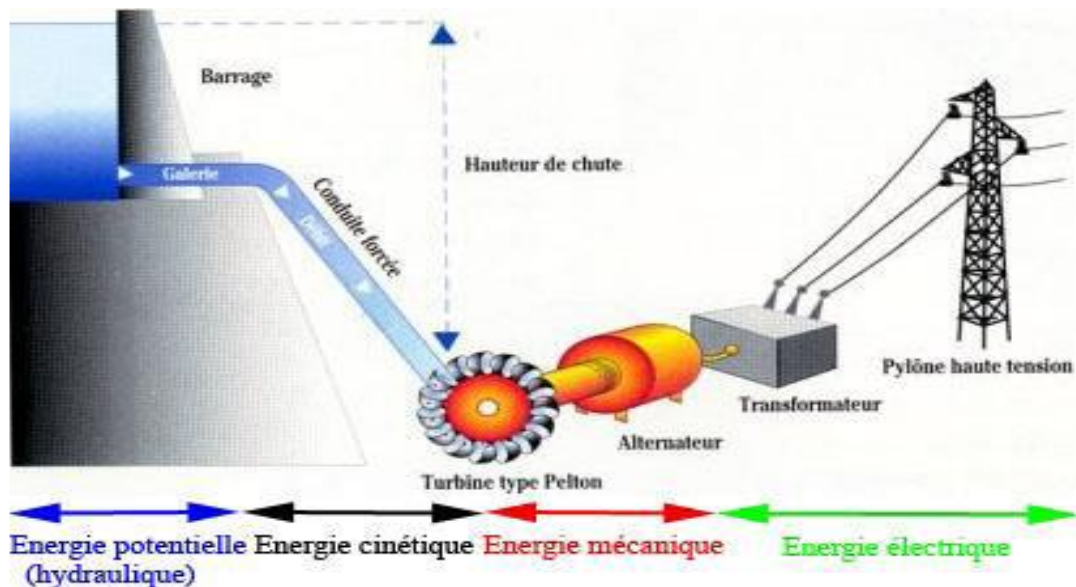
**Fig I.2 : L'énergie de la biomasse**

### I.2.4 L'énergie hydraulique :

L'hydroélectricité est une énergie produite à partir de la force de l'eau en mouvement, comme les chutes d'eau, les vagues de l'océan ou les rivières. Cette force est transformée en électricité grâce à des turbines hydroélectriques installées sur le barrage. [11]

Les précipitations totales en Algérie sont élevées, estimées à 65 milliards de mètres cubes, mais elles n'apportent pas beaucoup d'avantages à la production d'énergie hydroélectrique

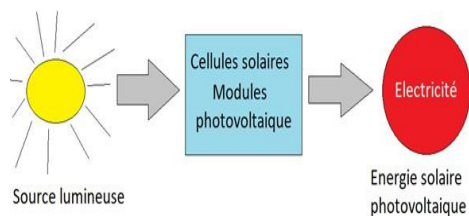
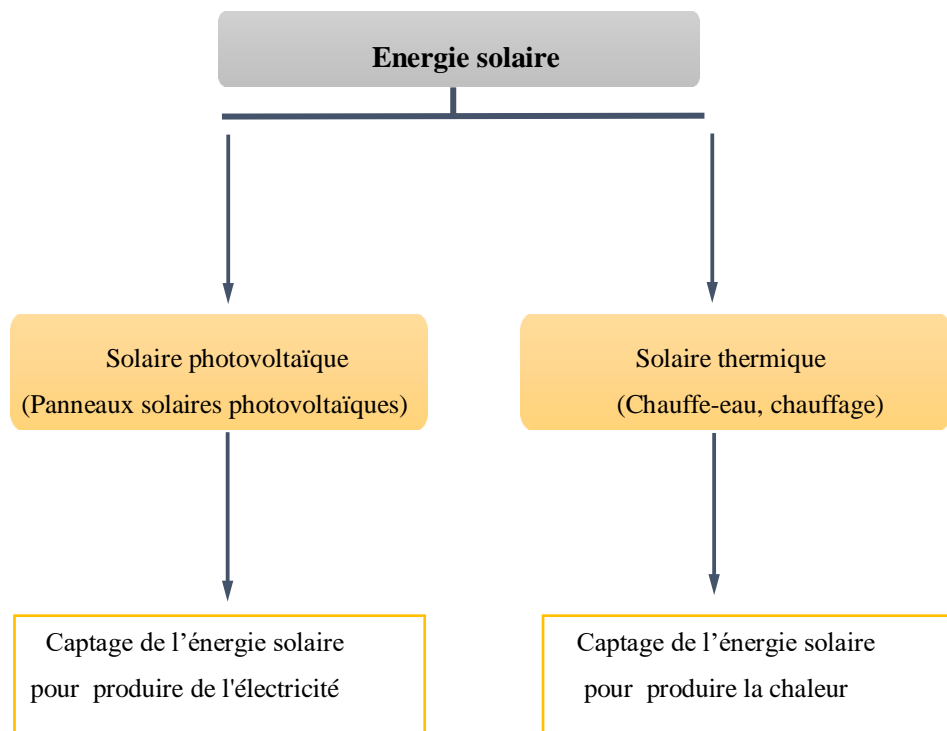
du pays, car tous les barrages existants (103 sites de barrages) ne sont pas pleinement utilisés.



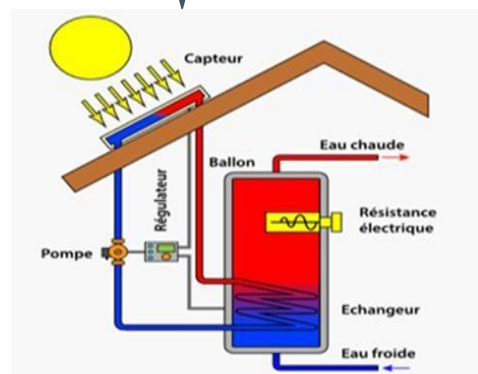
**Fig I.3 : L'énergie hydraulique.**

### **I.2.5 L'énergie solaire :**

L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable qui utilise des panneaux thermiques ou photovoltaïques pour convertir une partie du rayonnement solaire en électricité ou en chaleur. L'Algérie dispose d'un vaste territoire et d'un climat diversifié, avec un fort potentiel solaire, notamment dans la région du Sahara (région sud) [12], [13], propice aux applications solaires telles que les panneaux photovoltaïques (raccordement au réseau, électrification rurale, pompage de l'eau) ou la technologie de l'énergie solaire concentrée (CSP). L'énergie photovoltaïque est divisée en deux catégories, selon le type de mécanisme de fonctionnement du panneau et l'énergie finale obtenue :



**Fig I.4 :** L'énergie solaire photovoltaïque



**Fig I.5 :** chauffe-eau solaire individuel[14]

### I.3 Potentiel solaire en Algérie :

L'Algérie a un gisement solaire énorme grâce à sa situation géographique surtout dans le sud. Ces dernières années, le gouvernement algérien a fait des efforts pour développer le secteur des énergies renouvelables par multiples actions. Par exemple, la création d'un nouveau ministère appelé l'Environnement Energies renouvelables et l'efficacité énergétique et il a mis des programmes pour ces types d'énergies surtout dans domaine d'énergie photovoltaïque.

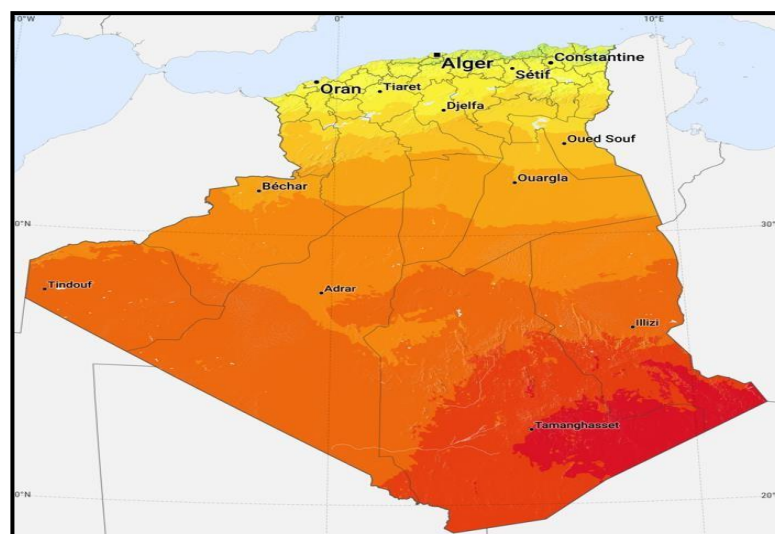
- Le **Tableau I.1**: montre le potentiel solaire dans les trois régions de l'Algérie.

**Le Tableau I.1:**Potentiel solaire en Algérie. [15]

Zones	Zone côtière	Hautes Plaines	Sahara
Superficies (%)	4	10	86
Superficies(km <sup>2</sup> )	9567	238 .174	2.048.297
Durée moyenne d'ensoleillement journalier(h)	7 .26	8.22	9.59
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (kWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650
Densité solaire journalière (kWh/m <sup>2</sup> )	4 .66	5.21	7.26

Ce tableau met en évidence le potentiel exceptionnel du Sahara algérien pour le développement de l'énergie solaire, tant par sa superficie que par son ensoleillement. Les Hautes Plaines offrent aussi un bon potentiel, tandis que la zone côtière, bien que moins favorable, reste utilisable à plus petite échelle. Ces données soulignent l'importance stratégique du Sahara pour la transition énergétique de l'Algérie.

La **Fig I.6** montre l'irradiation horizontale globale en Algérie. [16]



**La Fig I.6 :** Irradiation horizontale globale en Algérie



**Tableau I.2:** Comparaison entre l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne selon plusieurs critères. [17]

		<b>PV</b>	<b>Eolienne</b>
	<b>Le cout</b>	Élevée	Plus élevée que PV
<b>Les critères</b>	<b>Durée d'étude et construction</b>	5 ans à 8 ans	Plus que 10 ans
	<b>La nuisance</b>	Non	Oui
	<b>Rendement</b>	[12% à 25%]	Maximum 59% (limite de Betz)
	<b>La rentabilité en Algérie</b>	Bonne grande surface d'Algérie a un bon éclaircissement	Pas bonne, il y a moins de zone Bien pour l'installation d'éolienne

D'après le Tableau I.2, il est clair que l'énergie photovoltaïque présente des avantages en termes de fiabilité, d'impact environnemental et de disponibilité en Algérie. Cependant, elle est coûteuse à installer et produit moins de puissance par unité que l'énergie éolienne et nécessite plus d'espace. L'énergie éolienne quant à elle, a des coûts d'installation plus élevés et produit plus de puissance par unité, mais elle nécessite moins d'espace et a une fiabilité moyenne.

Dans le contexte de l'Algérie, où le gisement solaire est considérable, il peut être intéressant de privilégier l'énergie photovoltaïque pour la production d'énergie renouvelable.

Cependant, la décision finale devrait être prise en considérant tous les critères pertinents et en évaluant les avantages et les limites de chaque forme d'énergie renouvelable en fonction des besoins spécifiques de chaque projet.

#### **I.4 Répartition spectrale du rayonnement solaire :**

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0.2  $\mu\text{m}$ ) à l'infrarouge lointain (2.5  $\mu\text{m}$ ).

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement de :

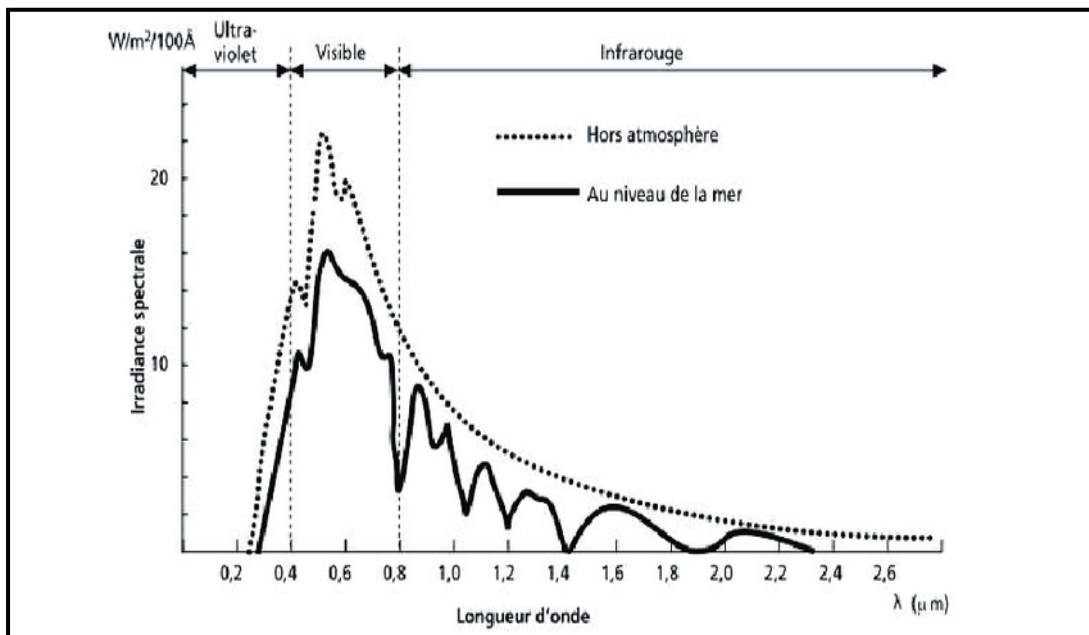
- 47 % dans la bande visible (0.4 à 0.8  $\mu\text{m}$ ).



- 44 % dans la bande des infrarouges ( $> 0.8 \mu\text{m}$ ).
- 9 % dans la bande des ultraviolets ( $< 0.4 \mu\text{m}$ ).

Le spectre solaire varie en fonction de facteurs tels que l'heure de la journée, la saison, la latitude et la couverture nuageuse. Afin de maximiser l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire en électricité, il est important de comprendre le spectre solaire dans la zone où se trouve la cellule solaire afin de sélectionner le meilleur matériau semi-conducteur et la conception de cellule solaire la plus appropriée pour cette zone.

De plus, comprendre le spectre solaire peut également aider à comprendre l'impact de certains facteurs (tels que la pollution de l'air et l'ombrage) sur les performances des cellules solaires. Par conséquent, la compréhension du spectre solaire est essentielle pour optimiser la conception du système photovoltaïque et maximiser l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire en électricité. Ce dernier peut provoquer une décoloration de l'EVA de la cellule photovoltaïque. La lumière UV se combine avec l'eau à haute température, provoquant une modification de la structure chimique du polymère. [18]



**La Fig I.7 :** Analyse spectrale du rayonnement solaire. [19]

Après avoir présenté les systèmes photovoltaïques, il est important de reconnaître que, bien que ces systèmes soient souvent présentés comme une solution de production

---

d'énergie propre et durable, ils ne sont pas à l'abri des problèmes de performance qui peuvent affecter leur durabilité et leur rentabilité. [20]

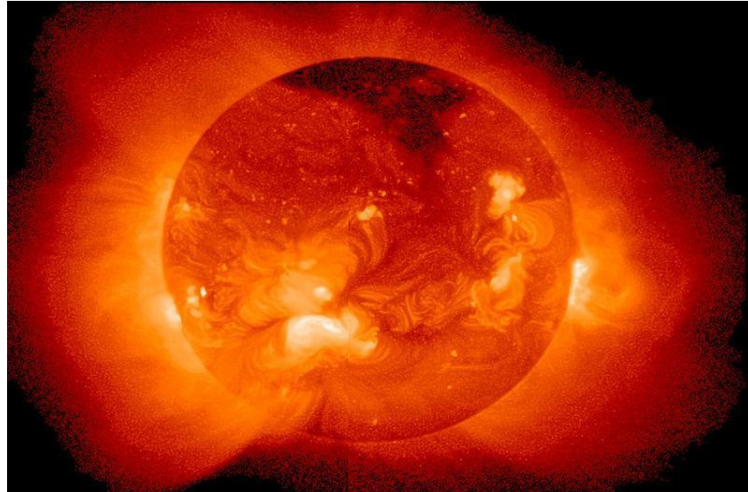
Parmi les problèmes auxquels les systèmes photovoltaïques sont confrontés, la dégradation est un défi important à relever. Les installations solaires photovoltaïques sont souvent installées dans des environnements exposés aux éléments naturels, tels que le soleil, la pluie, la neige, le vent et la poussière. [21]

Au fil du temps, cette exposition peut causer des dommages au système photovoltaïque, ce qui entraîne une diminution de sa performance et de son rendement énergétique. Par conséquent, la dégradation des systèmes photovoltaïques doit être prise en compte dès la conception du système et tout au long de sa durée de vie pour s'assurer que les installations solaires photovoltaïques sont rentables et durables. [22]

## **I.5 Définition d'énergie solaire :**

C'est une source d'énergie infinie, si omniprésente qu'on en vient à l'omettre. Néanmoins, cette énergie incidente équivaut à plus de 10 000 fois la consommation mondiale d'énergie[23]. C'est donc une source d'énergie abondante et renouvelable. On ne peut hélas pas l'utiliser directement, car il est nécessaire de la convertir en d'autres types d'énergies plus pratiques[24] :

- En profitant directement de l'énergie solaire (énergie passive)
- En exploitant la chaleur produite par le rayonnement solaire (énergie thermique)
- En convertissant la lumière du soleil en électricité via des cellules photovoltaïques (énergie solaire photovoltaïque).



**La Fig I.8 : Image du soleil**

### **I.5.1 Les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque :**

- Les panneaux solaires coûtent excessivement cher, du fait de la haute technicité qu'ils requièrent.
- Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10% pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance. De ce fait, pour couvrir un besoin familial, une grande surface de panneaux photovoltaïques est nécessaire.

### **I.5 Les panneaux solaires :**

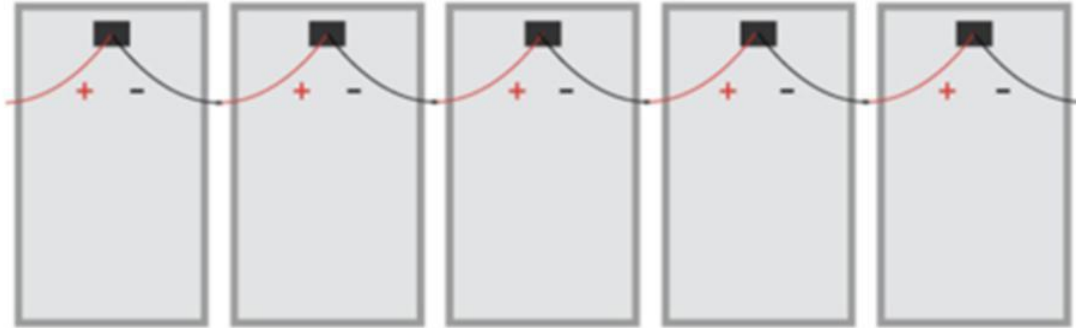
Un panneau solaire est une combinaison de cellules photovoltaïques, aptes à convertir directement la lumière en énergie électrique. En regroupant la force de plusieurs panneaux, il est donc possible de répondre partiellement aux besoins d'un ménage. [25]

### **I.6 Le câblage de panneaux solaires :**

#### **I.6.1 Le câblage de panneaux solaires en série :**

Quand un installateur connecte vos panneaux solaires en série, il relie chaque panneau l'un après l'autre. Cela engendre une succession de maillons en chaîne. Le fil qui sort de la borne négative du panneau est relié à la borne positive du panneau suivant, et ce, de manière continue sur toute la ligne, pour assurer un circuit fermé et ininterrompu. Dans un circuit en série, on cumule la tension de chaque panneau pour déterminer la tension

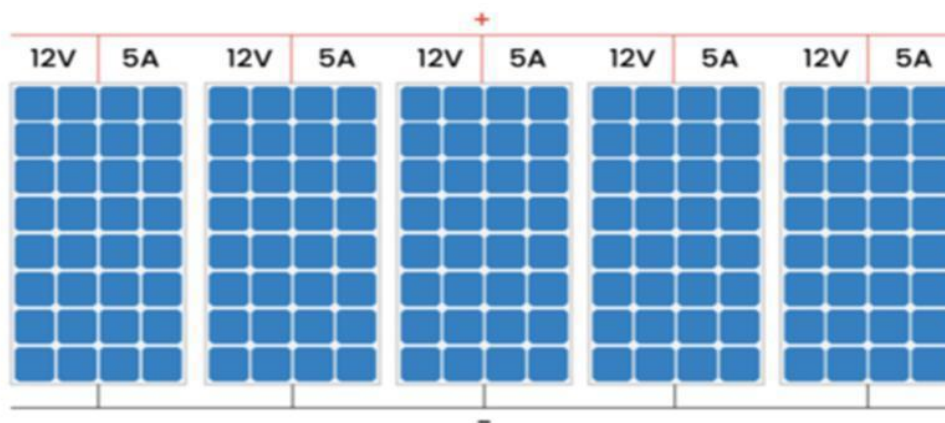
totale du système. Toutefois, l'intensité du courant sur l'ensemble du circuit demeure identique. [26]



**La Fig I.8 :** Câblage de panneaux solaire en série.

### I.6.2 Le câblage de panneaux solaire en parallèle :

Le câblage en parallèle des panneaux solaires est légèrement plus complexe. Au lieu de lier chaque panneau les uns aux autres, chaque panneau est connecté à un câble central issu de votre toiture. Un câble est destiné à relier les fils de toutes les bornes positives, tandis qu'un autre est prévu pour ceux des bornes négatives. Panneaux solaires en parallèle :  $5A + 5A + 5A + 5A$  équivaut à un total de 20 Ampères et plus de 12 Volts. En utilisant des panneaux solaires en parallèle, la tension totale du système reste identique à celle de chaque panneau individuel. Cependant, le courant global du circuit est obtenu par l'addition de l'ampérage de chacun des panneaux solaires. La distinction majeure entre le câblage en série et en parallèle influence la tension et l'ampérage du circuit qui en découle. [27]



**La Fig I.9 :** Connexion en parallèle de l'ampérage des panneaux solaires

---

## **I.7 Différents types de systèmes photovoltaïques :**

On distingue habituellement trois catégories de systèmes photovoltaïques : les systèmes indépendants, les systèmes hybrides et les systèmes reliés à un réseau électrique. Les deux premiers sont indépendants du réseau de distribution d'électricité, on les retrouve souvent dans les zones reculées.

### **I.7.1 Le système autonome :**

Un système photovoltaïque autonome, également appelé système PV hors réseau ou isolé, est un système de production d'électricité qui n'est pas connecté au réseau électrique public. Il permet de produire et de stocker de l'électricité à partir de l'énergie solaire, ce qui le rend idéal pour les sites isolés, les zones rurales non électrifiées ou les applications spécifiques. [28]

#### **I.7.1.1 Composants d'un système photovoltaïque autonome :**

- **Panneaux solaires photovoltaïques (PV) :** Ils captent la lumière du soleil et la transforment en électricité (courant continu). Le nombre de panneaux solaires dépend de la puissance souhaitée du système et de l'ensoleillement du site.
- **Régulateur de charge :** Il gère la charge de la batterie en optimisant l'énergie provenant des panneaux solaires et en protégeant la batterie contre la surcharge et la décharge profonde.
- **Batterie :** Elle stocke l'électricité produite par les panneaux solaires pour une utilisation ultérieure, notamment la nuit ou par temps nuageux.<sup>1</sup> La capacité de la batterie détermine l'autonomie du système.
- **Onduleur (optionnel) :** Il convertit le courant continu (CC) de la batterie en courant alternatif (CA) pour alimenter les appareils électriques standards. L'onduleur est nécessaire si les appareils à alimenter fonctionnent en courant alternatif.

**Générateur d'appoint (optionnel) :** Il peut être utilisé en cas de besoin pour recharger la batterie lorsque l'énergie solaire est insuffisante (par exemple, en hiver ou lors de périodes de faible ensoleillement prolongées). Il peut s'agir d'un groupe électrogène ou d'une autre source d'énergie. [29]

---

#### **I.7.1.2 Fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome :**

- Les panneaux solaires captent l'énergie solaire et la transforment en électricité (courant continu).
- Le régulateur de charge gère l'énergie électrique provenant des panneaux solaires et la dirige vers la batterie pour la charger.
- La batterie stocke l'électricité pour une utilisation ultérieure.
- L'onduleur (si présent) convertit le courant continu de la batterie en courant alternatif pour alimenter les appareils électriques.

#### **I.7.1.3 Avantages d'un système photovoltaïque autonome :**

- Indépendance énergétique : Le système n'est pas dépendant du réseau électrique public, ce qui est idéal pour les sites isolés.
- Énergie renouvelable : L'énergie solaire est une source d'énergie propre et renouvelable.
- Économies à long terme : Bien que l'investissement initial puisse être important, le système peut permettre de réaliser des économies sur les coûts d'électricité à long terme.
- Facilité d'installation : Les systèmes autonomes sont relativement faciles à installer, même pour les particuliers.

#### **I.7.1.4 Inconvénients d'un système photovoltaïque autonome :**

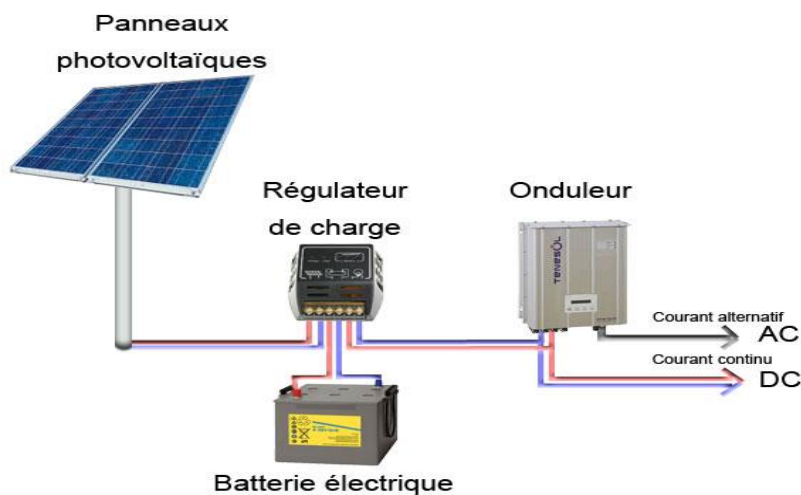
- Coût initial élevé : L'investissement initial dans un système autonome peut être important, notamment en raison du coût des batteries.
- Entretien : Le système nécessite un entretien régulier, notamment la vérification de la batterie et des panneaux solaires.
- Autonomie limitée : L'autonomie du système dépend de la capacité de la batterie et de l'ensoleillement. En cas de faible ensoleillement prolongé, l'utilisation d'un générateur d'appoint peut être nécessaire.

---

Dimensionnement : Un dimensionnement correct du système est essentiel pour garantir son bon fonctionnement et éviter le gaspillage d'énergie. [30]

#### **I.7.1.5 Applications typiques des systèmes photovoltaïques autonomes :**

- Sites isolés (maisons, refuges de montagne, îles) non raccordés au réseau électrique
- Pompage d'eau solaire pour l'agriculture ou l'abreuvement du bétail
- Éclairage public autonome
- Systèmes de télécommunications en zones isolées
- Alimentation de petits appareils électriques (lampes, radios, etc.) dans des zones reculées.



**La Fig I.10 : Structure d'un système autonome**

#### **I.7.2 Le système connecté au réseau :**

Un système de production d'énergie solaire relié au réseau électrique public, également appelé système photovoltaïque connecté au réseau, est un dispositif qui s'interface avec le réseau électrique. Ce dispositif autorise les propriétaires résidentiels ou commerciaux à générer leur propre électricité grâce à des panneaux solaires et à la réinjecter dans le réseau.

##### **Avantages:**

- Économies sur les factures d'électricité: L'électricité produite par le système PV peut être utilisée pour alimenter la maison ou l'entreprise, ce qui réduit la quantité d'électricité

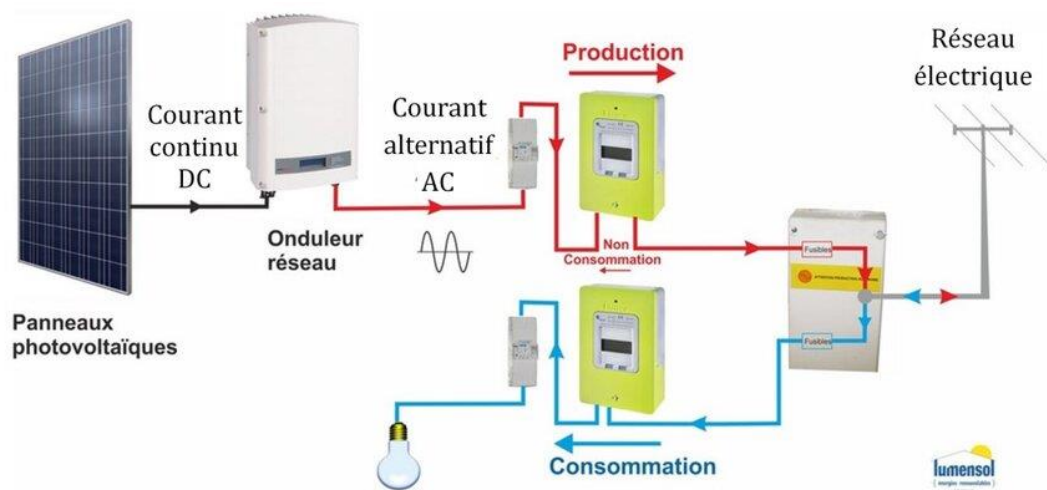
---

achetée auprès du réseau. Dans certains cas, l'électricité excédentaire peut même être revendue au réseau, générant ainsi des revenus.

- Énergie propre et renouvelable: L'énergie solaire est une source d'énergie propre et renouvelable qui ne produit pas de gaz à effet de serre ni d'autres polluants.<sup>1</sup>
- Indépendance énergétique: Un système PV connecté au réseau permet de réduire la dépendance aux énergies fossiles et aux fluctuations des prix de l'électricité.
- Valorisation de la propriété: L'installation d'un système PV peut augmenter la valeur d'une propriété.

### Inconvénients:

- Coût initial élevé: L'installation d'un système PV représente un investissement important.
- Production d'énergie intermittente: La production d'énergie solaire dépend de l'ensoleillement, ce qui peut entraîner des variations de production.
- Entretien: Un système PV nécessite un entretien régulier pour garantir son bon fonctionnement. [31]



**La Fig I.11 :** Système photovoltaïque connecté au réseau électrique.



---

# **Chapitre II :**

## **Défauts liés au système**

### **Photovoltaïque**

---

## **Introduction :**

Durant son exploitation, un système photovoltaïque peut rencontrer diverses défaillances et irrégularités qui entraînent une diminution de sa performance, voire même son incapacité à fonctionner. Les installations photovoltaïques sont sujettes à des défauts qui constituent un défi majeur pour les chercheurs, puisque la présence de ces anomalies réduit exponentiellement le nombre de kilowatts produits par les centrales. De nombreuses solutions ont été suggérées dans les publications, mais elles restent hésitantes face à la complexité des problèmes. Les problèmes pouvant se présenter sur une installation photovoltaïque peuvent survenir à diverses étapes, notamment lors de sa conception, son installation et son exploitation. [32] Ces anomalies diminuent l'efficacité du système photovoltaïque autonome, ce qui a un impact sur la production d'énergie photovoltaïque. Dans ce chapitre une présentation des principaux défauts associés à un système photovoltaïque. [33]

### **II.1 Les défauts les plus fréquents rencontrés dans un champ PV :**

Les dysfonctionnements dans le système photovoltaïque peuvent être classés comme temporaires ou permanents. Les effets d'ombrage et l'encrassement des modules sont souvent à l'origine de défauts temporaires. Les imperfections constantes des modules incluent le délaminage, la formation de bulles, le jaunissement des cellules, les rayures et les cellules qui se consomment. [34] On supprime les défauts permanents en remédiant aux modules défectueux, soit par remplacement, soit par réparation. Les pannes importantes des panneaux solaires sont généralement dues à un court-circuit, une mise à la terre, un défaut ligne par ligne et un défaut d'arc. [35] D'autres éléments peuvent causer des baisses de production, tels que le manque de suivi du point de puissance maximale (MPP), les pertes joule liées au câblage et les matériels défectueux. Les défauts d'un système photovoltaïque peuvent être classés comme des défauts de modules, de chaînes ou de réseaux selon le composant du système photovoltaïque concerné.

### **II.2 Détection et localisation de défauts pour un système PV :**

Comme tout processus industriel, un système photovoltaïque peut rencontrer divers soucis et irrégularités pendant son opération, ce qui peut entraîner une diminution de sa

performance voire même une impossibilité de fonctionnement. Facilitant un diagnostic précis et la détection ainsi que la localisation des anomalies dans une installation photovoltaïque, cela contribue à réduire les coûts de maintenance tout en augmentant significativement la productivité. Dans cette étude, nous portons une attention particulière à l'identification et à la localisation des anomalies du côté DC du système photovoltaïque, c'est-à-dire du côté où se trouve le générateur photovoltaïque. L'objectif de cette thèse est de proposer, en prenant le moins de mesures possibles pour respecter les contraintes économiques, un algorithme pour détecter et localiser des défauts conduisant à une baisse de production. Pour cela, le choix s'est porté sur l'analyse de la caractéristique I-V du générateur PV pour les différents modes de fonctionnement considérés. Cette analyse a conduit à utiliser la méthode d'inférence pour effectuer le diagnostic de l'installation. Cette démarche a été validée par des expérimentations sur site, des simulations temps-réel et hors temps-réel. [36]

## II.3 Défauts dans le système photovoltaïque :

### II.3.1 Types de défauts du module PV :

Le générateur photovoltaïque constitue l'élément central de l'installation PV. Toute interruption en lien avec le module photovoltaïque influera sur les performances du système PV. Le tableau présente les diverses sortes de défauts que l'on rencontre à ce stade du générateur.

Ces défauts sont catégorisés en fonction de leurs impacts et de leurs répercussions. Dans ce qui suit, nous mentionnerons quelques anomalies qui surviennent au niveau du générateur photovoltaïque. [37]

**Tableau II.1:** Les différents défauts dans le générateur PV [37]

Défaut	Conséquences
- Salissure (pollution ,sable ,neige )	- Perte de puissance
- Inversion des liaisons de sortie	- Module mal câblé, diminution des performances
- Air marin	- Corrosion
-Dégradation des modules par vandalisme	- Diminution des performances, Non fonctionnement d'installation

- Vole des modules	- Non fonctionnement de l'installation
- Mauvaise orientation et/ou inclinai sont des module	- Ombrage ,diminution des performances
- Couple galvanique dû au mélange de matériau de la jonction module/support	- Corrosion
- Module mal ou pas ventilé	- Echauffement
- Module mal fixé	-Déplacement du module , diminution des Performances
- Modules non cable	- Diminution des performances
- Fissure	- Perte d'étanchéité, détérioration des cellules, diminution du shunt, diminution des performances.
- Rouille par infiltration d'eau	- Perte d'étanchéité, détérioration des cellules.
- Mauvaise isolation entre modules et Onduleur	- Court-circuit, destruction du module, incendie
- Détérioration des joints d'étanchéité	- Perte d'étanchéité, détérioration des cellules
- Déformation du cadre des modules	- Infiltration d'eau
- Corrosion du cadre des modules	- Perte d'étanchéité, détérioration des cellules
- Délaminage	- Diminution des performances, échauffement.
- Foudre	- Détérioration des modules
-Tempête	- Module arraché,cassé
- Pénétration de l'humidité	- Hotspot, augmentation du courant de fuite, corrosion, perte d'adhérence et d'isolation, - Diminution de la résistance de CC à la terre
- Faiblesse au vent des structures	- Module arraché,cassé
- Foudre sur l'installation	- Destruction des modules
- Modules de performances différentes	- Diminution des performances du champ
-Sortie par le bas des boîtes de connexions impossible	- Mauvais câblage
- Bouchons de presse-étoupe manquant sur la boîte de connexion	- Pénétration d'eau, corrosion des liaisons
- Boîte de connexion montée à l'envers	- Entrée d'eau dans le boîtier parle presse-étoupe

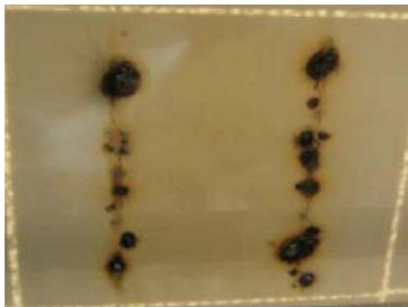
- Ombrage partiel (feuilles d'arbre, déjections)	- Hotspot, deterioration de cellules
- Dégradation de l'encapsulant à cause des ultraviolets, EVA jaunissant	- Absorbe les photons qui n'arrivent plus jusqu'à la cellule, diminution des performances
- Augmentation de la résistance série due au cycle thermique	- Diminution des performances
- Détérioration de la couche anti-reflet	- Diminution des performances
- Dégradation à cause de la lumière	-Diminution des performances, sur tension, Destruction de diodes
- Dégradation à cause de la chaleur	- Diminution des performances, échauffement, Détérioration des joints
- Inclinaison des modules trop faible	- Stagnation d'eau , dépôt de terre, prolifération De champignons, problème d'étanchéité
- Dégradation des inter connexions	- Détérioration des joints ,diminution des performances, augmentation de la résistance - série de la chaleur
- Support mécanique des modules Inadéquat ou mal posé	- Efforts mécaniques importants, sur les modules
- Mauvaise résistance mécanique des Supports des modules	- Déformation du support
- Diffusion du phosphore (dopant) Vers la surface	- Perte d'adhérence de l'encapsulant
- Important courant de fuite	- Echauffement
- Echauffement des modules par la Boîte de connexion	- Décollement du Tedla, diminution des performances
- Nid d'insectes sur les modules	- Diminution des performances
- Panneaux inaccessible	- Nettoyage impossible
- Module produisant moins que prévu	- Diminution des performances
- Apparition de bulles à la sur face des Modules	- Diminution des performances



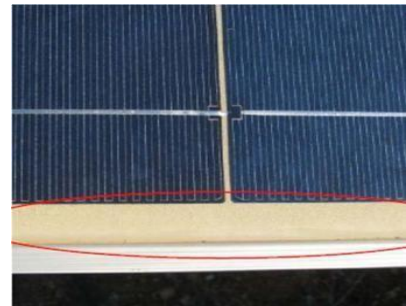
(a) Salissure



(b) Ombrage



(c) Echauffement de la cellule (face-avant)



(d) Echauffement de la cellule

(e) Echauffement des soudures

(h) défaut mécanique de la face arrière

**La Fig II.1 :** Exemples de défauts rencontrés dans des générateurs PV. [37]

---

## II.4 Défaut de ligne à ligne :

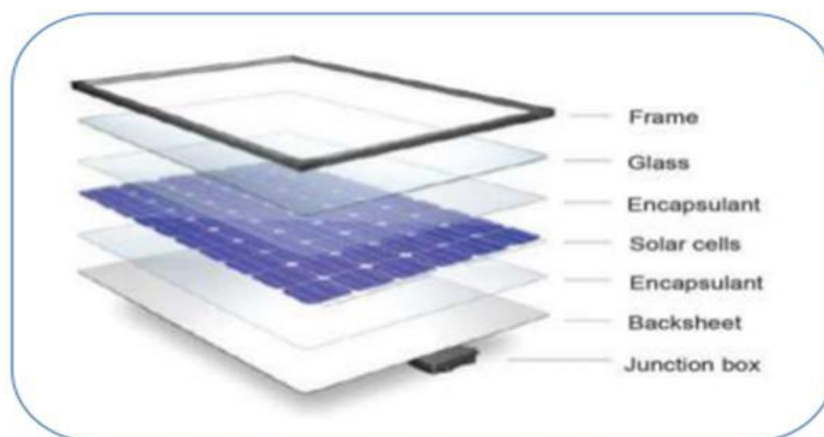
Un défaut ligne à ligne désigne un défaut de court-circuit entre les conducteurs du PV système. Les défauts de ligne à ligne peuvent être causés par un défaut d'isolation des câbles et dommages mécaniques. [38]

### II.4.1 Défaut d'encapsulation :

Ce défaut est principalement dû à la délamination et aux taches qui surgissent souvent dans des environnements chauds et humides. Cette anomalie est localisée entre l'encapsulation et les cellules actives. L'accumulation de sel, les contaminations, l'infiltration d'humidité ou d'autres éléments extérieurs peuvent provoquer un défaut d'encapsulation. Des méthodes comme la thermographie, le balayage par ultrasons et la tomographie aux rayons X sont suggérées pour identifier la délamination. Un réflectomètre peut servir à quantifier l'irrégularité. En ce qui concerne la perte de couleur, c'est un autre problème lié à l'encapsulation qui provoque la corrosion et la réduction de la résistance en série. Ce phénomène est jugé être le type de dégradation le plus courant des panneaux photovoltaïques. [39] [40] [41]

## II.5 Perte d'adhérence de back-sheet :

Une back-sheet d'un panneau est une protection des composants électroniques de facteurs externes et une sécurité de hautes tensions continues. Cette anomalie être causée par la délamination. Si elle se produit, les composants électriques actifs seront exposés. Cela se traduirait par un défaut d'isolement qui présente des problèmes de sécurité. La forme et la composition des matériaux en de back-sheet peuvent être la cause de ce défaut. [41] [43] [44] [45]



---

**La Fig II.2 : Pannes et pannes du module solaire photovoltaïque.**

### **II.5.1 Fissuration des cellules :**

La fissure peut se produire à tout instant. Elle peut survenir lors des processus de production, d'emballage ou de transport à cause d'une mauvaise manipulation ou des vibrations. Une autre raison de ce problème est le processus d'installation. [45] [46] [47]



**Fig II.3 : Fissuration et dommages cellulaires**

### **II.5.2 Interconnexion endommagée:**

L'origine principale de ce débranchement est une soudure défectueuse entre le ruban d'interconnexion de la branche et celui de la cellule. Le ruban d'interconnexion se détériore jusqu'à la rupture sous l'effet de contraintes liées au transport, de points chauds, du cycle thermique ou des contraintes mécaniques répétées. Ce genre de panne est favorisé par la proximité réduite entre les cellules. Cela peut entraîner des cellules en court-circuit. [48] [49]

### **II.5.3 Ombrage et des salissures :**

Il existe deux sortes d'ombre. La première situation concerne l'ombrage intense, qui se manifeste lorsque les panneaux photovoltaïques sont assombris par un objet solide, tel que des édifices ou de la saleté. Le second type est une ombre légère douce qui peut être due aux nuages et poussière [50] [51]. Le premier type cause une diminution de la tension, tandis que le second influence le courant sans toutefois affecter la tension. Tous deux ont un impact négatif sur l'efficacité du module photovoltaïque. Défauts associés



---

aux systèmes photovoltaïques autonomes et méthodes de La performance et la baisse de puissance sont associées aux surfaces fortement encrassées ou ombragées. En effet, les cellules ombrées se comportent comme une résistance au courant généré. Elles s'échauffent et un phénomène de point chaud se manifeste. [39] [51]

# **Chapitre III :**

## **Réalisation d'un système PV connecté au réseau**

**Introduction :**

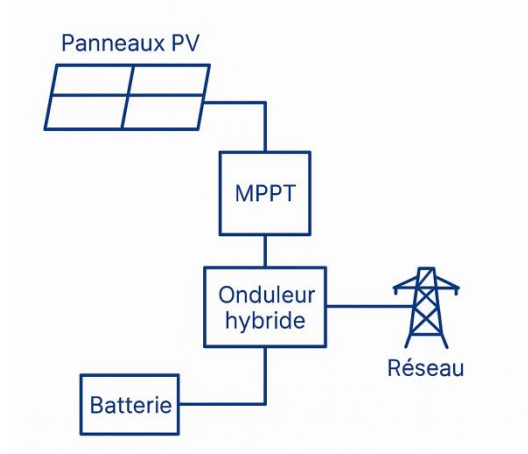
Avec la montée des préoccupations environnementales et la recherche d'énergies renouvelables, le solaire photovoltaïque s'impose comme une solution propre et durable pour produire de l'électricité. Un système photovoltaïque connecté au réseau permet de transformer l'énergie solaire en électricité utilisable et de l'injecter directement dans le réseau électrique public.

La réalisation d'un tel système nécessite une étude approfondie et une conception rigoureuse afin d'assurer son bon fonctionnement, sa sécurité et sa conformité aux normes en vigueur. Ce processus inclut le dimensionnement des panneaux solaires, le choix des équipements électroniques, notamment l'onduleur, ainsi que le raccordement au réseau électrique.

Ce chapitre aborde les étapes clés de la conception et de la réalisation d'un système photovoltaïque raccordé au réseau, en mettant l'accent sur les aspects techniques et réglementaires essentiels pour garantir une intégration efficace et sécurisée.

**III.1 Réalisation d'un système photovoltaïque connecté au réseau:**

Dans le cadre de notre projet, nous avons réalisé un montage d'un système photovoltaïque (PV) Connecté au réseau. Ce système est conçu pour fonctionner indépendamment du réseau électrique. Pour cela, nous avons connecté deux panneaux photovoltaïques en série, ce qui permet d'augmenter la tension de sortie du système. Cette configuration est idéale pour alimenter des appareils nécessitant une tension plus élevée, tout en assurant une production d'énergie renouvelable et respectueuse de l'environnement.



**la Fig III.1** : Réalisation d'un système PV connecté au réseau

Au sein de centre d'innovation d'Annaba El BOUNI on a pris les images suivantes montrant notre réalisation:



### III.1.2 Le Matériel :

1. **Solarimètre** : est un instrument de mesure utilisé pour quantifier le rayonnement solaire. Il mesure l'énergie provenant du soleil qui atteint une surface donnée[52] .



**la Fig III.2** : Solarimètre

- 
2. **Un multimètre** : est un instrument de mesure électronique permettant de mesurer plusieurs grandeurs électriques telles que la tension (volt), le courant (ampère) et la résistance (ohm). Certains modèles permettent aussi de mesurer la continuité, la capacité, la fréquence ou la température. [53]



la Fig III.3 : multimètre

3. **Onduleur** : Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif). L'onduleur est généralement associé à un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil. [54]



la Fig III.4 : onduleur

4. **Le régulateur de charge solaire** : est un appareil électronique qui gère la charge des batteries dans une installation photovoltaïque. Il régule la tension et le courant provenant des panneaux solaires pour éviter la surcharge et la décharge profonde des batteries. [55]



la Fig III.5 : Régulateur

5. **Batterie** : composant essentiel d'un système photovoltaïque autonome ou hybride, la batterie permet de stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires pour une utilisation différée, notamment lorsque la production est nulle ou insuffisante (la nuit ou par mauvais temps). [56]



la Fig III.6 : Batterie

- les résultats se trouvent dans le tableau suivant :

Temps	$G(w/m^2)$	I(A)	U(V)	P(W)
10 :30 h	950	2,7	16,2	43,7
10 :45 h	970	2,8	16,3	45,6
11 :00 h	988	2,9	16,4	47,5
11 :15 h	994	3	16,4	49,2
11 :30 h	1010	3,1	16,3	50,84
11 :45 h	991	3	16,1	48,9
12 :00 h	985	2,9	16,0	46,6
12 :15 h	981	2,8	16,0	44,8
12 :30 h	979	2,8	15,9	42,93

#### - La dégradation à vue d'œil causée par la poussière :

La dégradation à vue d'œil causée par la poussière est un phénomène fréquent et préoccupant dans les installations photovoltaïques connectées au réseau, notamment dans les régions arides et semi-arides. La poussière s'accumule sur la surface des modules PV, réduisant significativement la quantité de rayonnement solaire atteignant les cellules. Cela

---

se traduit par une baisse du courant de sortie, une diminution de la puissance générée, et donc une perte d'efficacité du système global.

Cette dégradation n'est pas seulement optique (visuelle) mais également électrique, car elle entraîne une diminution directe du facteur de performance (Performance Ratio) et de l'énergie injectée au réseau. Des études ont montré que des dépôts importants de poussière peuvent réduire la production jusqu'à 20 % ou plus si aucun nettoyage régulier n'est effectué.

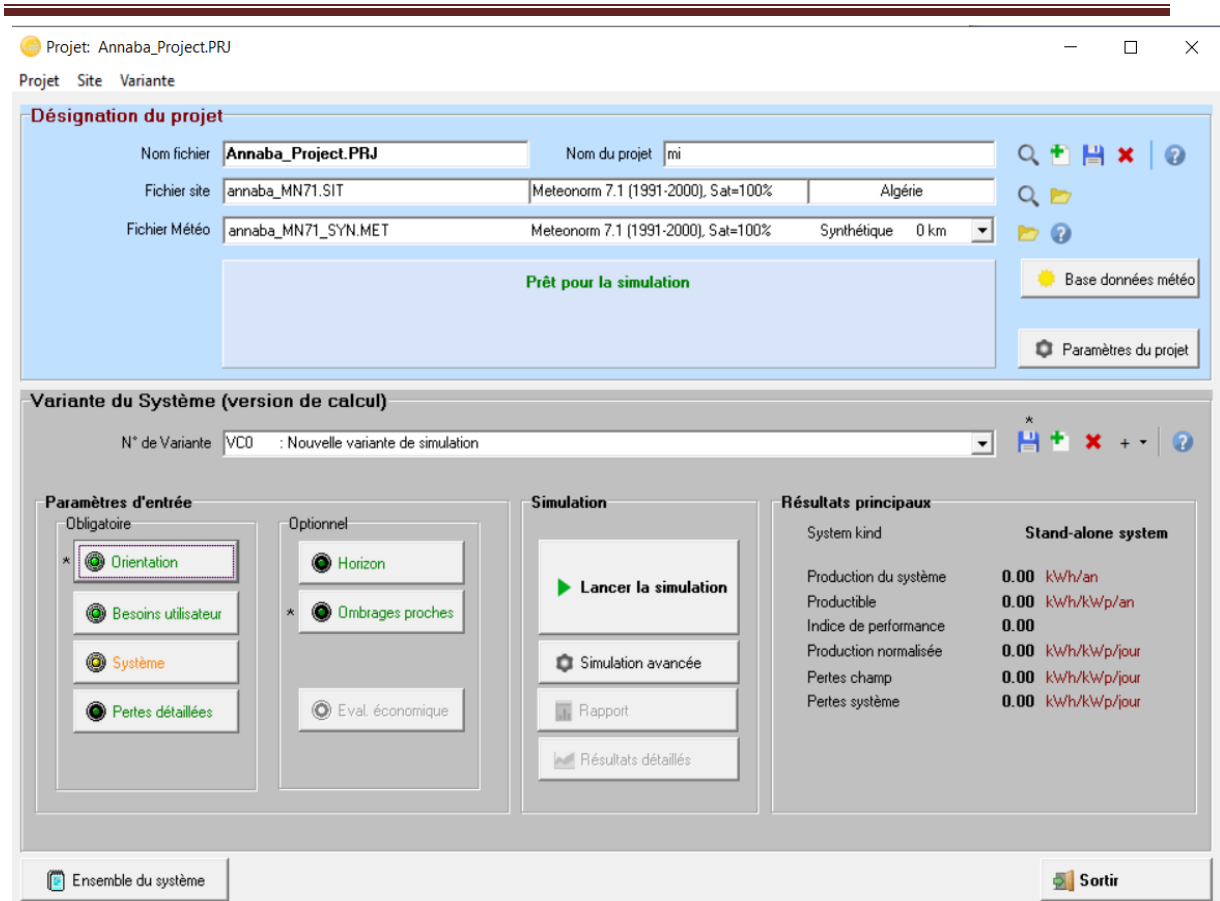
la prise en compte de la dégradation due à la poussière dès la phase de conception permet d'optimiser la rentabilité et la durabilité du système PV.



**La Fig III.7:** La dégradation à vue d'œil causée par la poussière .

## **III.2 Validation par la simulation :**

Afin de valider les performances du système photovoltaïque conçu, une simulation a été réalisée à l'aide du logiciel Pvsys. Ce logiciel spécialisé permet de modéliser avec précision le comportement d'une installation solaire en tenant compte de divers paramètres tels que l'emplacement géographique, les caractéristiques des composants (panneaux, onduleurs, etc.), l'orientation des modules, ainsi que les conditions météorologiques locales. L'objectif de cette simulation est d'évaluer la production d'énergie, le rendement du système et d'identifier d'éventuelles pertes, afin de vérifier la faisabilité et l'efficacité de l'installation proposée.



**La Fig III.8 :** une interface logicielle en français utilisée pour la simulation ou la planification de systèmes photovoltaïques ou de production d'énergie.

La figure montre une interface logicielle en français utilisée pour la simulation ou la planification de systèmes photovoltaïques ou de production d'énergie.

- **Projet :** Le projet s'appelle Amaba\_ProjectPRJ et semble être à un stade initial, car aucun résultat de simulation n'est encore affiché.
- **Fichiers utilisés :** Les fichiers mentionnés, comme Amaba\_MNT.SIT, Amaba\_MNT.SNYMET, suggèrent qu'un modèle numérique de terrain et des données météorologiques sont inclus.
- **Paramètres de calcul :**
  - **Orientation :** Sud (standard pour l'optimisation solaire dans l'hémisphère nord).
  - **Dispositif :** "Horizon", ce qui pourrait indiquer une installation au sol.
- **Simulation :** La simulation n'a pas encore été lancée. Les résultats indiquent "0.00" et "N/A" pour tous les paramètres de production et de pertes.



- Interface utilisateur : On retrouve plusieurs icônes classiques pour l'enregistrement, la suppression, le zoom ou la navigation, typiques d'un logiciel de modélisation ou de planification technique (type Pvsys ou logiciel équivalent).

**La Fig III.9 :** une interface logicielle utilisée pour la conception d'un système photovoltaïque autonome.

La figure montre une interface logicielle utilisée pour la conception d'un système photovoltaïque autonome.

- L'interface sert à dimensionner un système photovoltaïque autonome, en tenant compte de la consommation, des modules PV, du contrôleur de charge, et du stockage batterie.
- Charge journalière : 1.9 kWh/jour
- Puissance demandée : 0.6 kWp (soit 600 Wc)

- Tension de batterie : 24 V
- Capacité suggérée : 48 Ah
- Puissance PV suggérée : 586 Wc
- Panneaux utilisés : BP Solar 80 Wc (80 W, 19.1 V)
- 2 modules
- 1 string de panneaux (câblage en série ou parallèle selon configuration)
- Mode MPPT (suivi du point de puissance maximale)
- Régulateur sélectionné : non précisé ici, mais options disponibles
- Ce type d'interface est typiquement utilisé dans les logiciels comme HOMER, PVSyst, ou d'autres outils de simulation de systèmes photovoltaïques.

**Définition d'un module PV**

Données de base | Dimensions et Technologie | Paramètres modèle | Données additionnelles | Commercial | Graphiques

Modèle: BP 580F Fabricant: BP Solar  
 Nom fichier: BPSOLAR\_BP580F.PAN Source données: Manufacturier + Sandia DB  
 Original PVSyst database Disponible jusqu'à 2002

Puissance n<sub>80.0</sub> Wp Tol. +/- N/A N/A % Technologie: Si-mono

**Model Used**  
☐ Standard PVSyst  
☒ Sandia model

**Specifications fabricant ou autres mesures**

Cond. de référence:	G <sub>Ref</sub>	1000	W/m²	T <sub>Ref</sub>	25	°C
Courant de court-circuit	I <sub>sc</sub>	5.000	A	Circuit ouvert V <sub>co</sub>	21.96	V
Point de Puissance max.:	I <sub>mpp</sub>	4.500	A	V <sub>mpp</sub>	17.86	V
Coefficient de température	mulsc	1.0	mA/°C	Nbre cellules 36 en série		
	ou mulsc	0.020	%/°C			

**Résumé du modèle**

**Paramètres principaux**

R parall.	160 ohm
R <sub>parall</sub> (G=0)	600 ohm
R série model	0.42 ohm
R série max.	0.46 ohm
R série apparent	0.46 ohm

**Paramètres modèle**

Gamma	0.949
I <sub>oRef</sub>	0.07 nA
μV <sub>co</sub>	-69 mV/°C

**Résultats du modèle interne**

Conditions de fonctionnement: G<sub>Oper</sub> 1000 W/m² T<sub>Oper</sub> 25 °C

Point de Puissance max.:	P <sub>mpp</sub>	79.9	W	beff. de température	-0.52	%/°C
Courant I <sub>mpp</sub>	4.44	A	Tension V <sub>mpp</sub>	18.0	V	
Courant de court-circuit I <sub>sc</sub>	4.70	A	Circuit ouvert V <sub>co</sub>	22.0	V	
Efficacité / Surf. cellules	15.54	%	/ Surf. module	12.69	%	

Compar. Sandia-Diode Export vers table Imprimer Annuler OK

**La Fig III.10 :** la fiche technique d'un module photovoltaïque dans Psys,

Cette photo présente la fiche technique d'un module photovoltaïque dans Psystm, plus précisément le BP 580F de BP Solar à partir de la base de données du fabricant et de Sandia.

---

Puissance nominale (STC) : 80 W

Fabricant : BP Solar

Technologie: Silicium monocristallin (Si-mono)

Nombre de cellules: 36 en série

**Spécifications électriques du fabricant :**

Irradiance de référence : 1000 W/m<sup>2</sup>

Température de référence : 25 °C

Courant de court-circuit (Isc) : 5.00 A

Tension en circuit ouvert (Voc) : 21.96 V

Courant au point MPP (Impp) : 4.50 A

Tension au point MPP (Vmpp) : 17.86 V

Coefficient de température (Isc) : 0.020 %/°C

**Résultats de simulation PVsyst :**

Puissance au MPP : 79.9 W (très proche des 80 W attendus)

Impp modélisé : 4.44 A

Voc modélisé : 22.0 V

Efficacité sur la surface des cellules : 15.54 %

Efficacité sur la surface du module : 12.69 %

**Paramètres du modèle électrique :**

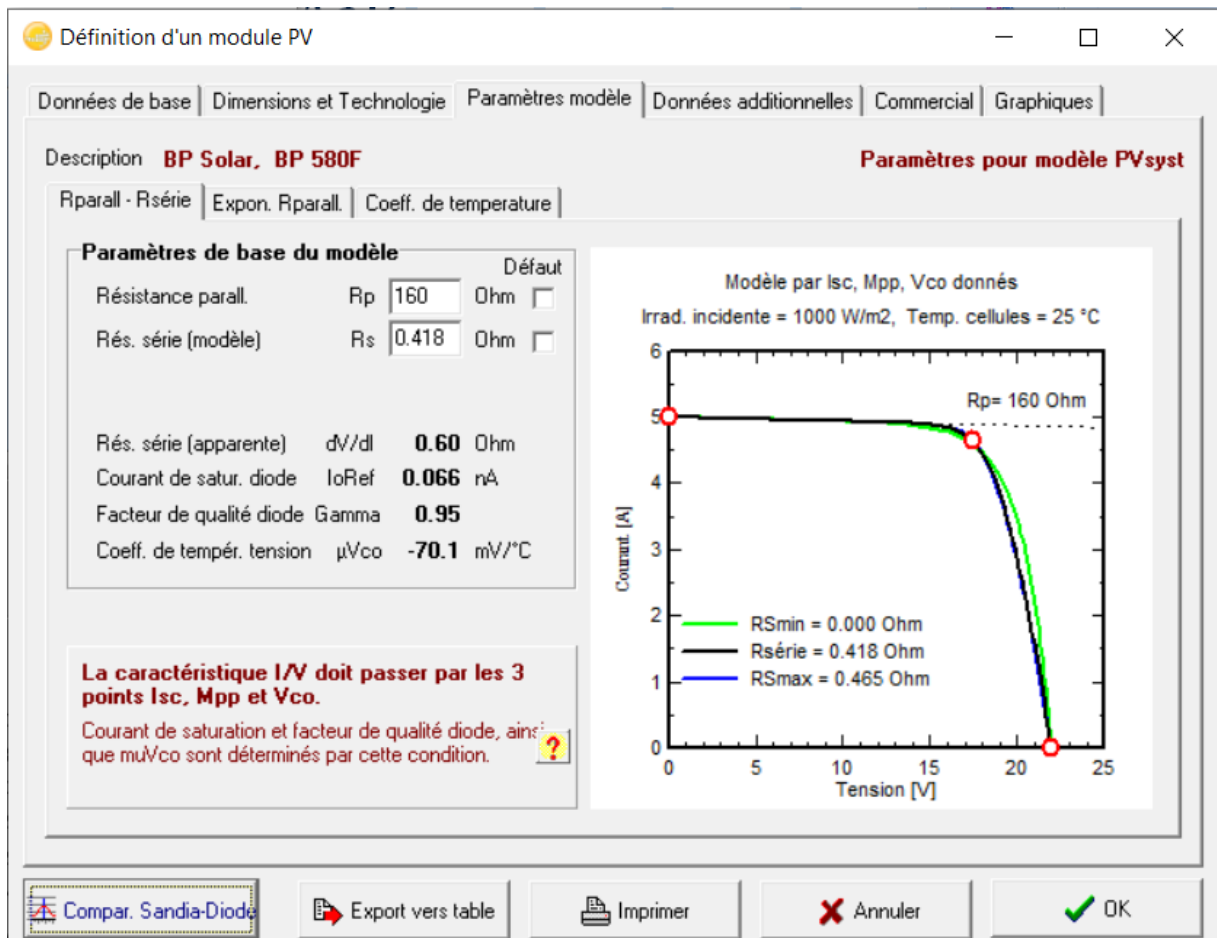
Résistance parallèle (Rp) : 160 ohm

Résistance série (Rs) : 0.42 ohm

Gamma (facteur de qualité de la diode) : 0.949

Courant de saturation diode (IoRef) : 0.07 nA

Coefficient de température de Voc : -69 mV/°C



**La Fig III.11 :** Paramètres pour modèle PVsyst d'un module photovoltaïque

Cette photo montre l'onglet Paramètres pour modèle PVsyst d'un module photovoltaïque, ici le BP Solar BP 580F, dans le logiciel PVsyst .

#### **Paramètres électriques principaux du modèle :**

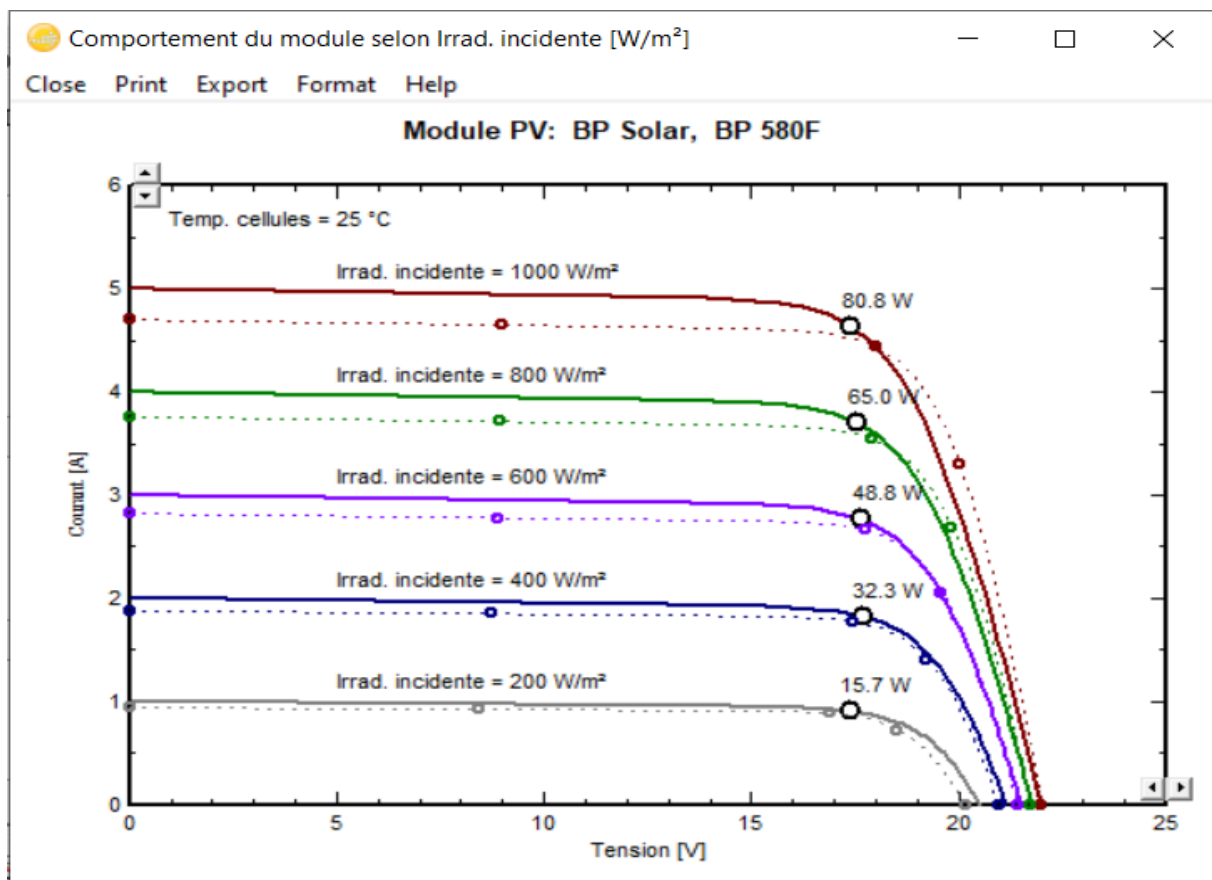
- Résistance parallèle ( $R_p$ ) : 160 ohms
- Résistance série (modèle)  $R_s$  : 0.418 ohm
- Résistance série (apparente) : 0.60 ohm
- Courant de saturation diode ( $I_{oRef}$ ) : 0.066 nA
- Facteur de qualité diode ( $\Gamma$ ) : 0.95
- Coefficient de température tension ( $\mu V_{co}$ ) : -70.1 mV/°C

#### **Graphique courant-tension (I-V) :**

Le graphe montre la courbe I-V du module à 1000 W/m² et 25 °C.

On observe :

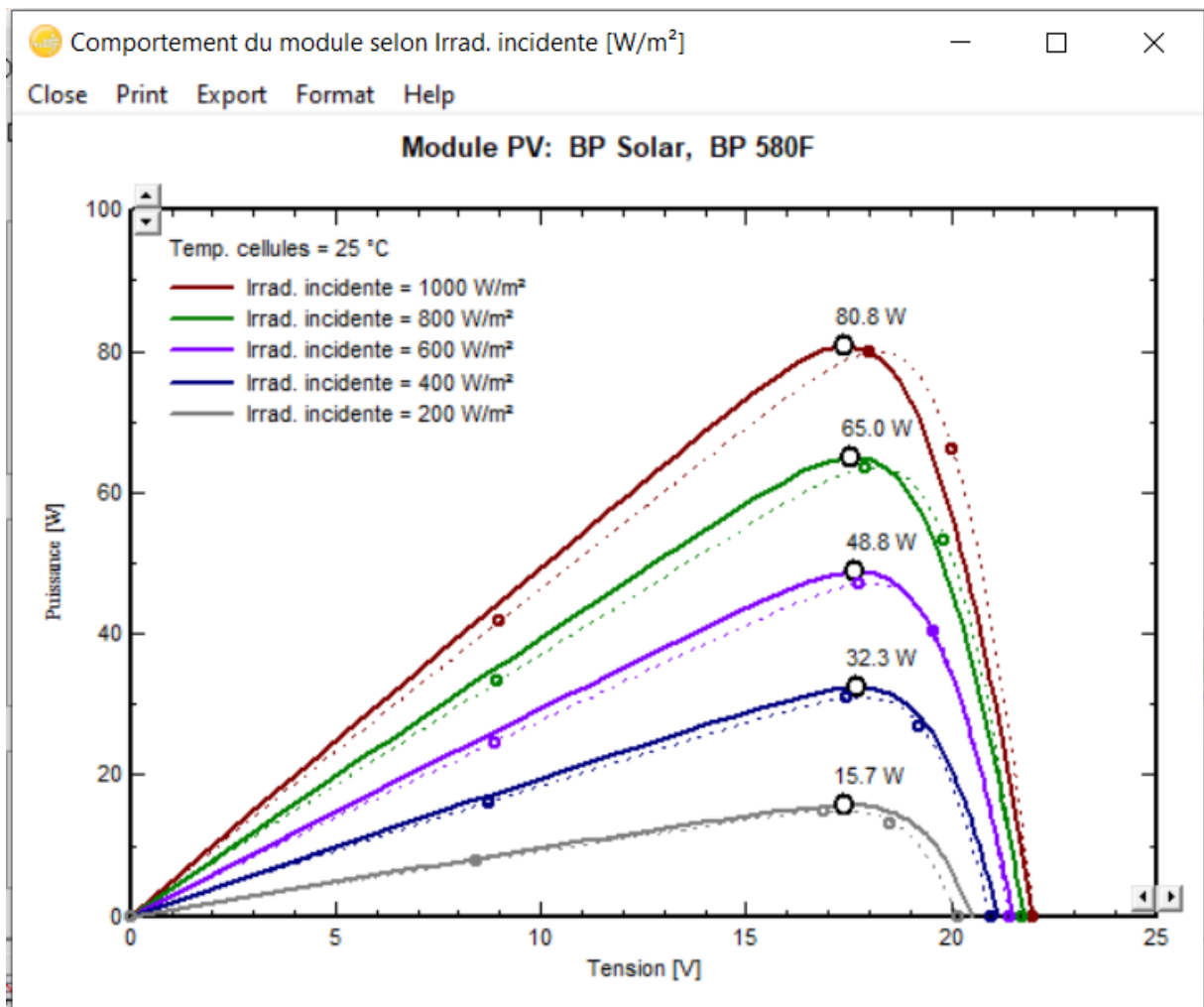
- Une courbe verte ( $R_s = 0 \text{ ohm}$ ) représentant une situation idéale sans pertes ohmiques.
- Une courbe noire ( $R_s = 0.418 \text{ ohm}$ ) correspondant au modèle retenu.
- Une courbe bleue ( $R_s \text{ max} = 0.465 \text{ ohm}$ ) représentant la résistance série maximale acceptable.
- Les 3 points critiques ( $I_{sc}$ , MPP,  $V_{co}$ ) sont correctement placés pour calibrer le modèle.
- Ce panneau montre une modélisation précise du comportement électrique du module BP 580F dans Pvsys. Les valeurs de résistance série et parallèle sont cruciales pour simuler correctement les performances, surtout en conditions de faible Irradiance ou températures élevées.
- La résistance série modérée ( $0.418 \text{ ohm}$ ) indique des pertes ohmiques acceptables, ce qui permet une bonne tenue en tension à forte charge.
- Le facteur de qualité Gamma ( $0.95$ ) et la faible  $I_{oRef}$  ( $0.066 \text{ nA}$ ) traduisent un comportement diode de bonne qualité, important pour une modélisation réaliste du courant en faible lumière.



**La Fig III.12 :** Effet de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(V)$

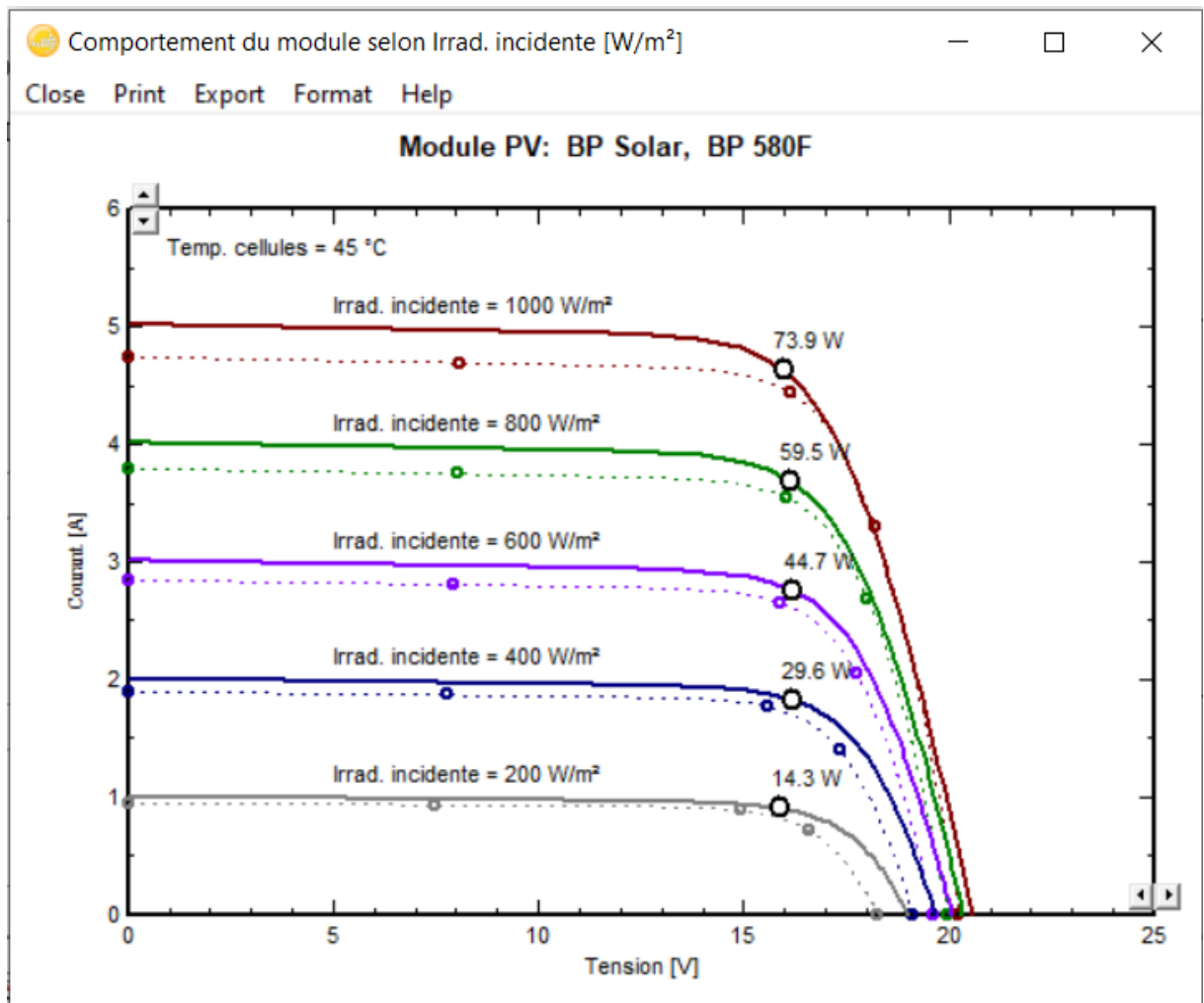
Cette figure montre L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface.

La figure représente la caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement, à une température constante. Le courant est directement proportionnel au rayonnement, contrairement à la tension qui ne varie que très peu en fonction de l'éclairement.



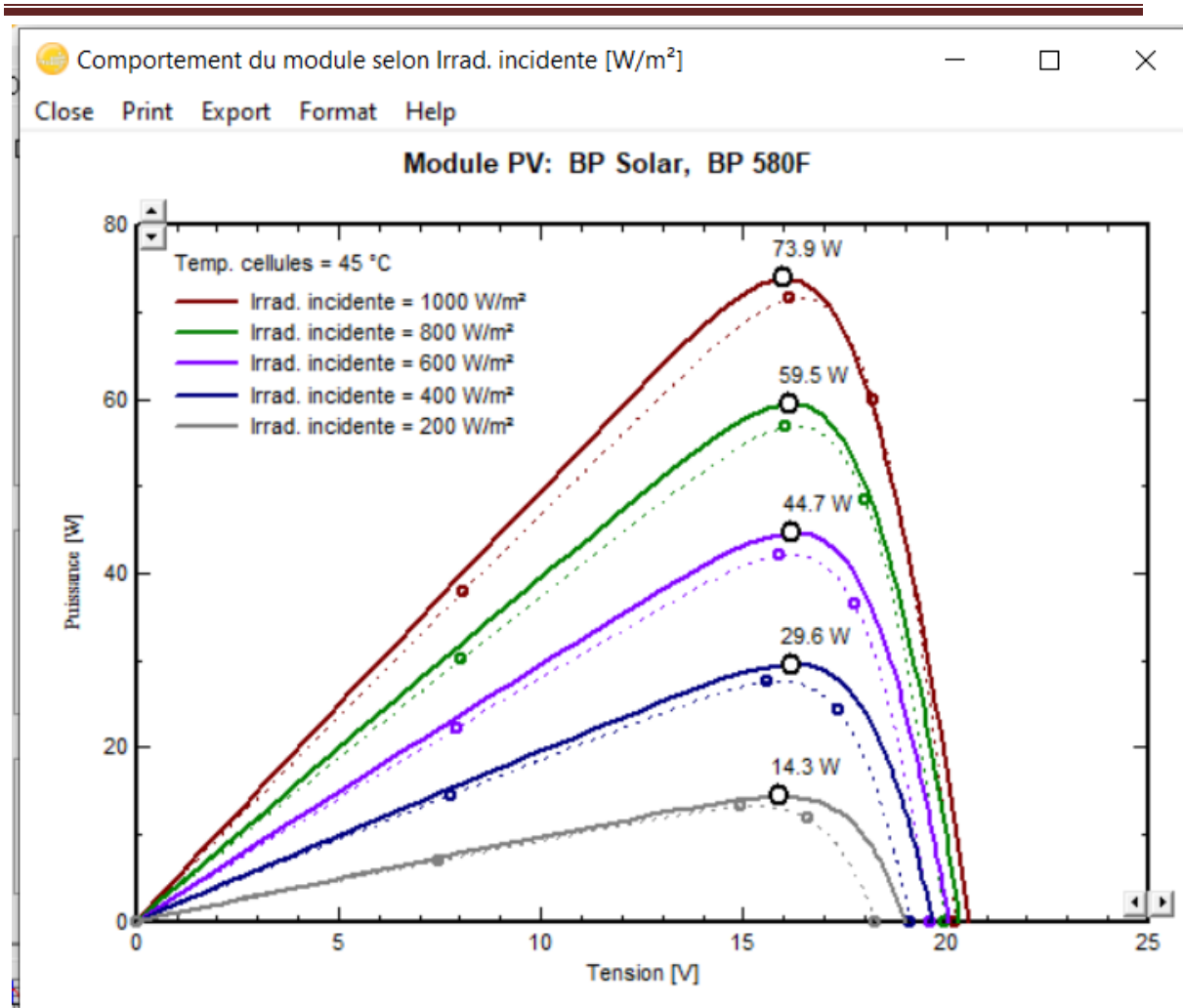
**La Fig III.13 :** Effet de l'éclairement sur la caractéristique  $P = f(V)$

La figure illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire L'effet de l'éclairement sur la caractéristique  $P(V)$ .



**La Fig III.14 :** courbes courant-tension d'un module photovoltaïque différentes valeurs d'Irradiance solaire

La figure montre les courbes courant-tension d'un module photovoltaïque BP Solar (modèle BP 580F) pour différentes valeurs d'Irradiance solaire. On y observe que plus l'Irradiance augmente, plus le courant et la puissance maximale produite par le panneau augmentent. Cela illustre clairement l'impact direct de l'ensoleillement sur les performances d'un module solaire.



**La Fig III.15 :** une courbe de puissance en fonction de la tension (P-V)

Cette photo montre une fenêtre de logiciel affichant une courbe de puissance en fonction de la tension (P-V) pour un module photovoltaïque BP Solar, modèle BP 580F. Le graphique illustre le comportement du module selon l'irradiance incidente, à une température de cellule fixée à 45 °C.

- Les différentes courbes représentent la puissance générée par le panneau pour différentes valeurs d'Irradiance incidente (allant de 200 à 1000 W/m²).

On observe que plus l'Irradiance est élevée, plus la puissance maximale délivrée par le module est importante.

**- Les puissances maximales indiquées sur le graphique sont :**

73.9 W à 1000 W/m²



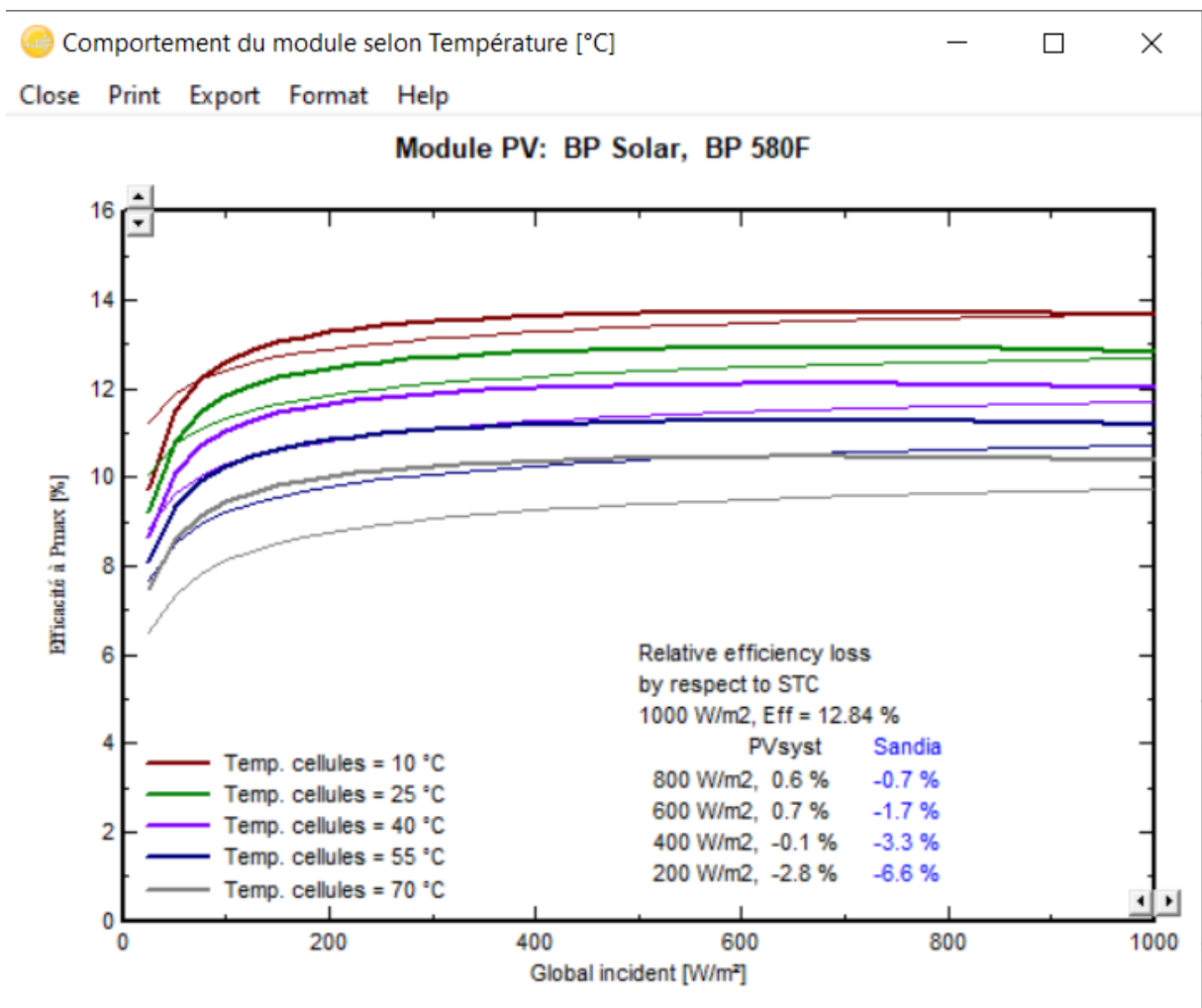
59.5 W à 800 W/m<sup>2</sup>

44.7 W à 600 W/m<sup>2</sup>

29.6 W à 400 W/m<sup>2</sup>

14.3 W à 200 W/m<sup>2</sup>

- Le comportement typique d'un panneau solaire est bien visible : la courbe présente un point de puissance maximale (MPPT) pour chaque niveau d'Irradiance.

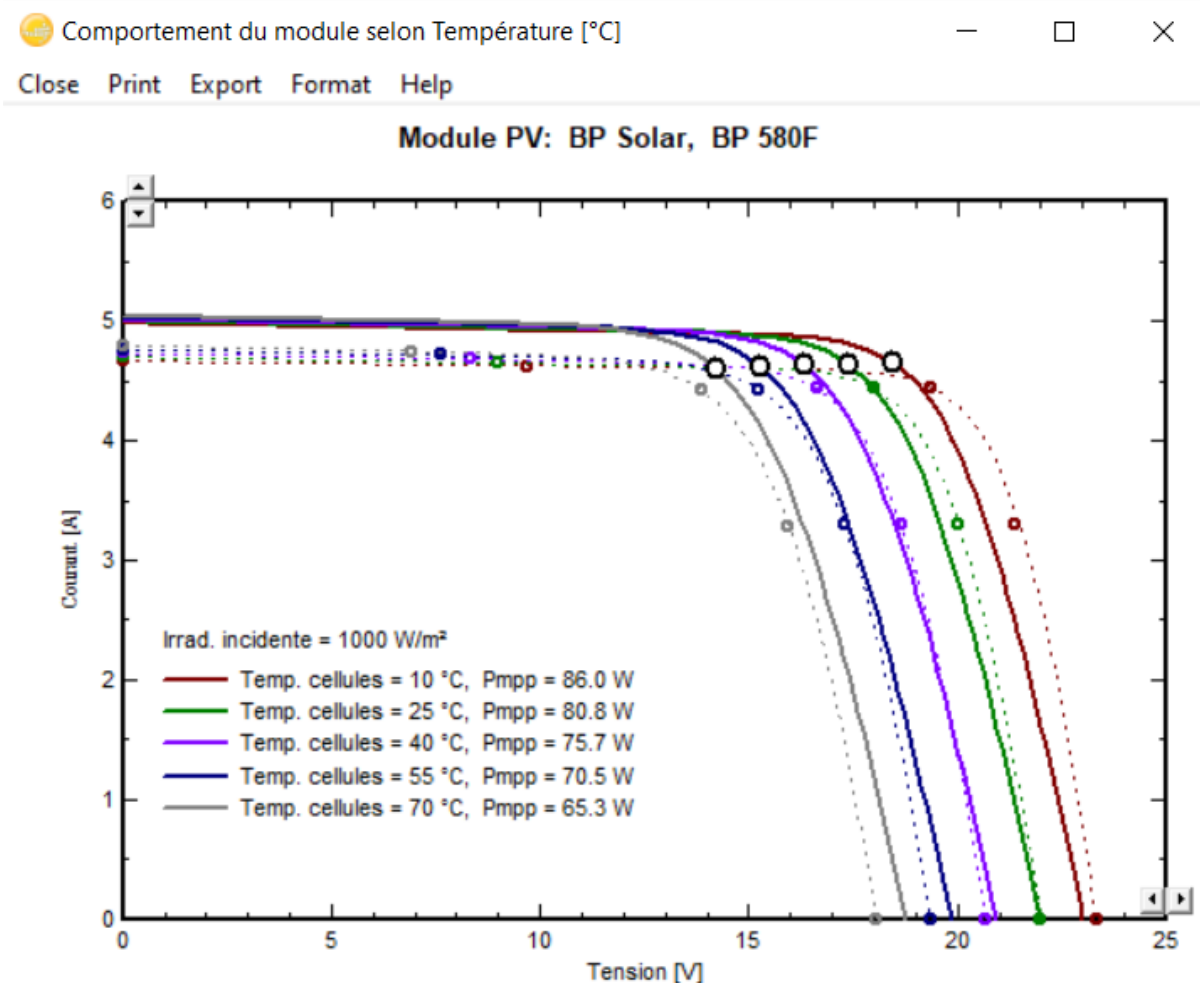


**La Fig III.16 :** un graphique illustrant l'efficacité d'un module photovoltaïque en fonction de l'Irradiance globale incidente pour différentes températures de cellule.

---

Cette photo présente un graphique illustrant l'efficacité d'un module photovoltaïque (BP Solar, modèle BP 580F) en fonction de l'Irradiance globale incidente pour différentes températures de cellule.

- L'axe vertical montre l'efficacité à puissance maximale [%], tandis que l'axe horizontal représente l'irradiance globale [ $\text{W/m}^2$ ].
- Chaque courbe correspond à une température de cellule différente : de 10 °C (en haut) à 70 °C (en bas).
- On constate clairement que l'efficacité diminue avec l'augmentation de la température ce qui est typique des modules photovoltaïques au silicium.
- À Irradiance élevée ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), l'efficacité maximale est de 12,84 % (probablement à 25 °C).
- Un encadré compare les pertes relatives d'efficacité par rapport aux conditions STC ( $1000 \text{ W/m}^2$ , 25 °C) pour différentes Irradiance selon deux modèles :
  - Pvsys : perte modérée (par ex. -0,7 % à  $800 \text{ W/m}^2$ ).
  - Sandia : pertes plus importantes, surtout à basse Irradiance (ex. -6,6 % à  $200 \text{ W/m}^2$ ).
- Ce graphique illustre bien l'impact doublement défavorable de la chaleur élevée et de la basse Irradiance sur le rendement des modules photovoltaïques, mettant en évidence l'importance de la gestion thermique et du dimensionnement des systèmes.



**La Fig III.17 :** les courbes courant-tension (I-V) d'un module photovoltaïque, en fonction de la température de cellule.

Cette image montre les courbes courant-tension (I-V) d'un module photovoltaïque BP Solar, modèle BP 580F, en fonction de la température de cellule, à Irradiance constante de 1000 W/m<sup>2</sup>.

- L'axe vertical représente le courant  $[A]$ , et l'axe horizontal la tension  $[V]$ .
- Chaque courbe correspond à une température de cellule donnée : de 10 °C à 70 °C.
- **On observe que :**
  - Le courant reste pratiquement constant pour toutes les températures.

---

- En revanche, la tension diminue significativement lorsque la température augmente.

- Le point de puissance maximale ( $P_{mpp}$ ) diminue aussi avec la température :

86,0 W à 10 °C

80,8 W à 25 °C

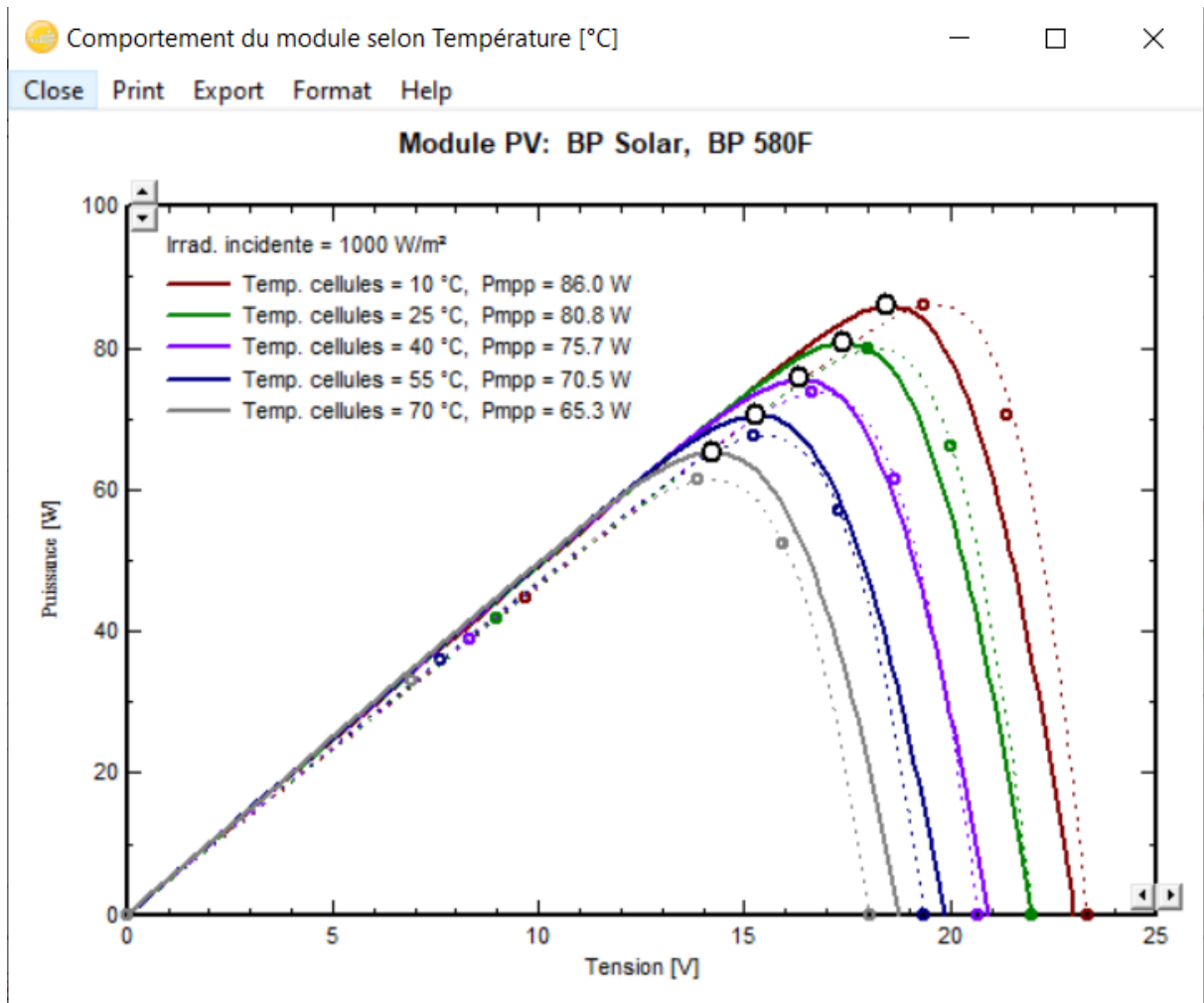
75,7 W à 40 °C

70,5 W à 55 °C

65,3 W à 70 °C

- l'échauffement des cellules photovoltaïques réduit leur rendement, principalement par baisse de la tension .

- Cette courbe est une illustration claire de la sensibilité thermique des modules PV à Irradiance constante, plus la température augmente, plus la puissance maximale chute, ce qui souligne l'importance d'une bonne ventilation ou d'un système de refroidissement dans les environnements chauds.



**La Fig III.18 :** le comportement en puissance (P-V) d'un module photovoltaïque en fonction de la température des cellules.

Cette image montre le comportement en puissance (P-V) d'un module photovoltaïque BP Solar, modèle BP 580F, en fonction de la température des cellules sous une Irradiance constante de 1000 W/m².

- L'axe des ordonnées représente la puissance (W) et l'axe des abscisses la tension (V).
- Les courbes illustrent l'évolution de la puissance délivrée par le module pour différentes températures de cellules : de 10 °C à 70 °C.
- Comme pour la courbe I-V précédente :
- On constate que plus la température augmente, plus la puissance maximale (Pmpp) diminue.

- La tension au point de puissance maximale ( $V_{mp}$ ) diminue fortement avec la température, tandis que le courant varie peu.

- **Les puissances maximales indiquées sont :**

86.0 W à 10 °C

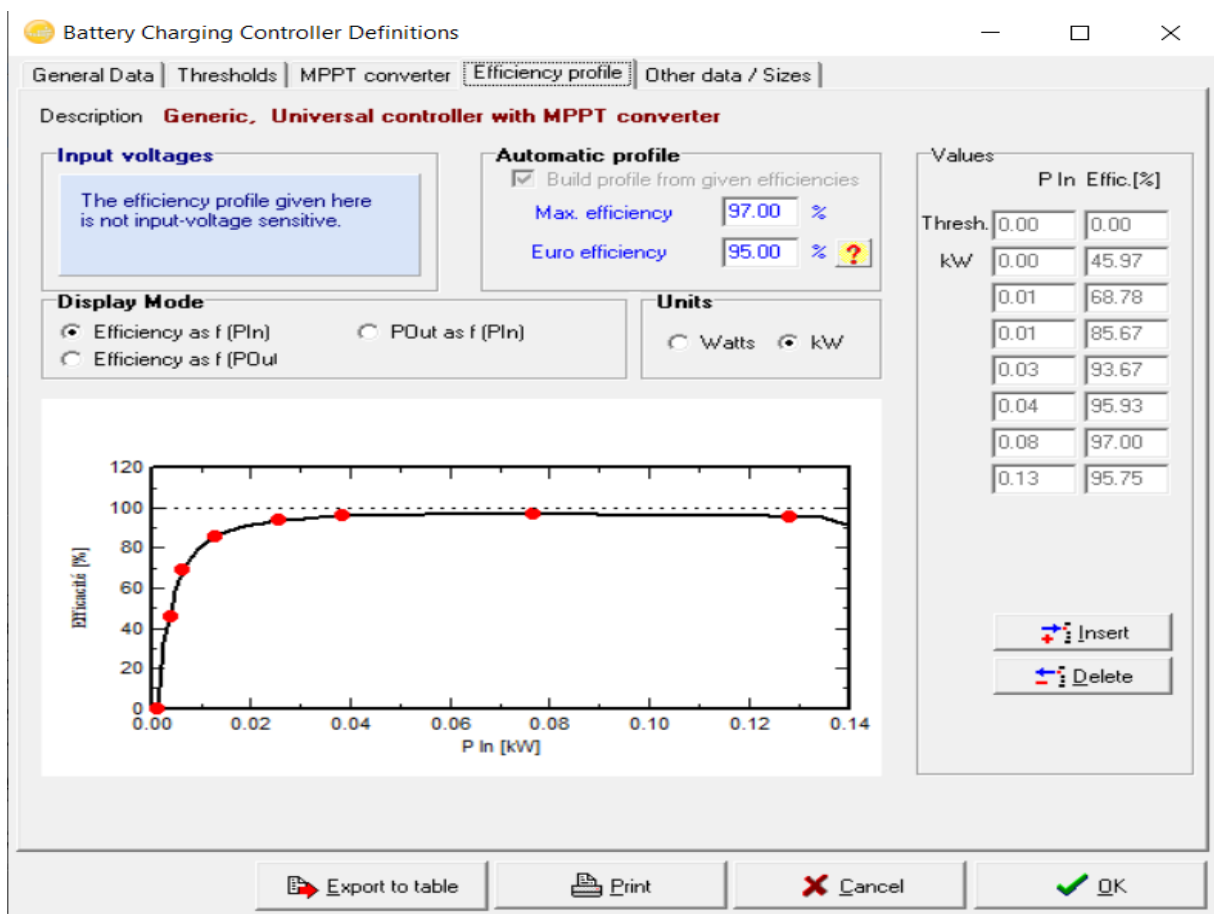
80.8 W à 25 °C

75.7 W à 40 °C

70.5 W à 55 °C

65.3 W à 70 °C

- Cette figure confirme une tendance clé déjà observée : l'efficacité d'un module photovoltaïque décroît avec la température, non pas par baisse du courant, mais principalement par diminution de la tension, ce qui affecte directement la puissance produite. Cela montre l'importance du contrôle thermique pour garantir de bonnes performances.



**La Fig III.19 :** configuration d'un contrôleur de charge de batterie avec suiveur MPPT

---

Cette photo montre la fenêtre de configuration d'un contrôleur de charge de batterie avec suiveur MPPT (Maximum Power Point Tracking) dans un logiciel de simulation (probablement PVsyst).

- La courbe montre l'évolution du rendement (%) du convertisseur en fonction de la puissance d'entrée ( $P_{in}$ , en kW).

- L'efficacité augmente rapidement avec la puissance, atteignant un rendement maximal de 97 % à partir de 0,08 kW.

- À très faible puissance (ex. : 0,01 kW), l'efficacité est beaucoup plus basse (45.97 %), ce qui reflète des pertes importantes dans ces conditions.

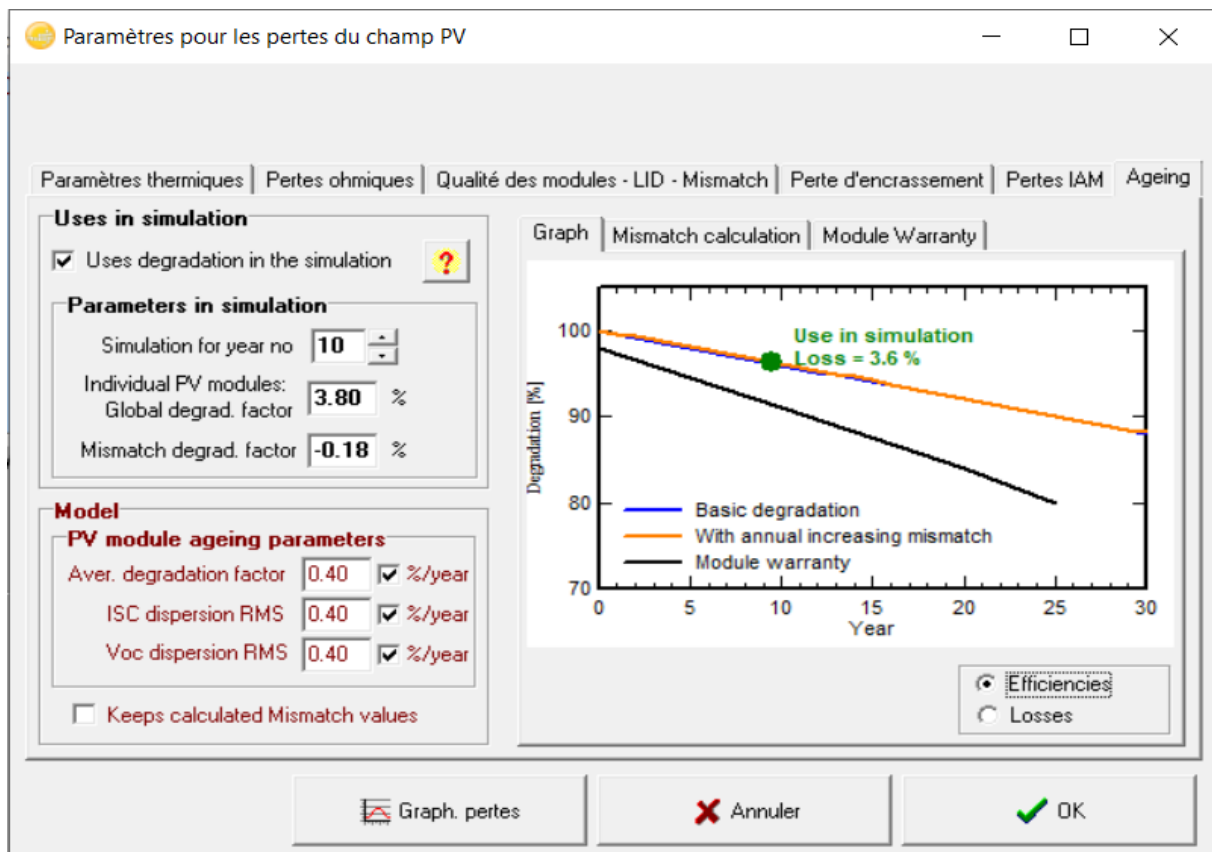
Zone d'efficacité optimale :

- Le système atteint et maintient une efficacité supérieure à 95 % à partir d'environ 30 à 40 W d'entrée.

- Cela indique que le convertisseur est bien dimensionné pour fonctionner efficacement dans une plage de puissance typique pour un petit système solaire.

- Le convertisseur MPPT est très performant à partir d'une puissance minimale bien définie.

- En dessous de cette plage, le rendement chute fortement, ce qui peut être critique dans des systèmes où la production est souvent faible (temps nuageux, ombrage).



**La Fig III.20 :** paramètres de dégradation des modules photovoltaïques dans le logiciel de simulation Pvsys.

Cette photo montre la fenêtre des paramètres de dégradation des modules photovoltaïques dans le logiciel de simulation Pvsys. Elle est utilisée pour modéliser la perte de performance des modules au fil du temps.

Période de simulation : 10 ans.

- Taux de dégradation global utilisé : 3,8 % au bout de 10 ans, soit une moyenne d'environ 0,38 %/an.
- Dégradation moyenne : 0,40 %/an.
- Dispersion du courant de court-circuit (ISC) et de la tension à vide (Voc) : 0,40 %/an.
- Mismatch dégradation factor légèrement négatif (-0.18 %), ce qui pourrait indiquer une correction sur l'effet du mismatch.

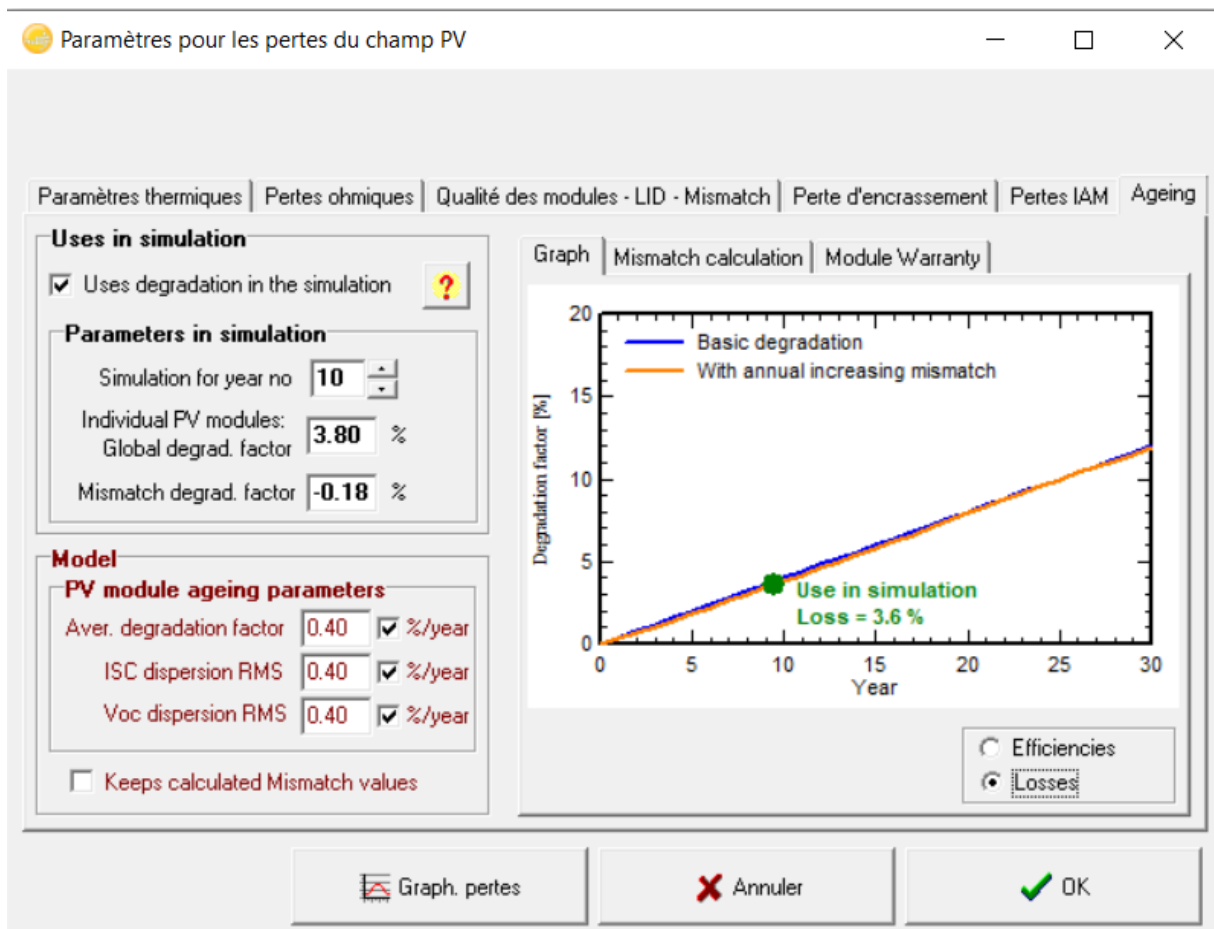
Graphique à droite :

- La courbe orange montre la dégradation utilisée dans la simulation (avec mismatch croissant).



- La courbe bleue correspond à une dégradation de base (linéaire).
- La courbe noire correspond à la garantie typique constructeur (souvent 80 % à 25 ans).
- Le point vert indique qu'au bout de 10 ans, la perte cumulée simulée est de 3,6 %, ce qui reste modéré et réaliste pour des modules bien entretenus.

Les paramètres sont bien configurés pour une simulation réaliste à moyen terme. La dégradation reste modérée, ce qui est conforme aux performances typiques annoncées par les fabricants



**La Fig III.21 :** dégradation des modules PV dans Pvsys en affichant le facteur de dégradation en pourcentage (%)

Cette photo montre une autre vue de la fenêtre de dégradation des modules PV dans Pvsys, mais en affichant cette fois \*\*le facteur de dégradation en pourcentage (%) plutôt qu'en perte directe d'énergie.

- Durée de simulation : 10 ans.

- 
- Facteur de dégradation global appliqué : 3,80 % sur 10 ans.
  - Facteur de dégradation dû au mismatch : +0,18 %, indiquant une augmentation des pertes due à l'hétérogénéité croissante entre les modules avec le temps.
  - Courbes du graphique :
    - Bleu : Dégradation de base sans mismatch.
    - Orange : Dégradation avec mismatch croissant (plus pessimiste).
    - Le point vert confirme que la simulation prend en compte une perte cumulée de 3,6 % au bout de 10 ans.
  - Paramètres du vieillissement (en bas à gauche) :
    - Taux moyen de dégradation : 0,40 %/an.
    - Variabilité du courant de court-circuit (ISC) et de la tension à vide (Voc) : 0,40 %/an.
  - Cette configuration simule de façon fidèle l'impact de l'âge sur les performances des panneaux solaires, incluant les effets d'écarts entre modules (mismatch). Elle est adaptée pour des études de rendement à long terme



- 
- Vent : 1 m/s.
  - Graphique courant-tension (I-V) :
  - Chaque courbe représente l'impact d'un type de perte sur la performance du champ PV.
  - Courbe noire (épaisse) : comportement résultant total avec toutes les pertes incluses.
  - Résumé des pertes (affichées en légende)
  - Puissance théorique (sans perte) : 127 W.
  - Perte de qualité module : 3,0 %
  - Mismatch des modules : 2,3 %
  - IAM (Incidence Angle Modifier) : 2,2 %
  - Température élevée ( $T_{\text{modules}} = 52\text{ °C}$ ) : 12,1 %
  - Résistance ohmique câblage : 0,7 %
  - Perte diode série : 1,0 %
  - Résultat final : puissance nette = 106 W, soit une perte globale de 17,1 %
  - Ce graphique illustre de manière très claire comment chaque facteur affecte la performance des modules. La température reste la perte dominante, suivie par la qualité du module et le mismatch. Cette visualisation est précieuse pour prioriser les leviers d'optimisation (ventilation, tri des modules, choix du câblage).



# Conclusion générale

## Conclusion générale

L'objectif principal de ce mémoire était d'étudier les méthodes de détection des défauts dans les installations photovoltaïques, dans le but de contribuer à l'amélioration de la fiabilité, de l'efficacité et de la durabilité de ces systèmes de production d'énergie renouvelable. Dans un contexte de transition énergétique mondiale, la maîtrise des outils de surveillance et de diagnostic devient un enjeu majeur pour assurer une exploitation optimale des infrastructures photovoltaïques.

À travers une revue approfondie de la littérature, complétée par des analyses expérimentales et/ou numériques (à adapter selon votre travail), nous avons pu identifier les principaux types de défauts susceptibles d'affecter les performances des systèmes photovoltaïques, tels que les défauts d'isolement, les points chauds, les microfissures, ou encore les dysfonctionnements des onduleurs. Nous avons également étudié les différentes approches de détection existantes, en mettant l'accent sur les méthodes innovantes basées sur l'analyse de données, la thermographie infrarouge, ou encore l'intelligence artificielle.

Les résultats obtenus montrent que l'intégration de techniques avancées de traitement des données et de surveillance conditionnelle permet non seulement de détecter les défauts de manière plus précoce et plus fiable, mais également d'optimiser la maintenance prédictive des installations. Ces avancées contribuent ainsi à réduire les coûts d'exploitation, à prolonger la durée de vie des équipements et à sécuriser la production d'énergie.

Toutefois, certaines limites ont été identifiées, notamment en ce qui concerne la précision des diagnostics en conditions réelles, la dépendance aux conditions environnementales ou encore la nécessité de disposer de bases de données représentatives pour l'apprentissage automatique. Ces éléments ouvrent des perspectives de recherche importantes, notamment en matière de développement de systèmes intelligents de

---

diagnostic embarqué, de fusion de données multisources ou encore d'automatisation de la maintenance préventive.

En somme, cette étude souligne l'importance stratégique de la détection des défauts dans la performance globale des systèmes photovoltaïques, et appelle à une intégration croissante des outils numériques dans le suivi et l'exploitation des énergies renouvelables.



## références bibliographique :

- [1] A. Azizi, « Modélisation optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec un système de stockage hybride,» Thèse de Doctorat de l'Université de Annaba, Annaba, 2019.
- [2] ROBERT Jérôme "FABAS Laurent, Guide de la maison économe", Edition Eyrolle, Paris 2008.
- [3] CHABANI Zeyneb" La part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national à l'horizon 2030" Mémoire de magister, Université Mohamed Bougara-Boumerdes. 2014.
- [4] A. B. Boudghene Stambouli, «Algerian renewable energy assessment: the challenge of sustainability,» *Energy Policy*, vol. 39, pp. 4507-4519, 2011.
- [5] A. K. Z. F. S. K. Y. Stambouli, «A review on the renewable energy development in Algeria : current perspective,energy scenario and sustainability issues,» *Renew.Sustain.Energy Rev*, 2012.
- [6] F. Chellali, A. Khellaf, A. Belouchrani et A. Reciou, «A contribution in the actualization of wind map of Algeria. Renew.,» *Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, pp. 993-1002, 2011.
- [7] A. B. Stambouli, Y. Himri et S. Himri, «Assessing the wind energy potential projects in Algeria,» *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol. 13, pp. 2187-2191, 2009a.
- [8] Y. Himri, , A. Stambouli, B. Draoui et S. Himri, «Review of wind energy use in Algeria,» *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol. 13, pp. 910-914., 2009b.
- [9] S. Saiah et A. Stambouli, «] SProspective analysis for a long-term optimal energy mix planning in Algeria: towards high electricity generation security in 2062,» *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, pp. 26-43., 2017.
- [10] A. Akbi, M. Saber, M. Aziza et N. Yassaa, «n overview of sustainable bioenergy potential in Algeria,» *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2017.

- [11] A. B. Stambouli, «Promotion of renewable energies in Algeria: strategies and perspectives,» *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol. 15, pp. 1169-1181., 2011.
- [12] A. Maafi, « A survey on photovoltaic activities in Algeria. Renew. Energy,» *Renew. Energy* , vol. 20, pp. 9-17, 2000.
- [13] H. Maammeur, A. Hamidat, L. Loukarfi, L. Loukarfi, M. Missoum, K. Abdeladim et T. Nacer, «Performance investigation of grid-connected PV systems for family farms: case study of North-West of Algeria.,» *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2017.
- [14] «<https://slideplayer.fr/slide/3274136/>».
- [15] A. Stambouli, B. Khiat, S. Flazi et Y. Kitamura, «Stambouli,A.B;A review on the renewable energy development in Algeria: current perspective, energy scenario and sustainability issues,» *Renew.Sustain.Energy Rev*, 2012.
- [16] Algeria global horizontal irradiation [WWW Document], n.d. URL <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/Algeria>».
- [17]
- [18] G. Oreski et G. M. Wallner, «Evaluation of the Aging Behavior of Ethylene Copolymer Films for Solar Applications under Accelerated Weathering Conditions,» *Solar Energy*, vol. 83, pp. 1040-1047, 2009.
- [19] M. OULED HADJ YUCEF et A. HAMIDA, «Etude comparative entre système de pompage solaire (photovoltaïque) et système de pompage classique (conventionnel),» Mémoire master de l'Université de Ghardaia, Ghardaia, 2021.
- [20] A. M. Ansar et A. E. Djebaili Imed , «L'efficacité énergétique dans le bâtiment architectural.Cas d'étude : Évaluation des performances énergétiques du rectorat de,» Mémoire de master de l'Université de Oum El Bouaghi, Oum El Bouaghi, 2017.
- [21] P. Stéphane, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques,» Thèse de doctorat de l'Université Toulouse III , Toulouse, 2009.

- 
- 
- [22] S. FADHEL, «Efficacité énergétique et Surveillance d'un microgrid à courant continu alimenté par des panneaux photovoltaïques,» Thèse présentée et soutenue à l'ENI Sousse, Sousse, 2020.
- [23] - Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers : « Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations », deuxième édition, Berlin 2010
- [24] - Liman Amine et Soukane Samir « Etude et modélisation d'un système photovoltaïque autonome », mémoire d'Ingéniorat, UMMTO, 2012.
- [25] <http://www.energies renouvelables.org/energies renouvelables>. ASP : les différents types de l'énergie renouvelable.
- [26] <http://www.larousse.fr>: l'énergie solaire.
- [27] <http://www.cder.dz/download/Art11-3 14.pdf>: Modélisation d'un panneau solaire.
- [28] Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE, thème : Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [29] Salaheddine MANSOURE, (2014). Etude de Dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé. Mémoire master. Université Abou-Bakr Belkaïd Tlemcen.
- [30] Liman Amine et Soukane Samir « Etude et modélisation d'un système photovoltaïque autonome », mémoire d'Ingéniorat, UMMTO, 2012.
- [30] Olivier GERGAUD, Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur, Ecole normale supérieure Cachan, 2002.
- [31] Akassewa Tchapo SINGO, Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.
- [32] A. Triki-lahiani, A.B. Abdelghani and I. Slama-belkhodja. Fault Detection and Monitoring Systems for Photovoltaic Installations: A Review', Renewable Sustainable Energy Review. s.l. : pp. 0-1, 2017. doi:10.1016/j.rser.2017.09.101.

- 
- [33] L. Bun. Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque. Grenoble : Université de Grenoble, 2012
- [34] D.W.Peter. Fault Detection and Performance Visualisation for a Grid-Connected Photovoltaic Power Plant Using Sensor Data. Master of Engineering Thesis. s.l. : Stellenbosch University, 2019.
- [35] A. Mellit, G.M. Tina and S.A. Kalogirou. Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: a review Renewable Sustainable Energy Review. s.l. : Vol. 91, pp. 1 -17, 2018. doi:10.1016/j.rser.2018.03.062. )
- [36] [https://tel.archives-ouvertes.fr/search/index/?q=%2A&structId\\_i=35871](https://tel.archives-ouvertes.fr/search/index/?q=%2A&structId_i=35871). [Online].
- [37] L. Bun. Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque. Grenoble : Université de Grenoble, 2012.
- [38] A. Mellit, G.M. Tina and S.A. Kalogirou. Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: a review Renewable Sustainable Energy Review. s.l. : Vol. 91, pp. 1 -17, 2018. doi:10.1016/j.rser.2018.03.062.
- [39] A. Triki-lahiani, A.B. Abdelghani and I. Slama-belkhodja. Fault Detection and Monitoring Systems for Photovoltaic Installations: A Review', Renewable Sustainable Energy Review. s.l. : pp. 0-1, 2017. doi:10.1016/j.rser.2017.09.101.
- [40] M. Cândida, C. de Oliveira, A. Sonia, A. Diniz, M. Viana and V. de Freitas. The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: a review. s.l. : Renewable Sustainable Energy Review, pp. 1 - 19, 2017. doi:10.1016/j.rser.2017.06.039.
- [41] A. Kobi, CMF Ke, PA Ndiaye and V. Sambou. Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review . s.l. : Solar Energy, Vol. 96, pp. 140 - 151, 2013. doi:10.1016/j.solener.2013.07.005.
- [42] A. Mellit, G.M. Tina and S.A. Kalogirou. Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: a review Renewable Sustainable Energy Review. s.l. : Vol. 91, pp. 1 -17, 2018. doi:10.1016/j.rser.2018.03.062
- [43] Chandel, V. Sharma and S.S. Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: a review. s.l. : Renewable Sustainable Energy Review, Vol. 27, pp. 753 - 767, 2013. doi:10.1016/j.rser.2013.07.046.

- 
- [44] G. Illya, V. Handara, L. Yujing, R. Shivakumar and A. Suriadi. Backsheet Degradation under Salt Damp Heat Environments - Enabling Novel and Innovative Solar Photovoltaic Systems Design for Tropical Regions and Sea Close Areas. s.l. : Procedia Engineering, Vol. 139, pp. 7 - 14, 2016 doi:10.1016/j.proeng.2015.09.233.
- [45] wang, C. Huang and L. Simulation study on the degradation process of photovoltaic modules. s.l. : Energy Conversion and Management, Vol. 165, pp. 236 -243, 2018. doi:10.1016/j.enconman.2018.03.056.
- [46] M. Cândida, C. de Oliveira, A. Sonia, A. Diniz, M. Viana and V. de Freitas. The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: a review. s.l. : Renewable Sustainable Energy Review, pp. 1 - 19, 2017. doi:10.1016/j.rser.2017.06.039.
- [47] A. Kobi, CMF Ke, PA Ndiaye and V. Sambou. Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review . s.l. : Solar Energy, Vol. 96, pp. 140 - 151, 2013. doi:10.1016/j.solener.2013.07.005.
- [48] Chandel, V. Sharma and S.S. Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: a review. s.l. : Renewable Sustainable Energy Review, Vol. 27, pp. 753 - 767, 2013. doi:10.1016/j.rser.2013.07.046.
- [49] G. Illya, V. Handara, L. Yujing, R. Shivakumar and A. Suriadi. Backsheet Degradation under Salt Damp Heat Environments - Enabling Novel and Innovative Solar Photovoltaic Systems Design for Tropical Regions and Sea Close Areas. s.l. : Procedia Engineering, Vol. 139, pp. 7 - 14, 2016 doi:10.1016/j.proeng.2015.09.233.
- [50] Chandel, V. Sharma and S.S. Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: a review. s.l. : Renewable Sustainable Energy Review, Vol. 27, pp. 753 - 767, 2013. doi:10.1016/j.rser.2013.07.046.
- [51] IEA - PVPS, Review of Failures of Photovoltaic Modules. 2014.
- [52] Météo-France, Glossaire météorologique  
Source : Météo-France – <https://www.meteofrance.com>
- [53] Référence : Schneider Electric, Lexique de l'électricité  
Source : <https://www.se.com/fr/fr/faqs/FA180568/>

[54] Référence : ADEME (Agence de la transition écologique), Guide de l'autonomie énergétique

[Source : <https://librairie.ademe.fr/>]

[55] Référence : Glossaire de l'ENS Louis-Lumière (École nationale supérieure des métiers de l'image)

[56] Source : International Renewable Energy Agency (IRENA), "Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030", 2017.

<https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-Costs-and-markets>