

*Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique*



*Université de Ghardaïa*

Faculté des Sciences et Technologies

Département d'Automatique et Électromécanique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière :** *Automatique*

**Spécialité :** *Automatique et systèmes*

**Par :** *BOUGHELLABA AHMED*

***BEN DEKKEN MOHAMMED ABD ELBASSET***

**Thème**

**Détection et diagnostic des pannes dans les  
systèmes photovoltaïques à l'aide de  
l'intelligence artificielle**

**Soutenu publiquement le : .../06/2024 Devant le jury :**

<b>LIEMID AL TAHIR</b>	<b>MCB</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Président</b>
<b>BELKACEM BAKKAR</b>	<b>MCB</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>MOSBAH ABDELKARIM</b>	<b>MCB</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Encadrant</b>

**Année universitaire 2023/2024**

# Dédicace

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*A l'âme de mon père.*

*A ma chère mère, La femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non amés exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre.*

*A mes frère "**Moaad**" & "**wissal**", qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.*

*A Ma sœur "**Soulef**" et mes chères petites filles "**Fatima**" & "**lina**"& "**hanin**", la joie et le bonheur de la maison.*

*A mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.*

*A mes chère amis que j'ai connu jusqu'à maintenant, Merci pour leurs amours et leurs encouragements.*

*Sans oublier mon binôme "**ben dekken mohammed abdelbasset**" pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*Ahmed boughellaba*

# *Dédicace*

*À ceux qui m'ont élevé quand j'étais petit, qui m'ont toujours soutenu dans les moments de joie et de peine,  
et dont les prières n'ont jamais quitté les étapes de ma vie - que Dieu les protège (ma mère et mon père)*

*À mes frères et sœurs : Zahia & Ahmed Abdel Samad & Mahmoud Abdel Kader.*

*À tous les professeurs tout au long de mon parcours scolaire, toute ma reconnaissance et gratitude, je vous  
dis du fond du cœur merci et que Dieu vous récompense de tout bien.*

*À tous mes amis et collègues, que Dieu les guide.*

*À tous ceux qui ont eu un impact sur ma vie, qui m'ont conseillé et guidé*

*Et à tous ceux que mon carnet n'a pas pu mentionner mais que ma mémoire garde, je demande à Dieu de  
vous accorder le succès*

*Et à tous ceux qui connaissent Mohammed Abdel Basset*

*À vous tous, je dédie ce travail....*

*mohammed abdelbasset Ben dekken*

# Remerciement

Nous remercions tout d'abord Allah SWT, tout puissant, de nous avoir donné la volonté, l'aide, la patience et le courage pour accomplir ce projet, ainsi que la force et l'audace pour dépasser toutes les difficultés

Nous tenons à remercier l'encadreur de cette thèse, M.MOSBAH ABDELKARIM pour sa suggestion de ce sujet et ses précieux conseils

Nous remercions profondément M. HASSAN NASSER pour son soutien et aide.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à nos professeurs qui nous ont accompagnés tout au long de l'étude. Ils ont été une source d'inspiration pour nous et nous leur sommes très reconnaissants pour leur enseignement, leurs conseils et leurs encouragements

Nous leur sommes très reconnaissants pour leur enseignement, leurs conseils et leurs encouragements

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés et encouragés dans la réalisation .de ce projet qui nous ont aidés et encouragés dans la réalisation de ce travail.

## ملخص

يهدف هذا البحث إلى استكشاف أحدث ما توصل إليه العلم في مجال التعلم العميق وتأثيره على الألواح الكهروضوئية أيضا يهدف إلى تسليط الضوء على المساهمة الكبيرة للتعلم العميق في تحسين كفاءة وصيانة الألواح الكهروضوئية .

في البداية، سنقدم المفاهيم الرئيسية للذكاء الاصطناعي، التعلم الآلي، والتعلم العميق، مع تفصيل تطورها وتأثيرها على مختلف القطاعات. سنركز بعد ذلك على الشبكات العصبية، وبالأخص الشبكات العصبية التلافيفية (CNN)، وتطبيقها في اكتشاف وتصنيف الشوائب والأوساخ على الألواح الشمسية.

سنناقش التحديات الحالية التي يواجهها مجال صيانة الألواح الكهروضوئية ، مثل تراكم الغبار والحطام، وكيف يمكن لتقنيات التعلم العميق أن توفر حلاً مبتكرة وفعالة. على سبيل المثال، استخدام الطائرات بدون طيار المجهزة بكاميرات لالتقاط صور للألواح، والتي يتم تحليلها بعد ذلك بواسطة نماذج التعلم العميق لاكتشاف المناطق التي تحتاج إلى تنظيف أو إصلاح.

الخطوة التالية في دراستنا ستكون تطوير نموذج لتصنيف الصور باستخدام الشبكات العصبية التلافيفية، معتمدين على مكتبات شهيرة مثل **TensorFlow** و **Keras**. سنشرح عملية جمع ومعالجة البيانات، بناء النموذج، والتقنيات المستخدمة لتقييم دقة وقوة النموذج.

أخيراً، سنعرض الآفاق المستقبلية والتحسينات المحتملة، مثل دمج أنظمة المراقبة في الوقت الحقيقي والأتمتة الكاملة لصيانة الألواح الكهروضوئية بفضل الذكاء الاصطناعي. يهدف هذا البحث إلى إظهار كيف يمكن للتعلم العميق أن يحدث ثورة في إدارة وتحسين الألواح الشمسية، مما يسهم في إنتاج طاقة أكثر استدامة وكفاءة.

## Résumé

Ce projet vise à explorer les dernières avancées scientifiques dans le domaine de l'apprentissage profond et leur impact sur les panneaux solaires. Il vise également à mettre en lumière la contribution significative de l'apprentissage profond dans l'amélioration de l'efficacité et de la maintenance des panneaux solaires.

Tout d'abord, nous présenterons les concepts clés de l'intelligence artificielle, du Machine Learning et du Deep Learning, en détaillant leur évolution et leur impact sur divers secteurs. Nous nous concentrerons ensuite sur les réseaux de neurones, en particulier les réseaux neuronaux convolutifs (CNN), et leur application dans la détection et la classification des anomalies et des saletés sur les panneaux solaires.

Nous discuterons des défis actuels rencontrés dans le domaine de la maintenance des panneaux photovoltaïques, tels que l'accumulation de poussière et de débris, et comment les techniques de Deep Learning peuvent offrir des solutions innovantes et efficaces. Par exemple, l'utilisation de drones équipés de caméras pour capturer des images des panneaux, qui sont ensuite analysées par des modèles de Deep Learning pour détecter les zones nécessitant un nettoyage ou une réparation.

L'étape suivante de notre étude consistera à développer un modèle de classification d'images en utilisant des réseaux CNN, en se basant sur des bibliothèques populaires telles que TensorFlow et Keras. Nous décrirons le processus de collecte et de prétraitement des données, la construction du modèle, et les techniques d'évaluation pour assurer la précision et la robustesse du modèle.

Enfin, nous examinerons les perspectives d'avenir et les potentielles améliorations, comme l'intégration de systèmes de surveillance en temps réel et l'automatisation complète de la maintenance des panneaux photovoltaïques grâce à l'IA. Ce mémoire vise à démontrer comment le Deep Learning peut transformer la gestion et l'optimisation des panneaux solaires, contribuant ainsi à une production d'énergie plus durable et efficace.

**Mots clés :** Deep Learning, panneaux photovoltaïques, intelligence artificielle, Machine Learning, réseaux neuronaux convolutifs (CNN), TensorFlow, Keras, maintenance automatisée.

### **Abstract**

This research aims to explore the latest scientific advancements in deep learning and their impact on solar panels. It also aims to highlight the significant contribution of deep learning in improving the efficiency and maintenance of solar panels.

First, we will introduce the key concepts of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning, detailing their evolution and impact on various sectors. We will then focus on neural networks, particularly Convolutional Neural Networks (CNN), and their application in detecting and classifying anomalies and dirt on solar panels.

We will discuss the current challenges faced in the maintenance of photovoltaic panels, such as the accumulation of dust and debris, and how Deep Learning techniques can offer innovative and effective solutions. For example, the use of drones equipped with cameras to capture images of the panels, which are then analyzed by Deep Learning models to detect areas needing cleaning or repair.

The next step in our study will involve developing an image classification model using CNNs, based on popular libraries such as TensorFlow and Keras. We will describe the process of data collection and preprocessing, model construction, and evaluation techniques to ensure the accuracy and robustness of the model.

Finally, we will examine future prospects and potential improvements, such as integrating real-time monitoring systems and fully automating the maintenance of photovoltaic panels through AI. This thesis aims to demonstrate how Deep Learning can transform the management and optimization of solar panels, contributing to more sustainable and efficient energy production.

**Keywords:** Deep Learning, photovoltaic panels, artificial intelligence, Machine Learning, Convolutional Neural Networks (CNN), TensorFlow, Keras, automated maintenance.

## Liste des abréviations

**AI:** Artificial Intelligence (Intelligence artificielle)

**PV:** Photovoltaic

**DL :** Deep Learning (Apprentissage profond)

**ML:** Machine Learning (Apprentissage Automatique)

**CNN:** Convolutional Neural Network

**ANN:** Artificial Neural Network

**GF:** Ground Fault

**OC:** Open-Circuit

**SC:** Short-Circuit

**UV:** Ultraviolet

**Relu:** Rectified Linear Unit

**NLP:** Natural Language Processing

**LL:** Line-to-Line

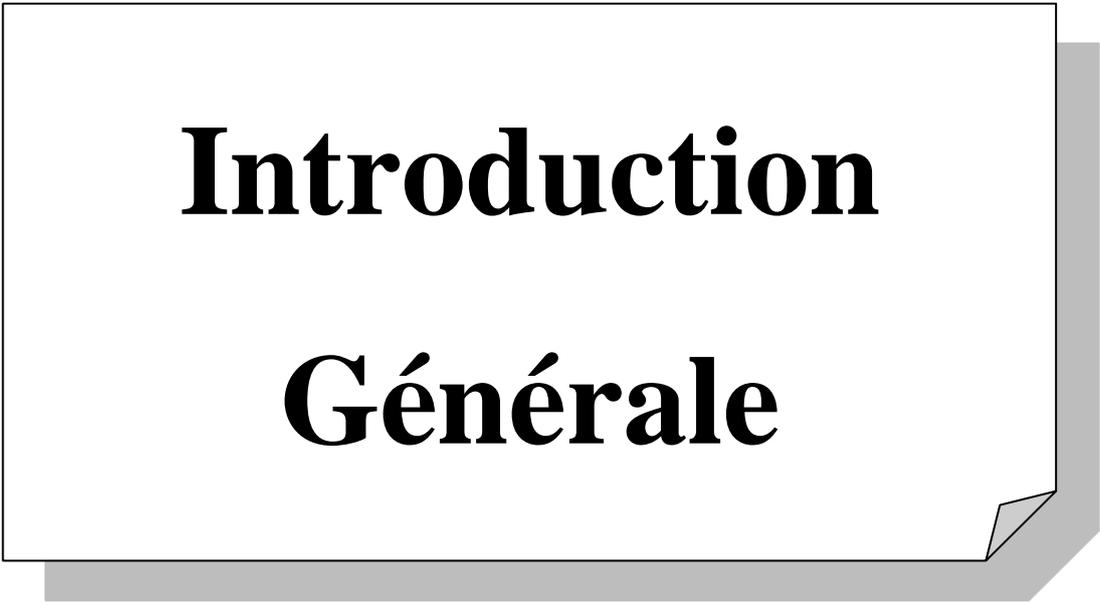
## Sommaire

<b>Résumé</b>	
<b>Liste des Figures</b>	
<b>Introduction Générale</b>	
<i>Chapitre I</i> .....	<b>1</b>
<b>État de l'art sur l'efficacité énergétique des systèmes photovoltaïques</b>	
<b>I.1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2 Énergie Lumineuse</b> .....	<b>2</b>
<b>I.3 Les Défis de la Propreté</b> .....	<b>2</b>
<b>I.3.1 Accès aux sites:</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3.2 Variabilité des conditions météorologiques:</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3.4 Risque de dommages :</b> .....	<b>3</b>
<b>I.4 L'IA en Lumière</b> .....	<b>5</b>
<i>Chapitre II</i> .....	<b>8</b>
<b>Classification par réseau de neurones convolutifs</b>	
<b>II.1 Introduction :</b> .....	<b>8</b>
<b>II.2 Lueur d'Espoir :</b> .....	<b>10</b>
<b>II.2.1 Nettoyage manuel :</b> .....	<b>10</b>
<b>II.2.2 Nettoyage à l'eau :</b> .....	<b>10</b>
<b>II.2.3 Nettoyage mécanique</b> .....	<b>11</b>
<b>II.2.4 Nettoyage robotisé :</b> .....	<b>11</b>
<b>II.2.4 Nettoyage électrostatique :</b> .....	<b>13</b>
<b>II.3 La Voie Lumineuse</b> .....	<b>14</b>
<b>II.4 Deep Learning :</b> .....	<b>16</b>
<b>II.5 Les algorithmes de Deep Learning</b> .....	<b>16</b>
<b>II.6 Méthodologie Miroitante</b> .....	<b>23</b>

<b>II.7 La classification d'image en PV .....</b>	<b>26</b>
<b>II.7.1 Introduction sur le traitement d'image .....</b>	<b>26</b>
<b>II.7.2 La vision artificielle et le traitement d'image .....</b>	<b>27</b>
<b>II.8 Conclusion .....</b>	<b>28</b>
<b>Chapitre III .....</b>	<b>30</b>
<b>Présentation de l'application Android</b>	
<b>III.1. Introduction .....</b>	<b>30</b>
<b>III.2. Problématique étudiée .....</b>	<b>30</b>
<b>III.3. Présentation des outils .....</b>	<b>30</b>
<b>III.4. Base de données .....</b>	<b>33</b>
<b>III.5 Implémentation.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1 L'architecture de notre réseau.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1 Utilisation de ResNet50 .....</b>	<b>36</b>
<b>III.6 Application de Détection de Défauts Photovoltaïques (PFD).....</b>	<b>38</b>
<b>6.1 Fonctionnalités Clés .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1.1 Options de Capture et de Téléchargement d'Images .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1.2 Classification d'Images pour la Détection de Défauts .....</b>	<b>38</b>
<b>6.2 Développement Technique et Implémentation.....</b>	<b>39</b>
<b>6.3 Interface Utilisateur et Expérience .....</b>	<b>39</b>
<b>III.7 Résultats obtenus et discussion .....</b>	<b>40</b>
<b>III.8 Conclusion.....</b>	<b>41</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>42</b>
<b>L'annexe 1 : Google Colab.....</b>	<b>42</b>
<b>L'annexe 2 : Programme de classification image (CNN architecture) .....</b>	<b>43</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>52</b>
<b>Références .....</b>	<b>54</b>

## Liste des Figures

<i>Chapitre I</i> .....	1
<b>Figure I.1:</b> Panneau solaire recouvert de poussière et de saleté .....	1
<b>Figure I.2:</b> Structure des panneaux photovoltaïques [8].....	4
<b>Figure I.3:</b> Un robot inspecte un panneau solaire à l'aide d'une tablette [10].....	5
 <i>Chapitre II</i> .....	 8
<b>Figure II.1:</b> Découvrez comment l'intelligence artificielle révolutionne l'industrie du nettoyage des panneaux solaires [13].....	8
<b>Figure II.2:</b> Composants du robot de nettoyage de panneaux solaires (a) Système d'aspersion d'eau (b) Système de brossage (c) Système d'entraînement des roues système d'entraînement [24].....	13
<b>Figure II.3:</b> (a) Prototype de robot nettoyeur de panneau de cellules solaires (b) La trajectoire de marche du robot [24].....	13
<b>Figure II.4 :</b> Structure schématique des différents défauts [33].....	15
<b>Figure II.5 :</b> L'architecture d'un auto encodeur [36].....	17
<b>Figure II.6 :</b> les réseaux de neurones convolutifs [37].....	19
<b>Figure II.7 :</b> l'opération de convolution [36].....	20
<b>Figure II.8 :</b> principe de la fonction RELU [36].....	21
<b>Figure II.9 :</b> Exemple de principe du pooling [36].....	22
<b>Figure II.10 :</b> Principe de la couche entièrement connectée (FC) [36].....	24
<b>Figure II.11 :</b> Un résumé des types d'architectures de réseaux de neurones [36].....	26
<b>Figure II.12 :</b> Architecture du système proposé pour le diagnostic des défaillances [40]..	25
<b>Figure II.13 :</b> L'architecture du CNN [44].....	26
 <i>Chapitre III</i> .....	 35
<b>Figure III.1 :</b> logo python.....	35
<b>Figure III.2 :</b> logo tensorflow.....	35
<b>Figure III.3 :</b> interface kaggle .....	36
<b>Figure III.4 :</b> interface vscode.....	36
<b>Figure III.5 :</b> Précision et l'erreur de modèle CNN (15 Epoques).....	44



**Introduction**

**Générale**

# Introduction Générale

---

Avec l'essor de l'intelligence artificielle (IA) et son intégration croissante comme technologie fondamentale, les domaines du Machine Learning et du Deep Learning ont connu une expansion spectaculaire, devenant parmi les carrières les plus lucratives et recherchées. La vision par ordinateur, essentielle pour extraire des informations des pixels d'images numériques, trouve des applications variées, notamment dans la robotique et les systèmes de surveillance. Au cours de la dernière décennie, les réseaux de neurones profonds, en particulier les CNN, ont dominé ce domaine grâce à la puissance de calcul accrue et la disponibilité des données. Pour notre mémoire, nous explorerons les contributions du Deep Learning dans les PV, les concepts de base de l'IA, du Machine Learning, et des réseaux de neurones, en nous concentrant sur la classification d'images avec des bases de données comme "Solar Panel Images Clean and Faulty Images".

Nous analyserons les résultats progressivement, utilisant des bibliothèques comme TensorFlow et Keras pour optimiser les modèles et explorer les défis et opportunités futurs, y compris les nouvelles technologies comme le transfert d'apprentissage et les GANs.

# ***Chapitre I :***

**État de l'art sur l'efficacité  
énergétique des systèmes**

# Chapitre I

## État de l'art sur l'efficacité énergétique des systèmes photovoltaïques

---

### I.1 Introduction

Avec la hausse des prix de l'électricité, les panneaux photovoltaïques sont devenus une solution de choix pour produire de l'électricité propre et renouvelable à faibles coûts. Installés sur les toits de nombreuses maisons et entreprises, ils contribuent à la réduction de l'empreinte carbone et des dépenses énergétiques [1]. La saleté obstrue le passage de la lumière sur un point précis, même une fine couche de saleté peut réduire considérablement l'efficacité de vos panneaux en obstruant la lumière du soleil [2].

Les hot spots sont un problème sérieux car non seulement ils réduisent la production d'électricité, mais ils peuvent également endommager les cellules solaires et même provoquer des incendies dans les cas extrême par conséquent, le nettoyage régulier des panneaux photovoltaïques est d'une importance cruciale pour garantir leur efficacité énergétique maximale



**Figure I.1** : Panneau solaire recouvert de poussière et de saleté

## **I.2 Énergie Lumineuse**

Exploration de l'impact vital de l'efficacité énergétique dans le domaine solaire l'exploration de l'impact vital de l'efficacité énergétique dans le domaine solaire révèle plusieurs facettes essentielles de la transition vers les énergies renouvelables [3].

- L'efficacité énergétique des systèmes solaires joue un rôle crucial dans la maximisation de la production d'électricité à partir de cette source renouvelable. Des technologies et des pratiques visant à améliorer l'efficacité des panneaux solaires, comme le nettoyage régulier, l'optimisation de l'angle d'inclinaison et l'utilisation de matériaux de haute qualité, contribuent à exploiter au mieux l'énergie solaire disponible.
- Une efficacité énergétique accrue dans le domaine solaire permet de réduire les coûts à long terme associés à la production d'électricité. En optimisant la performance des installations solaires, on peut augmenter leur rentabilité et rendre l'énergie solaire plus compétitive par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.
- L'amélioration de l'efficacité énergétique dans le domaine solaire contribue à réduire l'empreinte carbone globale du secteur de l'énergie. En augmentant la proportion d'électricité produite à partir de sources renouvelables et en réduisant les pertes énergétiques associées à la production et à la distribution, on peut atténuer les impacts environnementaux liés à la combustion de combustibles fossiles [4].

Enfin, l'efficacité énergétique dans le domaine solaire peut jouer un rôle clé dans la réalisation des objectifs de durabilité et de résilience énergétique à l'échelle mondiale. En investissant dans des technologies et des pratiques visant à optimiser l'utilisation de l'énergie solaire, on peut contribuer à la création d'un système énergétique plus durable, résilient et équitable pour les générations futures.

## **I.3 Les Défis de la Propreté**

Des recherches antérieures ont été menées dans plusieurs pays, notamment par Johannsen et al. (2020) ; Ali et al. (2021) ; Lu et al. (2020) ; Asante et al. (2022) ; Kumar et al. (2022) ; Mahmud et Roy (2021) ; Aly et al. (2019) et Ghimire et Kim (2018) pour le Kenya, l'Iran, les États baltes, le Ghana, l'Inde, le Bangladesh, la Tanzanie et le Népal, qui ont déployé des efforts intenses pour étudier plusieurs obstacles liés aux sources d'énergie renouvelables. Ces études ont tenté de comprendre les principaux défis liés à l'adoption et à la

mise en œuvre des sources d'énergie renouvelables. En conséquence, il est tout à fait clair que les sources d'énergie renouvelables se heurtent à une grande variété d'obstacles ; par conséquent, ces obstacles au développement de la technologie des énergies renouvelables doivent être identifiés et surmontés dans leur intégralité. Voici quelques-uns des principaux [5]:

**I.3.1 Accès aux sites:** Certains sites où sont installés les panneaux solaires peuvent être difficiles d'accès, en particulier dans les zones reculées ou sur des structures en hauteur. Cela peut rendre le nettoyage difficile et coûteux, nécessitant parfois l'utilisation d'équipements spéciaux ou de personnel qualifié pour accéder aux panneaux [6].

**I.3.2 Variabilité des conditions météorologiques:** Les conditions météorologiques peuvent avoir un impact significatif sur l'efficacité du nettoyage des panneaux solaires. Par exemple, le nettoyage peut être plus difficile pendant les périodes de fortes pluies ou de tempêtes de poussière, nécessitant des efforts supplémentaires pour maintenir les panneaux propres.

**I.3.3 Coûts et rentabilité :** Le coût du nettoyage des panneaux solaires peut être un obstacle, en particulier pour les installations de grande envergure. Il est important de trouver un équilibre entre les coûts de nettoyage et les avantages en termes d'augmentation de la production d'énergie [6].

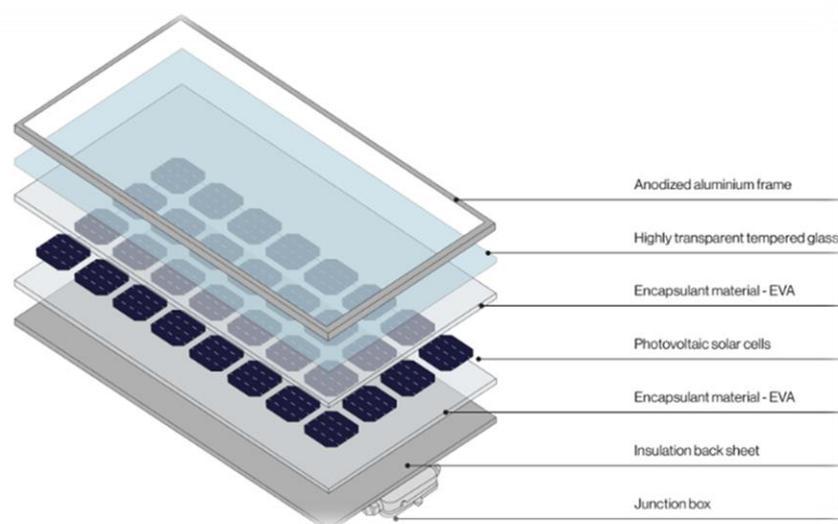
**I.3.4 Risque de dommages :** Le nettoyage des panneaux solaires comporte un risque de dommages, en particulier si des méthodes inappropriées ou des équipements inadaptés sont utilisés. Il est essentiel de prendre des précautions pour éviter d'endommager les panneaux pendant le nettoyage [7].

**I.3.4 Conservation de l'eau:** Dans les régions où l'eau est rare ou coûteuse, la conservation de l'eau peut devenir un défi lors du nettoyage des panneaux solaires. Des méthodes de nettoyage efficaces et économes en eau doivent être utilisées pour minimiser la consommation d'eau.

**I.3.5 Planification logistique :** La planification du nettoyage des panneaux solaires nécessite une coordination logistique efficace pour s'assurer que les équipements et le

personnel sont disponibles au bon moment et au bon endroit. Cela peut être complexe, en particulier pour les installations réparties sur de vastes zones géographiques [7].

**I.3.6 Formation du personnel :** Le nettoyage des panneaux solaires nécessite souvent une formation spécifique pour garantir que le personnel utilise les bonnes techniques et les équipements appropriés en toute sécurité et efficacement. La formation du personnel peut représenter un investissement en temps et en ressources.



**Figure I.2:** Structure des panneaux photovoltaïques [8].

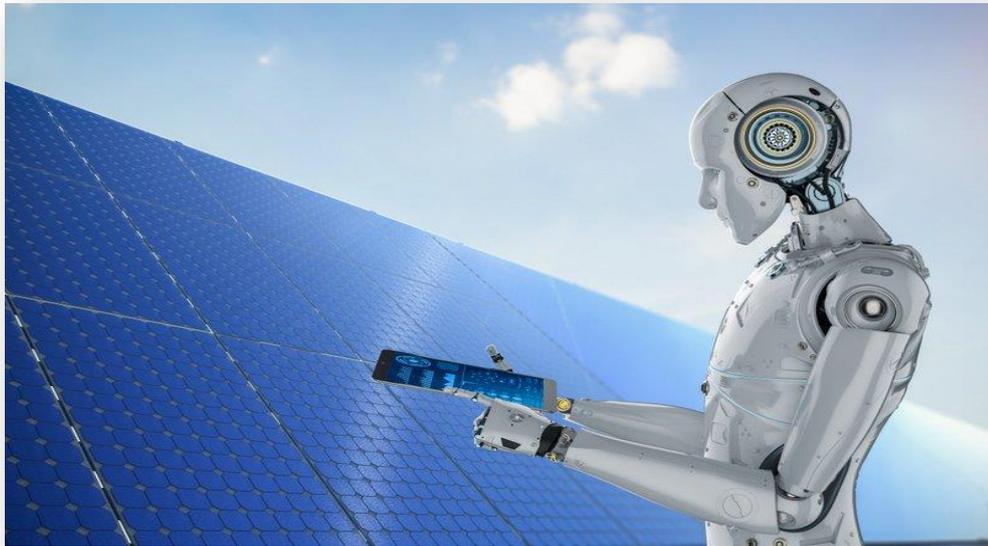
L'unité de base d'un panneau solaire est la cellule solaire, et plusieurs cellules sont connectées ensemble et enfermées dans un cadre protecteur pour former un panneau. Ces panneaux peuvent être installés individuellement ou dans le cadre d'un système d'énergie solaire plus important afin de produire de l'électricité pour un large éventail d'applications, qu'il s'agisse de projets résidentiels, commerciaux, industriels ou à grande échelle[8].

L'efficacité d'un panneau solaire est une mesure de sa capacité à convertir la lumière du soleil en électricité. L'efficacité moyenne des panneaux solaires disponibles dans le commerce varie aujourd'hui entre 15 % et 22 %, bien que les progrès technologiques permettent de repousser sans cesse ces limites.

Malgré ces améliorations, une part importante de l'énergie solaire reste inexploitée, ce qui représente une opportunité considérable d'améliorer l'efficacité grâce à des solutions innovantes, notamment l'application de l'intelligence artificielle (IA).

## I.4 L'IA en Lumière

Il est indéniable que la technologie a connu une évolution phénoménale, surtout au cours des dernières décennies. La révolution numérique, en particulier, a transformé la façon dont nous accomplissons les tâches quotidiennes et professionnelles. Des domaines tels que la vision par ordinateur et l'intelligence artificielle ont joué un rôle majeur dans cette transformation en permettant des avancées spectaculaires dans l'automatisation, la prise de décision, et la résolution de problèmes [9].



**Figure I.3 :** Un robot inspecte un panneau solaire à l'aide d'une tablette[10]

Mettre en avant des solutions innovantes utilisant l'intelligence artificielle et la vision par ordinateur peut être un excellent moyen d'améliorer l'efficacité du nettoyage des panneaux solaires. Voici quelques exemples de telles solutions [11] :

- **Analyse automatisée des images :** Des algorithmes d'intelligence artificielle peuvent être utilisés pour analyser les images des panneaux solaires et détecter automatiquement les zones sales ou obstruées. Cela permet d'identifier rapidement les panneaux nécessitant un nettoyage et de planifier les interventions de manière proactive.
- **Drones équipés de caméras :** Les drones équipés de caméras haute résolution et de logiciels de traitement d'images peuvent survoler les installations solaires pour inspecter visuellement les panneaux et repérer les zones sales ou endommagées. Cette approche

permet une inspection rapide et précise, réduisant ainsi les coûts et les risques associés à une inspection manuelle.

- **Robots de nettoyage autonomes** : Des robots équipés de brosses ou de pulvérisateurs peuvent être programmés pour nettoyer automatiquement les panneaux solaires en utilisant des algorithmes d'intelligence artificielle pour naviguer autour des obstacles et optimiser leur trajet. Ces robots peuvent être déployés régulièrement pour maintenir les panneaux propres sans nécessiter d'intervention humaine directe.
- **Prévisions météorologiques avancées** : Les modèles d'intelligence artificielle peuvent être utilisés pour prédire les conditions météorologiques locales avec une précision accrue, ce qui permet de planifier le nettoyage des panneaux solaires en fonction des périodes de faible pluie ou de forte accumulation de poussière.

En intégrant ces solutions innovantes, les opérateurs d'installations solaires peuvent optimiser le nettoyage des panneaux, réduire les coûts opérationnels et maximiser la production d'énergie [12].

***Chapitre II :***  
**Classification par réseau de  
neurones convolutifs**

# Chapitre II

## Classification par réseau de neurones convolutifs

---

### II.1 Introduction :

L'optimisation du nettoyage des panneaux solaires par le biais de l'intelligence artificielle (IA) est une approche innovante qui vise à améliorer l'efficacité et la rentabilité des opérations de nettoyage des installations solaires. Cette problématique met en lumière la nécessité de trouver des moyens d'utiliser les technologies d'IA pour planifier et exécuter les tâches de nettoyage de manière plus intelligente et plus efficace.



**FigureII.1:** Découvrez comment l'intelligence artificielle révolutionne l'industrie du nettoyage des panneaux solaires[13].

Les systèmes basés sur l'IA peuvent analyser ces données pour déterminer les moments optimaux pour effectuer le nettoyage, en maximisant le rendement énergétique des panneaux solaires tout en minimisant les coûts associés au nettoyage, tels que la main-d'œuvre, l'eau et l'énergie. En ajustant les horaires de nettoyage en fonction des conditions en temps réel et des prévisions météorologiques, les systèmes IA peuvent garantir que les panneaux solaires fonctionnent à leur potentiel maximal, ce qui contribue à une production d'énergie solaire plus stable et efficace [13].

La technologie de l'IA a révolutionné le secteur du nettoyage des panneaux solaires. En utilisant des algorithmes avancés, l'apprentissage automatique et l'analyse de données, les systèmes d'IA sont capables de naviguer et de nettoyer efficacement les panneaux solaires. Ces algorithmes permettent aux systèmes d'IA de reconnaître la saleté, la poussière et d'autres contaminants sur les panneaux, améliorant ainsi leurs capacités de nettoyage.

Les systèmes d'IA sont équipés de capteurs qui détectent le niveau de saleté et de poussière sur les panneaux. Ces capteurs collectent des données et les envoient aux algorithmes de l'IA, qui analysent les informations et déterminent la meilleure méthode de nettoyage. Qu'il s'agisse de brosses, de jets d'eau ou d'autres outils de nettoyage, la technologie de l'IA garantit que les panneaux sont nettoyés en profondeur sans causer de dommages.

En outre, la technologie de l'IA apprend et s'améliore constamment. Au fur et à mesure que des données sont collectées et analysées, les algorithmes deviennent plus précis dans l'identification et l'élimination des contaminants des panneaux. Ce processus d'apprentissage continu garantit que le processus de nettoyage est toujours à jour et efficace [14].

## **II.2 Lueur d'Espoir :**

### **II.2.1 Nettoyage manuel :**

Cette méthode est similaire au nettoyage des vitres à la surface des bâtiments. Bunyan et al. ont étudié l'effet du nettoyage manuel sur la puissance de sortie des panneaux photovoltaïques [15]. Deux modules photovoltaïques identiques ont été installés en extérieur à Shamar, au Koweït, avec une inclinaison de 30° et toujours orientés vers le sud. Les panneaux ont été lavés quotidiennement ou le premier jour de chaque mois avec de l'eau du robinet ou un chiffon. Make et al. étudient l'effet du nettoyage manuel sur la puissance de sortie des modules photovoltaïques dans le désert du Sahara [16]. Le dispositif expérimental consiste en quatre réseaux de modules photovoltaïques polycristallins connectés en série. Les résultats expérimentaux montrent que la puissance de sortie maximale a été considérablement améliorée après le nettoyage, et que la perte de performance des modules photovoltaïques reste comprise entre 2 % et 2,5 %.

### **II.2.2 Nettoyage à l'eau :**

Certaines centrales photovoltaïques utilisent des camions à jet d'eau, des tuyaux d'eau, des pommes de douche, des pistolets à eau sous pression et d'autres installations pour nettoyer les panneaux photovoltaïques. En même temps, l'eau est un solvant approprié et peut être utilisée avec divers agents de nettoyage pour améliorer l'efficacité du nettoyage de manière significative. Al-Otaibi et al. ont étudié l'effet d'un système automatique de jet d'eau pour le nettoyage des panneaux photovoltaïques [17]. Les résultats ont montré une augmentation de 1,7 % de la production d'électricité par mois après le nettoyage et une consommation d'eau d'environ 0,27 L/m<sup>2</sup> par nettoyage. Moharram et al. ont mis au point un système de nettoyage par pulvérisation qui peut améliorer considérablement l'utilisation des ressources en eau [18]. En outre, un agent tensioactif est ajouté à l'eau, ce qui améliore considérablement l'efficacité du nettoyage du panneau photovoltaïque. Abd-Elhady et al. ont indiqué que des surfactants mixtes étaient ajoutés à l'eau à raison de 1g/L [19]. Le panneau photovoltaïque est nettoyé pendant 10 minutes chaque jour pendant 45 jours. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pratiquement pas de diminution de l'efficacité pendant 45 jours. Seuls 10 % de l'eau ont été perdus dans le réservoir en raison de l'évaporation et du débordement.

### **II.2.3 Nettoyage mécanique**

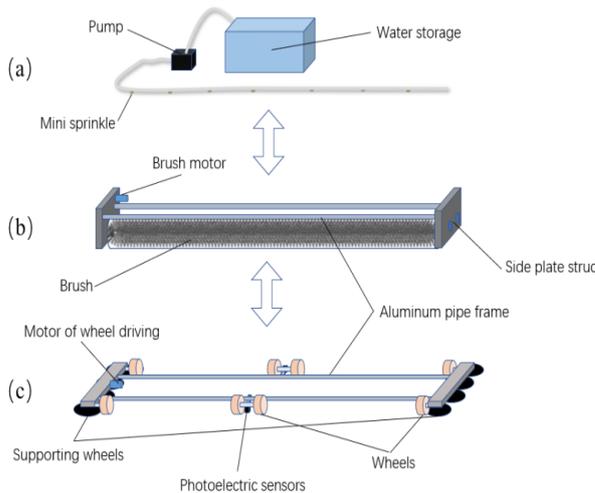
Un dispositif de dépoussiérage mécanique se compose généralement d'un système de nettoyage et d'un système de déplacement. Le système de nettoyage utilise généralement des brosses en nylon, des essuie-glaces, des brosses à rouleaux, des souffleurs, etc. Certaines stratégies sont également équipées d'un dispositif d'alimentation en eau, qui utilise la force mécanique pour enlever la poussière de la surface du panneau photovoltaïque. Le dispositif mobile est le véhicule nécessaire au système de nettoyage pour nettoyer l'ensemble du panneau photovoltaïque. Il est généralement entraîné par un moteur et est équipé d'un convoyeur à chenilles. Un système simple et direct de nettoyage des panneaux solaires par jet d'eau a été conçu par Sugiartha et al [20]. Le système monte des essuie-glaces sur deux rails de guidage, qui peuvent être déplacés sur les rails de guidage par un moteur à courant continu de 60W. La comparaison de la variation de la production des panneaux photovoltaïques avant et après le dépoussiérage a montré que lorsque les racleurs étaient nettoyés 10, 20 et 30 fois, les panneaux photovoltaïques retrouvaient 57 %, 79,1 % et 86,7 % de leur état de propreté. Pour le nettoyage des panneaux photovoltaïques dans les régions où l'eau est rare, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de nettoyage sans eau. Deb et al. ont conçu un dispositif de nettoyage automatique sans eau basé sur les conditions spécifiques de l'industrie photovoltaïque indienne [21]. Ce dispositif utilise une brosse à rouleau pour nettoyer les panneaux photovoltaïques sans eau, ni liquide de nettoyage, etc. Après un mois de tests expérimentaux, l'appareil a augmenté la production d'électricité de la centrale photovoltaïque de 9,05 % avec une consommation d'énergie négligeable, ce qui prouve son potentiel pour le nettoyage des panneaux photovoltaïques dans les zones désertiques et arides.

### **II.2.4 Nettoyage robotisé :**

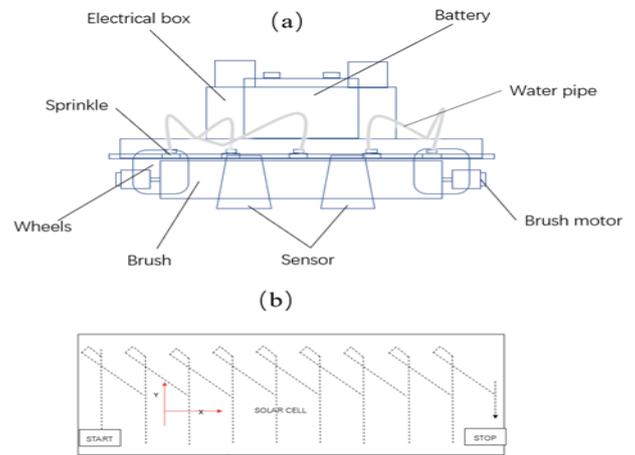
Les robots sont généralement équipés de dispositifs intelligents tels que des capteurs de position, des capteurs de concentration de poussière et des récepteurs de signaux, qui peuvent automatiquement déplacer et nettoyer les panneaux en fonction de leurs conditions réelles. Chailoet et al. ont conçu un robot de nettoyage d'assemblage modulaire capable de nettoyer des panneaux photovoltaïques de différentes longueurs [22]. Le robot se compose de trois parties : un système de nettoyage, un système

d'alimentation en eau et un système d'entraînement des roues (**Figure II.2**). Le système de nettoyage utilise un moteur à courant continu pour entraîner une brosse à rouleaux en nylon en spirale, qui est montée sur un tube d'acier en aluminium et constitue la partie principale du robot. Au-dessus de la brosse se trouve un tuyau d'eau avec une buse miniature installée comme système d'alimentation en eau pour pulvériser de l'eau lors du nettoyage. Le système d'entraînement des roues comprend 8 roues avant, 8 roues latérales et des capteurs optiques. Les capteurs optiques sont utilisés pour détecter la position du robot et empêcher les panneaux photovoltaïques de tomber. La caractéristique la plus importante du dispositif est sa modularité, qui peut être assemblée en robots de nettoyage de différentes longueurs pour compléter le nettoyage des panneaux photovoltaïques, ce qui convient aux installations photovoltaïques denses de grande surface, telles que les fermes solaires, les toits solaires et les installations solaires flottantes.

Ronnaronglit et al. ont conçu un robot de nettoyage pour les panneaux photovoltaïques en Thaïlande [23]. Le robot utilise une brosse à rouleau avec un jet d'eau pour nettoyer les panneaux solaires. Il est en outre équipé de batteries, de roues, de moteurs et de 4 capteurs à ultrasons (**Figure II.3**). L'utilisation de capteurs à ultrasons permet de localiser avec précision la position du robot sur le panneau photovoltaïque, de sorte qu'il peut travailler la nuit et éviter de réduire la production d'électricité en raison du blocage de la lumière du soleil. L'efficacité de nettoyage du robot atteint 80 %.



**Figure II.2 :** Composants du robot de nettoyage de panneaux solaires (a) Système d'aspersion d'eau (b) Système de brossage (c) Système d'entraînement des roues système d'entraînement [24].



**Figure II.3 :** (a) Prototype de robot nettoyeur de panneau de cellules solaires (b) La trajectoire de marche du robot [24].

#### II.2.4 Nettoyage électrostatique :

La technologie des électrofiltres solaires est très prometteuse. La méthode la plus classique consiste à intégrer des électrodes à la surface des panneaux photovoltaïques. Deux ou plusieurs hautes tensions sont alors appliquées, créant un champ électrique « écran » sur la surface du panneau photovoltaïque. Les particules de poussière à la surface du panneau photovoltaïque sont nettoyées sous l'action du champ électrique. Altıntaş et al. ont amélioré la forme des électrodes dans les systèmes de nettoyage électrostatique [25]. Les électrodes utilisées dans le système EDS traditionnel sont des électrodes parallèles, tandis que les électrodes améliorées dans cette étude sont des électrodes en forme d'arc. Il a été constaté que l'efficacité du nettoyage est passée de 65 % à 75 % après l'amélioration.

Le nettoyage électrostatique nécessite généralement l'intégration d'électrodes transparentes à la surface des panneaux photovoltaïques, et l'adaptation des panneaux photovoltaïques existants nécessite un investissement considérable. C'est pourquoi Kawamoto et al. ont mis au point un dispositif amovible de nettoyage électrostatique des panneaux photovoltaïques [26]. Des électrodes d'écran parallèles sont montées sur un cadre en plastique qui fait passer une haute tension alternative entre les électrodes supérieure et inférieure. L'étude a également vérifié

l'efficacité du nettoyage de l'appareil dans la centrale photovoltaïque de Doha, au Qatar. Lorsque les panneaux sont inclinés à un angle supérieur à 20°, 80 % de la poussière est nettoyée.

### II.3 La Voie Lumineuse

En raison de leurs nombreuses irrégularités, les systèmes photovoltaïques sont souvent sensibles à une série de défaillances. Ces irrégularités peuvent être temporaires ou permanentes, ce qui entraîne une dégradation des performances du système. Les études montrent que les défauts de mise à la terre (GF), les courts-circuits (SC), les circuits ouverts (OC) et l'ombrage sont des défauts courants dans un système photovoltaïque. Cependant, ce document considère quatre défauts majeurs et fréquents dans le système PV, qui sont les OC, les SC, l'ombrage partiel et la dégradation. La structure schématique de ces défauts est présentée à la (**Figure II.4**). Ces défauts sont brièvement décrits ci-dessous :

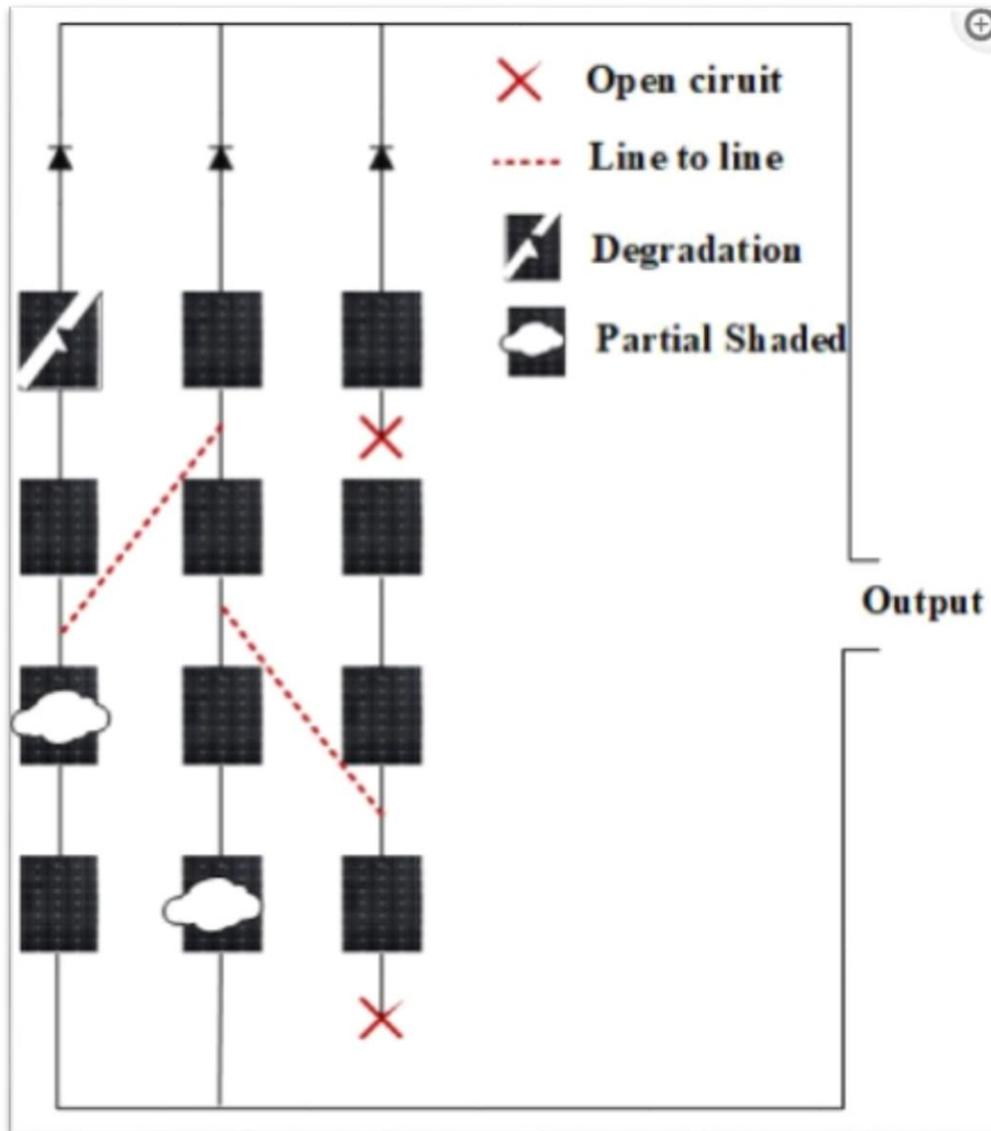
**Les défauts OC :** Un défaut d'OC dans les réseaux PV est un problème de déconnexion à l'intérieur d'une chaîne ou entre deux chaînes proches [27]. Il peut se produire pour diverses raisons, notamment la rupture d'un câble reliant deux branches, la chute d'un objet sur les panneaux ou un faible contact entre deux points [27].

**Les défauts SC :** Les défauts SC sont causés par une connexion accidentelle entre deux points du réseau PV avec des valeurs potentielles variables. Ils peuvent se produire dans la même chaîne ou entre deux chaînes adjacentes [28].

**Ombrage partiel :** L'ombrage partiel est la situation dans laquelle les modules PV sont partiellement ombragés, ne recevant pas la lumière du soleil nécessaire pour produire de l'énergie. Il s'agit d'une situation temporaire qui entraîne une diminution de la puissance de sortie [29]. Il existe deux catégories d'ombrage [30]. La première est l'ombrage statique, tandis que la seconde est l'ombrage dynamique. L'ombrage statique est créé par l'accumulation de poussière, de feuilles et de fientes d'oiseaux sur le verre, tandis que l'ombrage dynamique est causé par une ombre momentanée projetée par les bâtiments ou les arbres environnants.

**Dégradation :** Les systèmes PV sont susceptibles de se dégrader en raison de l'encrassement de la surface frontale, de la dégradation optique due à une exposition continue à la lumière UV, d'une augmentation de la résistance en série ou d'une diminution de la résistance en dérivation,

d'une réduction du courant SC, etc. [31,32]. Cette erreur peut être spécifique à un module ou se produire sur l'ensemble du réseau au fil du temps, ce qui entraîne une baisse des performances du système.



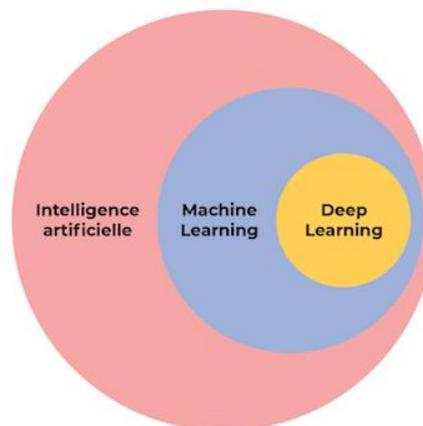
**Figure II.4 :** Structure schématique des différents défauts [33].

## II.4 Deep Learning :

### Définition

Un ensemble de méthodes d'apprentissage automatique tentant de modéliser avec un haut niveau d'abstraction des données grâce à des architectures articulées de différentes transformations non linéaires. Dans ce chapitre nous allons présenter tout d'abord les notions en relation avec l'apprentissage profond.

L'apprentissage profond est un nouveau domaine de recherche du ML, qui a été introduit dans le but de rapprocher le ML de son objectif principal l'intelligence artificielle. Il concerne les algorithmes inspirés par la structure et le fonctionnement du cerveau. Ils peuvent apprendre plusieurs niveaux de représentation dans le but de modéliser des relations complexes entre les données [34]. Le Deep Learning est une sous-discipline du Machine Learning, comme le montre la figure ci-dessus [35].



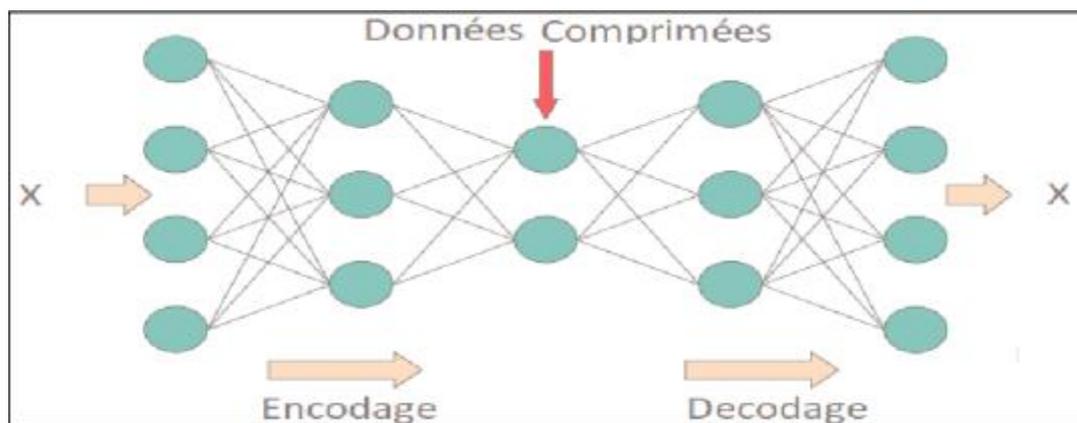
## II.5 Les algorithmes de Deep Learning

Il existe différents algorithmes de Deep Learning. Nous pouvons ainsi citer :

### II.5.1 Les Auto encodeurs

Les auto-encodeurs sont des algorithmes d'apprentissage non supervisé à base de réseaux de neurones artificiels, qui permettent de construire une nouvelle représentation d'un jeu de données. Généralement, celle-ci est plus compacte et présente moins de descripteurs, ce qui

permet de réduire la dimension du jeu de données. L'architecture d'un auto-encodeur est constituée de deux parties l'encodeur et le décodeur (**Figure II.5**). L'encodeur est constitué par un ensemble de couches de neurones, qui traitent les données afin de construire de nouvelles représentations dites "encodées". À leur tour, les couches de neurones du décodeur reçoivent ces représentations et les traitent afin d'essayer de reconstruire les données de départ [34].



**Figure II.5** : L'architecture d'un auto encodeur [36].

La couche la plus importante est la couche encodée, qui permet d'avoir une nouvelle représentation des données. Le nombre de neurones dans les couches cachées doit être inférieur à celui des couches d'entrée pour permettre aux couches cachées d'apprendre plus de modèles de données et d'ignorer les "bruits". Si le nombre de neurones dans les couches cachées est supérieur à celui des couches d'entrée, le réseau neuronal aura trop de capacité pour apprendre des données. Dans un cas extrême, il pourrait simplement copier l'entrée dans les valeurs de sortie, y compris les bruits, sans extraire aucune information essentielle [36].

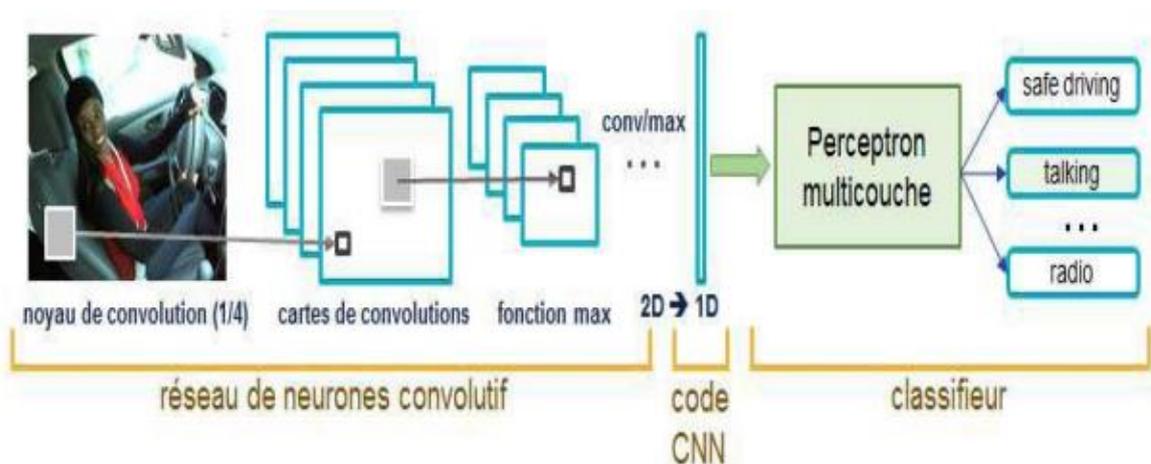
### II.5.2 Réseaux de neurones convolutifs (CNN)

Depuis pas mal d'années, les réseaux de neurones convolutionnels prennent vraiment le dessus par rapport aux réseaux de neurones artificiels. Les CNN ( Convolutional Neural Networks) sont de plus en plus utilisés et populaires, cette technologie évolue énormément. Par exemple, on peut penser aux voitures autonomes ; ces voitures utilisent énormément les réseaux de neurones à convolution parce qu'elles ont beaucoup d'images à reconnaître. Cette technologie,

développée par Yann Lecun, le père des réseaux de neurones à convolution, sert à classifier des images. On met une image en entrée, elle passe dans le réseau qui est déjà entraîné, et on obtient la catégorie de l'image [34].

**Première partie d'un CNN :** est la partie convolutive a proprement parler. Elle fonctionne comme un extracteur de caractéristiques des images. Une image est passée à travers d'une succession de filtres, ou noyaux de convolution, créant de nouvelles images appelées cartes de convolutions. Certains filtres intermédiaires réduisent la résolution de l'image par une opération de maximum local. en fin, les cartes de convolutions sont mises a plat et concatènées en un vecteur de caractéristiques, appelé code CNN.

**Deuxième partie est la partie classification :** Ce code CNN obtenu en sortie de la partie convolutive est ensuite branché en entrée d'une deuxième partie, constituée de couches entièrement connectées appelées perceptron multicouche. Le rôle de cette partie est de combiner les caractéristiques du code CNN pour classer l'image. La sortie est une dernière couche comportant un neurone par catégorie. Les valeurs numériques obtenues sont généralement normalisées entre 0 et 1, de somme 1, pour produire une distribution de probabilité sur les catégories [36].



**Figure II.6:** les réseaux de neurones convolutifs [37].

L'architecture réseau CNN est représenté sur la **Figure II.6** Le traitement commence par des couches de feature extraction et se finit par des couches de classification entièrement connectées.

➤ **Les couches de réseaux de neurones convolutés**

Il y a plusieurs couches différentes pour construire ce type de réseau sont :

- ❖ La couche de convolution (CONV) qui traite les données d'un champ récepteur.
- ❖ La couche de mise en commun (Pooling) qui permet de compresser l'information en réduisant la taille de l'image intermédiaire (souvent par sous-Echantillonnage).
- ❖ La couche de correction (Relu) souvent appelé par abus 'Relu' en référence a la fonction d'activation (Unité de rectification linéaire).
- ❖ La couche entièrement connectée (FC) qui est une couche de type perceptron.
- ❖ La couche de perte (LOSS).

**1. Couche de convolution (CONV)**

Trois hyper paramètres permettent de dimensionner le volume de la couche de convolution (aussi appelé volume de sortie) : la 'profondeur', le 'pas' et la 'marge'.

**1. 'Profondeur' de la couche :** nombre de noyaux de convolution (ou nombre de neurones associés à un même champ récepteur).

**2. 'Le pas' contrôle le chevauchement des champs récepteurs :** Plus le pas est petit, plus les champs récepteurs se chevauchent et plus le volume de sortie

**3. 'La marge (à 0)' ou 'zéro padding ' :** parfois, il est commode de mettre des zéros à la frontière du volume d'entrée. La taille de ce 'zéro marge permet de contrôler la dimension spatiale du volu souhaitable de conserver la même surface que celle du volume d'entrée (11) [37].

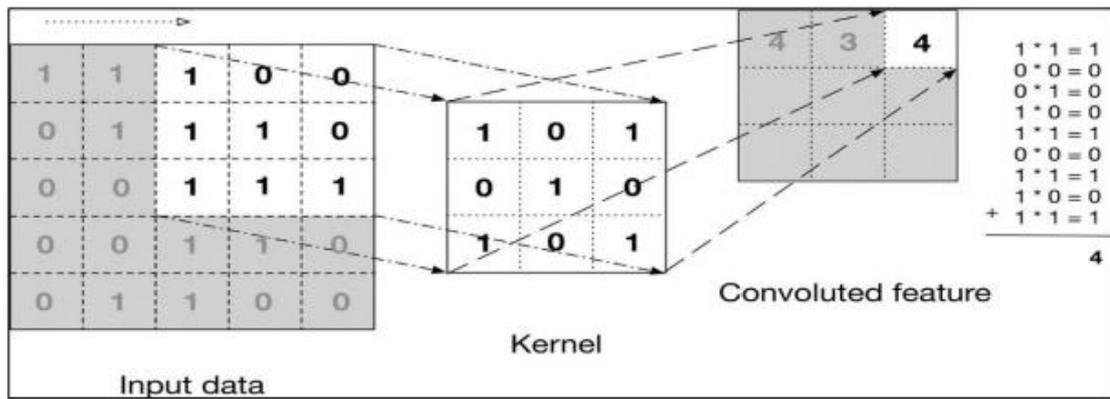


Figure II.7 : l'opération de convolution [36].

La couche CONV contient également l'activation Relu voir Figure II.7 pour que toutes les valeurs négatives soient mises a zéro.

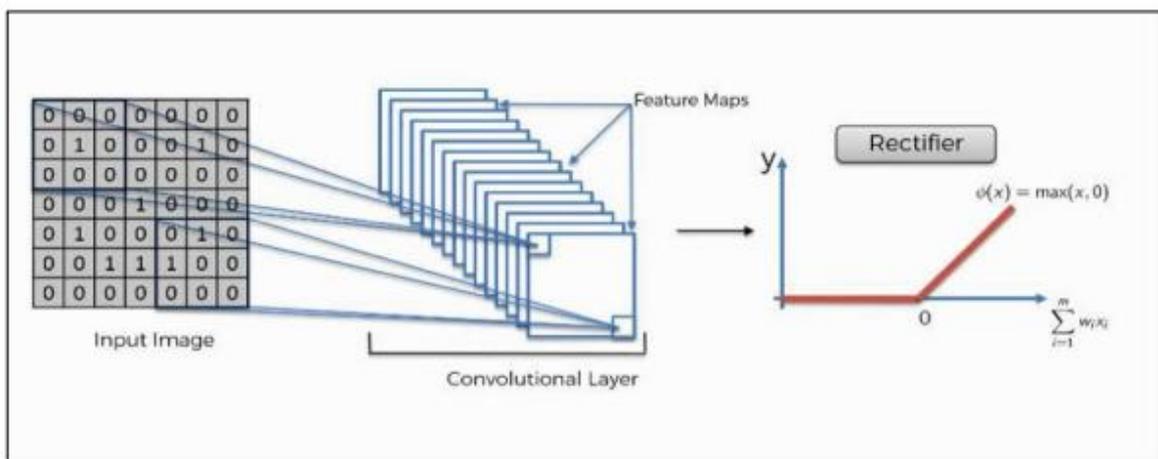
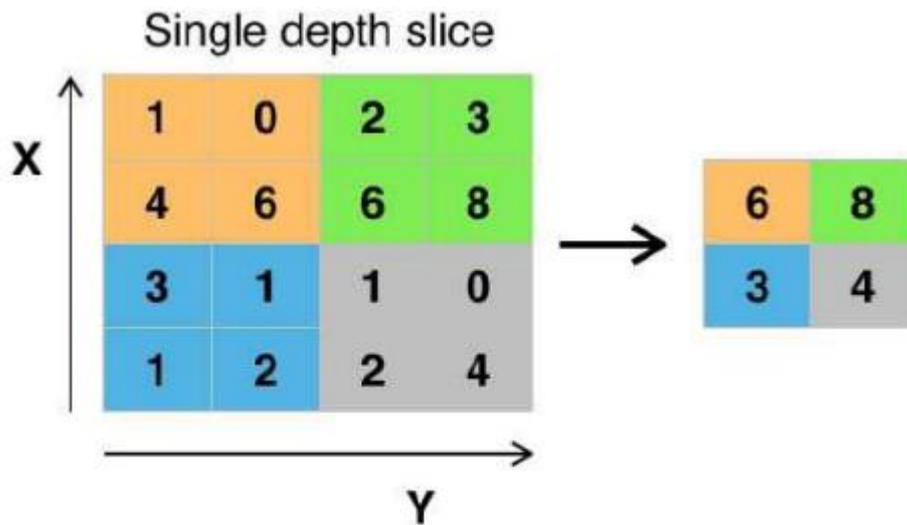


Figure II.8 : principe de la fonction ReLU [36].

## 2. Couche de mise en commun (Pooling)

La couche de Pooling est utilisée pour réduire le volume spatial de l'image d'entrée après la convolution. Elle est utilisée entre deux couches de convolution. Si nous appliquons FC (Fully Connected) après la couche CONV sans appliquer le pooling ou le pooling maximum, le calcul sera coûteux. Ainsi, la mise en commun maximale est le seul moyen de réduire le

volume spatial de l'image d'entrée en codant l'information, la **Figure II.9** montre le max pooling sur une fenêtre  $2 \times 2$  [69] [70] [71] [36].



**Figure II.9** : Exemple de principe du pooling [36].

### 3. Couches de correction (ReLU)

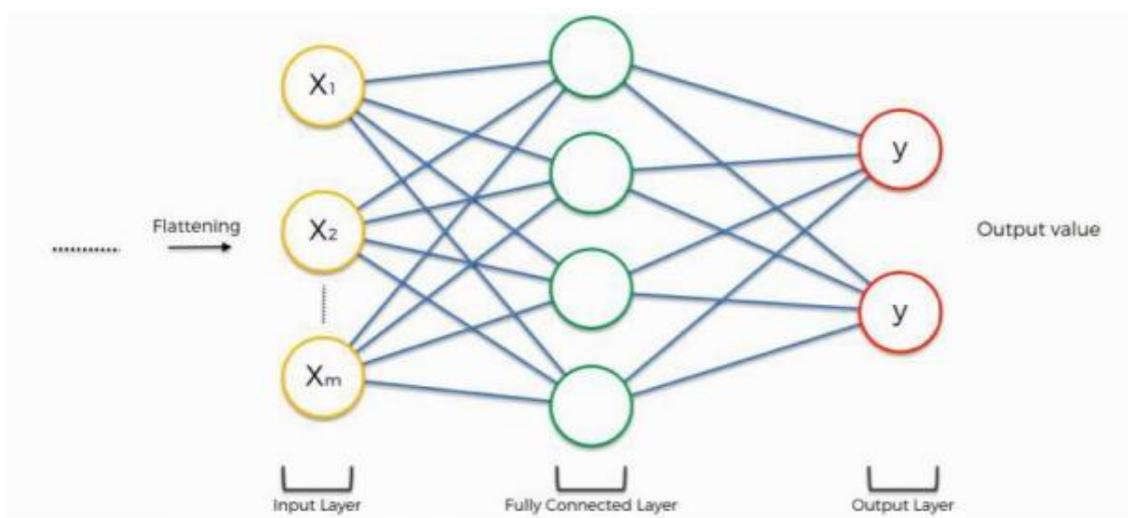
Souvent, il est possible d'améliorer l'efficacité du traitement en intercalant entre les couches de traitement une couche qui va opérer une fonction mathématique (fonction d'activation) sur les signaux de sortie. On a notamment :

- La correction ReLU (abréviation de Unités Rectifié linéaires) : fonction, appelée aussi « fonction d'activation non saturante non linéaires de la fonction de décision et de l'ensemble du réseau sans affecter les récepteurs de la couche de convolution.
- La correction par tangente hyperbolique
- La correction par la tangente hyperbolique
- La correction par la fonction sigmoïde.

Souvent, la correction Relu est préférable, car il en résulte la formation de réseau neuronal plusieurs fois plus rapide, sans faire une différence significative à la généralisation de précision [37].

### 1. Couche entièrement connectée (FC)

Est une couche de type perceptron, où chaque neurone est connecté à tous les neurones de la couche précédente. Elle agit en combinant les caractéristiques apprises précédemment pour effectuer des prédictions ou des classifications sur les données d'entrée [38].

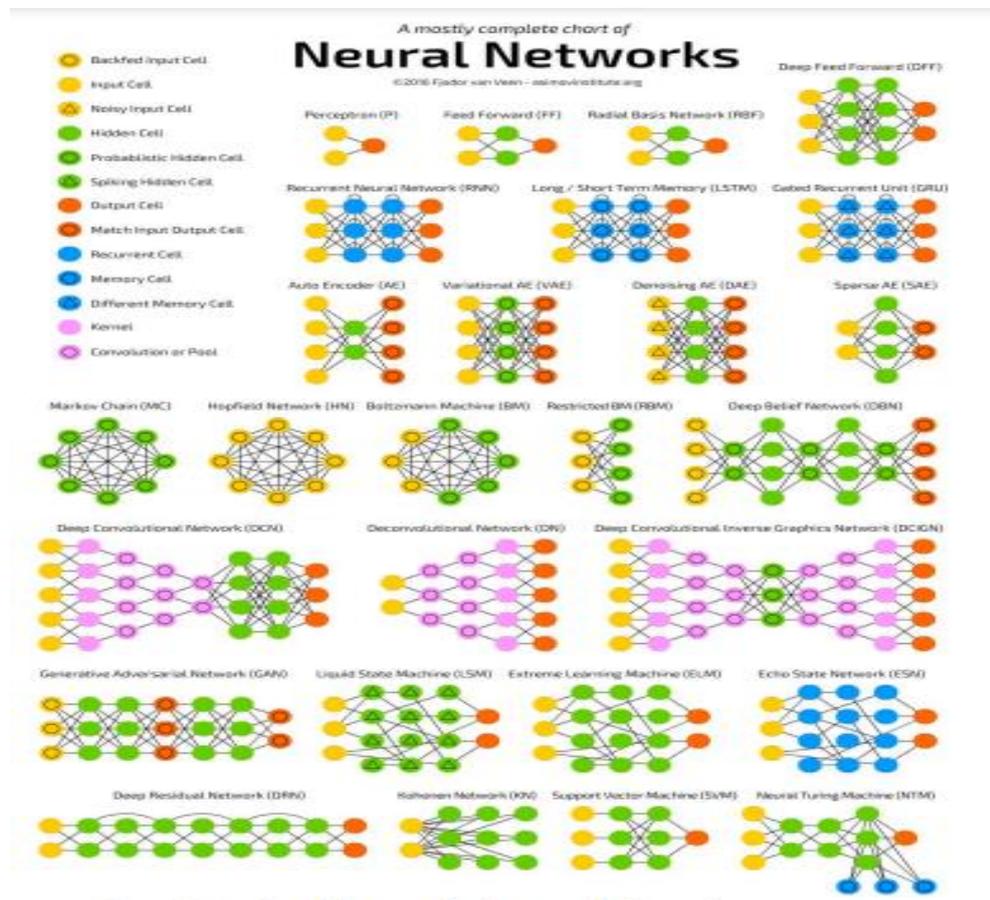


**Figure II.10 :** Principe de la couche entièrement connectée (FC) [36].

### 2. Couche de perte (LOSS)

Est utilisée pour évaluer l'écart entre les prédictions du modèle et les valeurs réelles. Elle mesure l'erreur du modèle et est utilisée pour ajuster les poids et les paramètres du réseau lors de l'apprentissage, afin d'optimiser les performances du modèle. En résumé, les CNN utilisent ces différentes couches pour traiter les données de manière séquentielle et extraire des caractéristiques significatives. Chaque couche joue un rôle spécifique dans la transformation

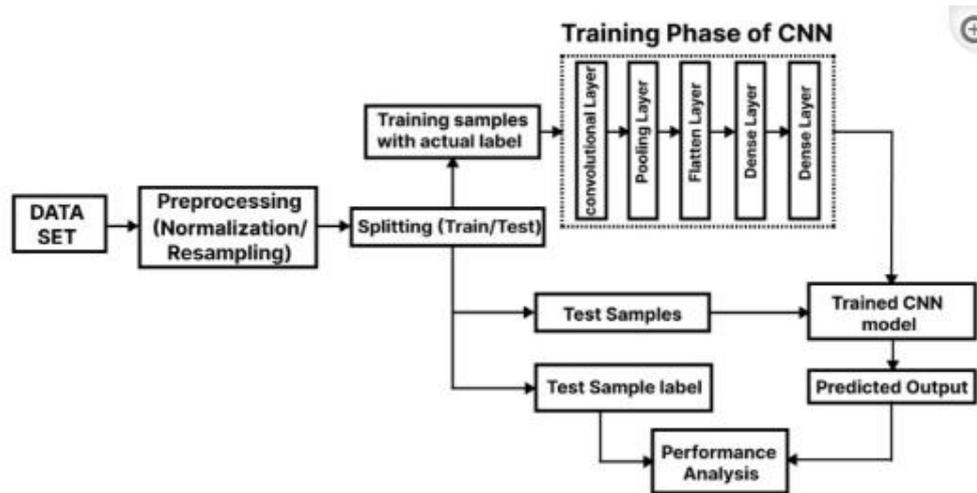
des données et contribue à la capacité du modèle à apprendre et à effectuer des tâches telles que la classification d'images, la détection d'objets, la segmentation, etc [38].



**Figure II.11** : Un résumé des types d'architectures de réseaux de neurones [36].

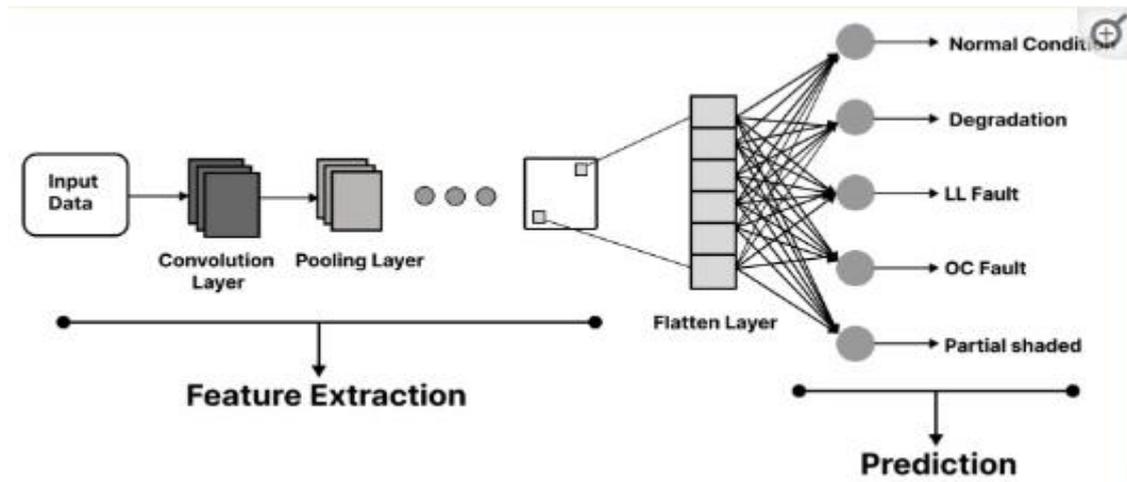
## II.6 Méthodologie Miroitante

Cette section décrit en détail la méthode de détection et de classification des défauts que nous proposons. Les chercheurs ont présenté de nombreuses approches pour la normalisation des données, la formation, la validation et le test des réseaux neuronaux. La **Figure II.12** présente l'organigramme de la méthode proposée. Lors de l'élaboration de notre algorithme, nous avons utilisé les concepts du domaine CNN [39].



**Figure II.12:** Architecture du système proposé pour le diagnostic des défaillances [40].

L'analyse de la littérature nous a permis de constater que le CNN est l'une des architectures ANN les plus populaires. Le CNN est spécifiquement utilisé pour la classification d'images, la détection d'objets et diverses autres tâches de vision par ordinateur et d'apprentissage automatique. En outre, le CNN est également largement utilisé dans divers autres domaines, tels que le traitement du langage naturel (NLP) et les systèmes de recommandation [41,42]. Étant donné que nous avons l'intention d'automatiser le phénomène de détection et de classification des défauts, l'une des principales raisons pour lesquelles nous utilisons le CNN est qu'il extrait automatiquement les caractéristiques utiles des données d'entrée sans aucune intervention manuelle [43]. Comme le montre la **Figure II.12**, l'ensemble de données de test a d'abord été prétraité par des procédures de normalisation et de rééchantillonnage, suivies d'une phase de division. Dans une phase ultérieure, les échantillons de test et les échantillons de test des défauts étiquetés sont transmis au module CNN entraîné, qui produit la prédiction de classification des défauts. Il convient de mentionner ici que l'architecture CNN illustrée à la **Figure II.13** utilisée dans notre méthode de détection des défauts comprend différentes couches, dont trois principales, à savoir la couche convolutive, la couche de mise en commun et la couche entièrement connectée.



**Figure II.13** : L'architecture du CNN [44].

Comme le montre la **Figure II.13**, après la convolution, des couches de mise en commun sont ajoutées, ce qui permet de réduire la dimension spatiale de la représentation afin de minimiser les calculs. Cela permet également de réduire le nombre de paramètres, ce qui, dans les étapes ultérieures, permet de réduire le temps d'apprentissage. Normalement, deux fonctions sont utilisées dans l'opération de mise en commun, à savoir la mise en commun moyenne et la mise en commun maximale. Dans notre modèle, nous avons utilisé le pooling max. Les sorties des couches de mise en commun sont transmises à la couche entièrement connectée (FC), qui est la couche obligatoire de l'ANN. Dans le CNN, la couche convolutive et la couche de mise en commun extraient les caractéristiques des données, tandis que la couche FC effectue la classification.

L'algorithme 1 illustre le modèle CNN conçu pour la classification de l'apparition de défauts dans le panneau photovoltaïque. Comme le montrent les lignes (2)-(3) de l'algorithme 1, l'ensemble de données est tout d'abord prétraité par normalisation et rééchantillonnage, puis il passe par un filtre de convolution de taille  $6 \times 1$ , qui extrait les caractéristiques utiles, et cette extraction de caractéristiques aboutit à la carte de caractéristiques. La caractéristique extraite  $F$  passe ensuite par le filtre MaxPool de taille  $2 \times 1$  illustré à la ligne (4) de l'algorithme 1. En outre, comme le montre la ligne (5) de l'algorithme

1, la sortie de la couche de mise en commun est convertie en un vecteur vertical par la couche d'aplatissement. Les données susmentionnées sont alors traitées par la couche entièrement connectée, comme le montre la ligne (6), où les caractéristiques avancées et les probabilités de toutes les classes sont calculées par les couches denses utilisant 16 nœuds. Enfin, comme le montre la ligne (7), la couche de sortie avec 5 nœuds est appliquée. Les 5 nœuds, qui produisent la classification, sont l'état normal, la dégradation, les défauts LL, les défauts OC et l'ombrage partiel.

**Algorithme 1 : Algorithme CNN pour la détection des défauts PV**

1. **Entrée** :  $[X,y]$  ; étiqueter les données brutes.
2. **Prétraitement** : normalisation et rééchantillonnage.
3. **Couche de convolution** :  $CL=[X]$  données brutes envoyées au CNN pour l'extraction de caractéristiques  
  
F: vecteur de caractéristiques (carte de caractéristiques) extrait de la couche de convolution
4. **Couche de mise en commun** :  $MaxPool=FL;[X]$  mise à l'échelle de la carte de caractéristiques avec MaxPool FD; vecteur de caractéristiques mis à l'échelle ou carte de caractéristiques
5. **Couche de flatten** :  $FL=FD$  ; changer la dimension de FD  
  
FL : aplatir la carte de caractéristiques
6. **Couche entièrement connectée** :  $FC=FL$  ; calculer des caractéristiques plus avancées et donner les valeurs de probabilité de chaque classe  
  
P: probabilités de toutes les classes
7. **Sortie** : classifie les données de test

## II.7 La classification d'image en PV

### II.7.1 Introduction sur le traitement d'image

Le domaine de la vision artificielle et du traitement d'image est cette discipline qui consiste à convertir une image en données objets ou, plus explicitement, à identifier les objets contenus dans l'image par l'extraction et l'analyse de caractéristiques abstraites (*features*) à partir des

pixels, suivant un processus de reconnaissance de forme similaire à celui opéré par l'humain. Ce domaine en terme générique englobe plusieurs aspects de l'imagerie tel que:

- la compression d'images
- Restauration et rehaussement
- Segmentation
- Recalage
- Fusion d'images
- Recherche d'images par contenu Etc....[46].

### **II.7.2 La vision artificielle et le traitement d'image**

La vision artificielle et le traitement d'images sont des domaines de l'informatique visant à permettre aux machines de comprendre et d'interpréter le contenu visuel des images et des vidéos. La vision artificielle comprend des étapes telles que la capture d'images, leur amélioration, leur segmentation en régions d'intérêt, l'extraction des caractéristiques importantes, et la reconnaissance et classification des objets. Le traitement d'images inclut des techniques pour améliorer les images ou en extraire des informations, telles que le filtrage, la transformation de Fourier, et le traitement des formes. Ces technologies sont utilisées dans diverses applications comme la reconnaissance faciale, les véhicules autonomes, l'analyse médicale, et le contrôle de qualité industriel. Elles reposent sur des algorithmes d'apprentissage automatique et des réseaux de neurones convolutifs, et utilisent des bibliothèques logicielles telles que OpenCV, TensorFlow et PyTorch pour atteindre leurs objectifs.

## **II.8 Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté les notions importantes qui sont en relation avec l'apprentissage profond (définition, Architectures....etc). Aussi qu'une vision générale sur l'apprentissage profond, tout en donnant en détail la méthode choisie dans notre travail de recherche qui est le CNN. Dans le prochain chapitre, nous plongerons dans l'étude détaillée de la conception et des outils utilisés pour reconnaître et classer les défauts sur les panneaux solaires à partir de la base "Solar Panel Images Clean and Faulty Images". Nous explorerons les défis spécifiques de ce domaine, de la collecte des données à l'application des algorithmes d'apprentissage profond, mettant en lumière les méthodes innovantes pour détecter efficacement les anomalies sur les PV.

***Chapitre III :***  
**Présentation de**  
**l'application Android**

# *Chapitre III*

## **Présentation de l'application Android**

---

### **III.1. Introduction**

Dans ce chapitre nous allons mettre en œuvre une application pour détection et diagnostic des défauts dans les systèmes photovoltaïques basé sur l'intelligence artificielle à l'aide de l'algorithme de CNN (Réseaux de neurones convolutifs), puis nous expliquons comment appliquer l'algorithme CNN dans notre travail et nous présentons l'environnement, l'ensemble de données sur lesquels nous avons travaillé, par la suite nous passons aux étapes de mise en oeuvre, à la fin nous discutons les résultats obtenus dans cette expérimentation.

### **III.2. Problématique étudiée**

Dans cette section, nous aborderons la problématique de la classification des images utilisant l'intelligence artificielle pour différencier les panneaux solaires propres et sales. La maintenance des panneaux solaires nécessite la connaissance de leur état actuel, car la saleté, la poussière et les dommages physiques affectent leur efficacité. Les méthodes traditionnelles de surveillance de l'état des panneaux sont coûteuses et chronophages. Ainsi, l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle pour la classification des images offre une solution efficace et précise pour déterminer l'état des panneaux solaires rapidement et avec une grande précision.

### **III.3. Présentation des outils**

**3.1 Matériel :** Les informations générales sur le matériel utilisé dans notre implémentation sont les suivantes :

- PC portable : HP
- Système d'exploitation : Windows 11 Pro
- Processeur : Intel i3 5ème génération, CPU @ 2.40GHz
- RAM : 12 Go
- Architecture : Système d'exploitation 64 bits, processeur x64

Les expériences ont été réalisées sur une machine virtuelle dans l'environnement Google Colab et Visual Studio Code (VSCode), ce qui nous a permis d'exploiter des ressources de calcul supplémentaires et de bénéficier d'un environnement de développement intégré performant.

**Colaboratory** : souvent raccourci en Colab, est un produit de Google Research. Colab permet à n'importe qui d'écrire et d'exécuter le code Python de son choix par le biais du navigateur. C'est un environnement particulièrement adapté au Machine Learning, à l'analyse de données et à l'éducation. En termes plus techniques, Colab est un service hébergé qui ne nécessite aucune configuration et permet d'accéder gratuitement à des ressources informatiques, dont les GPU.

**3.2 Logiciels** : Les outils logiciels utilisés pour notre implémentation incluent :

**Python** : Langage de programmation principal pour le développement de notre modèle.



**Figure III.1:** Logo python

**TensorFlow** : Bibliothèque open-source utilisée pour l'apprentissage automatique et le deep learning.

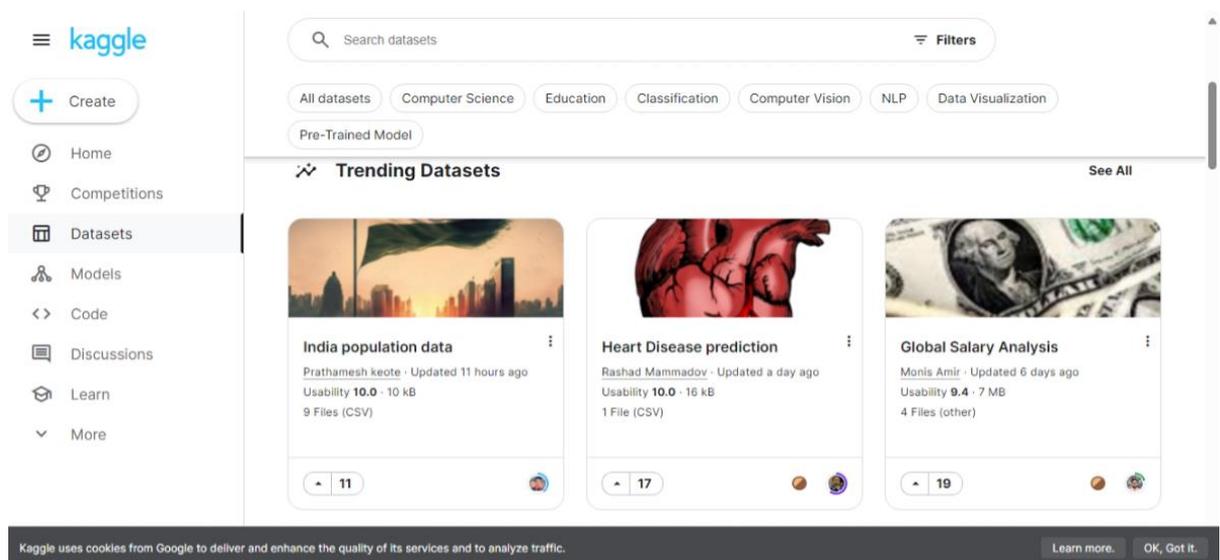


**Figure III.2:** Logo tensorflow

**ResNet50** : Architecture de réseau de neurones convolutifs utilisée comme base pour notre modèle de classification.

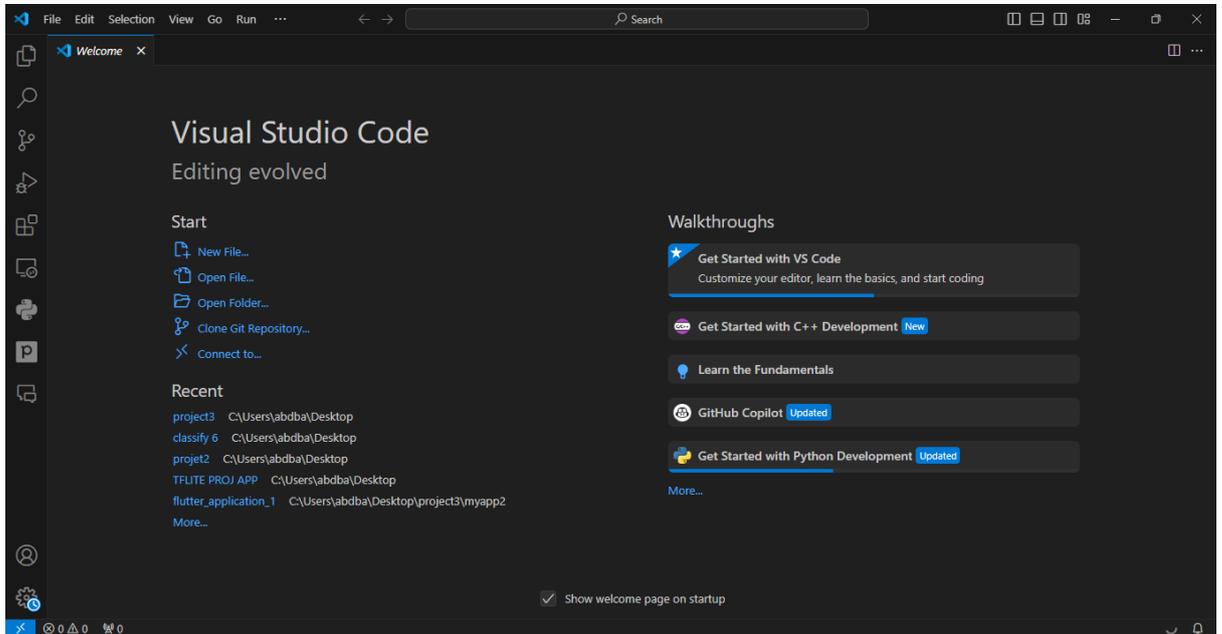
**Keras** : API de haut niveau permettant une manipulation simplifiée des bibliothèques de deep learning.

**Kaggle** : Source des données et plateforme pour l'exécution et la compétition en apprentissage automatique.



**Figure III.3:** Interface kaggle

**VSCode** : Environnement de développement intégré utilisé pour écrire, déboguer et exécuter notre code.



**Figure III.4:** Interface vscode

### III.4.Base de données

Pour constituer notre base de données, nous avons utilisé des images provenant du site Kaggle. Ces images sont réparties en six classe distincts, chacun ayant un nom et une classification spécifique :

- **0 Clean** : Contient des images de panneaux solaires propres.



- **1 Dust** : Contient des images de panneaux solaires couverts de poussière.



- **2 Bird drop** : Contient des images de panneaux solaires avec des déjections d'oiseaux.



- **3 Electrical damage** : Contient des images de panneaux solaires avec des dommages électriques.



- **4 Physical damage** : Contient des images de panneaux solaires avec des dommages physiques.



- **5 Snow covered** : Contient des images de panneaux solaires couverts de neige. Chaque classe comprend plus de 100 images, offrant ainsi une base solide pour entraîner et tester notre modèle de classification.



L'ensemble de donnée est disponible sur le lien suivant :

<https://www.kaggle.com/datasets/pythonafroz/solar-panel-images>

## **III.5 Implémentation**

### **5.1 L'architecture de notre réseau**

Les réseaux de neurones convolutifs (CNN) sont un type de réseaux de neurones spécialement conçus pour traiter des données structurées comme les images. Les CNN sont composés de plusieurs couches, y compris des couches convolutives (Convolutional Layers), des couches de pooling (Pooling Layers), et des couches entièrement connectées (Fully Connected Layers).

#### **5.1 Utilisation de ResNet50**

Dans ce projet, nous utilisons ResNet50, qui est un réseau de neurones convolutifs profond contenant 50 couches. ResNet50 est réputé pour ses hautes performances dans les tâches de classification, et il est pré-entraîné sur le jeu de données ImageNet. Nous utilisons les couches de base de ResNet50 et ajoutons des couches personnalisées pour notre tâche.

**5.1.2. Entrées:** Les entrées sont des images de taille 224×224 avec trois canaux de couleur (RGB).

**5.1.3 Convolutions et couches convolutives:** Des filtres multiples sont appliqués à l'image pour extraire des caractéristiques de base telles que les contours et les textures.

**5.1.4 Pooling:** Réduit la taille de l'image tout en conservant les caractéristiques importantes.

**5.1.5 Couches entièrement connectées:** Utilisées pour prendre des décisions basées sur les caractéristiques extraites.

**5.1.6. Gel des couches de base:** Nous gelons les couches de base du modèle pour tirer parti des poids pré-entraînés. Ensuite, nous ajoutons des couches personnalisées pour la classification en fonction du nombre de catégories de panneaux solaires défectueux.

**5.1.7 Compilation du modèle:** Nous compilons le modèle en utilisant l'algorithme Adam, qui est un algorithme d'optimisation utilisé pour mettre à jour les poids de manière efficace. Nous utilisons la perte de classification catégorielle sparse (Sparse Categorical Crossentropy) comme mesure de la perte, et la métrique utilisée pour l'évaluation est la précision (Accuracy).

**5.1.8 Entraînement du modèle:** Arrêt anticipé (Early Stopping) Nous entraînons le modèle pendant 15 époques (epochs). Nous utilisons le callback EarlyStopping pour arrêter l'entraînement si la perte de validation ne s'améliore pas pendant trois époques consécutives. Cela aide à prévenir le surapprentissage (overfitting) et à améliorer les performances du modèle.

**5.1.9 Traçage de l'historique de l'entraînement:** Nous traçons la perte et la précision des ensembles d'entraînement et de validation pour visualiser les performances du modèle. Ce graphique aide à analyser comment le modèle s'améliore pendant l'entraînement et à déterminer s'il y a un surapprentissage ou un sous-apprentissage (underfitting).

**5.1.10 Évaluation du modèle:** Nous évaluons les performances du modèle sur le jeu de données de test et imprimons la précision. Cela montre à quel point le modèle peut se généraliser à de nouvelles données qu'il n'a pas vues pendant l'entraînement.

**5.1.11 Visualisation des prédictions:** Nous visualisons les prédictions du modèle sur le jeu de données de test, en affichant les étiquettes réelles et prédites. Les prédictions correctes sont affichées en vert, et les incorrectes en rouge. Cela aide à comprendre les performances du modèle visuellement et à identifier les erreurs potentielles.

## **III.6 Application de Détection de Défauts Photovoltaïques (PFD)**

Dans le domaine florissant de l'énergie renouvelable, l'application de Détection de Défauts Photovoltaïques (PFD) se distingue comme un outil innovant conçu pour améliorer l'efficacité et la fiabilité des systèmes d'énergie solaire. Développée avec le framework Flutter au sein de Visual Studio Code (VSCode), cette application exploite des techniques avancées de classification d'images pour identifier les défauts dans les panneaux photovoltaïques (PV), assurant ainsi des performances optimales et une maintenance efficace.

### **6.1 Fonctionnalités Clés**

#### **6.1.1 Options de Capture et de Téléchargement d'Images**

L'application PFD propose deux méthodes principales pour que les utilisateurs fournissent des images de panneaux solaires :

**Appareil Photo:** Cette fonctionnalité permet aux utilisateurs de capturer directement des images des panneaux solaires à l'aide de l'appareil photo de leur appareil. Elle est particulièrement utile pour les inspections sur site et la détection en temps réel des défauts.

**Galerie:** Cette option permet aux utilisateurs de télécharger des images existantes depuis la galerie de leur appareil. Elle est idéale pour analyser des images déjà capturées ou effectuer des évaluations en lot de plusieurs panneaux.

#### **6.1.2 Classification d'Images pour la Détection de Défauts**

Une fois qu'une image est capturée ou téléchargée, l'application PFD utilise des algorithmes sophistiqués d'apprentissage machine pour classifier l'état des panneaux solaires. Les résultats de classification fournissent des informations sur les défauts potentiels tels que :

- Accumulation de saleté
- Dommages physiques (par exemple, fissures ou éraflures)
- Problèmes électriques (par exemple, points chauds)
- Les capacités d'IA de l'application sont conçues pour assurer une haute précision dans la détection des défauts, contribuant ainsi à la maintenance préventive et à la réduction des temps d'arrêt.

### 6.2 Développement Technique et Implémentation

Le développement de l'application PFD a été réalisé avec Flutter, une trousse à outils de développement d'interfaces utilisateur open-source créée par Google. Les capacités multiplateformes de Flutter permettent une expérience utilisateur fluide sur différents appareils, y compris les smartphones et les tablettes.

Visual Studio Code (VSCode), un éditeur de code puissant et polyvalent, a été utilisé comme environnement de développement. Les nombreuses extensions et outils de débogage intégrés de VSCode ont facilité le développement efficace et les tests de l'application.

### 6.3 Interface Utilisateur et Expérience

L'interface utilisateur (UI) de l'application PFD est conçue avec simplicité et convivialité à l'esprit. Les éléments clés incluent :

**Navigation intuitive :** L'écran principal présente des boutons clairs et accessibles pour capturer ou télécharger des images, assurant ainsi que les utilisateurs peuvent effectuer facilement les actions souhaitées sans complexité inutile.

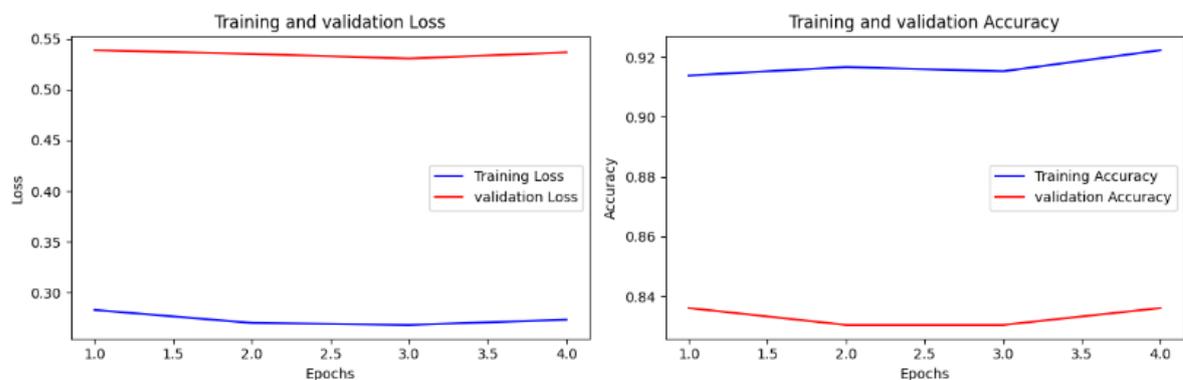
**Feedback en temps réel :** Après le traitement d'une image, l'application fournit un retour immédiat sur l'état des panneaux solaires. Cette fonctionnalité est cruciale pour des actions de maintenance rapides.

**Design visuel :** L'application intègre des éléments de design visuellement attrayants, tels qu'une image de fond de haute qualité des panneaux solaires et des icônes propres et modernes pour les boutons.

### III.7 Résultats obtenus et discussion

En utilisant un nombre d'époques (Nombre d'époques) égal à 15, nous avons obtenu un taux de accuracy de 83%. Cette performance indique que notre modèle est capable de différencier les panneaux solaires propres des panneaux sales avec un haut degré de fiabilité. L'analyse des résultats montre que les erreurs de classification se produisent principalement dans des images où les signes de saleté ou de propreté sont moins prononcés.

L'optimisation des hyperparamètres et l'augmentation du volume de données pourraient améliorer encore davantage la précision du modèle.



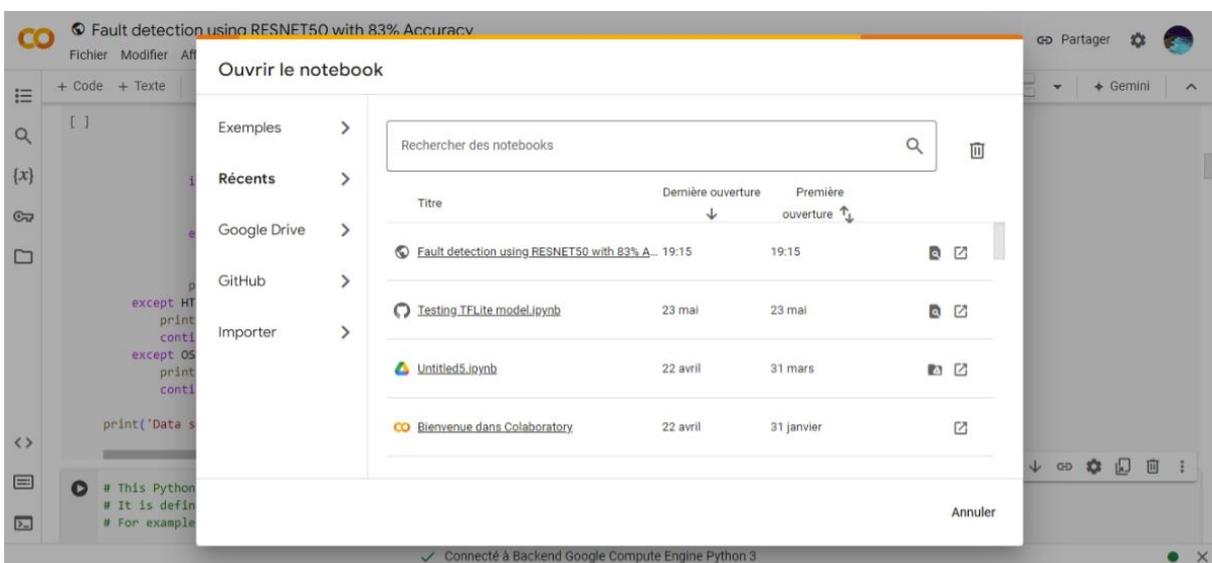
**Figure III.5** : Précision et l'erreur de modèle CNN (15 Epoques).

### **III.8 Conclusion**

En conclusion, nous avons étudié la problématique de la classification des panneaux solaires propres et sales en utilisant l'intelligence artificielle, en utilisant un ensemble de données diversifié contenant six groupes d'images au lieu de deux. Ce choix améliore la précision du modèle, car l'utilisation de seulement deux groupes augmente la probabilité de prédiction de 50%, tandis que la division des données en six groupes augmente la précision de la prédiction et réduit la probabilité d'erreur, ce qui conduit à une amélioration générale des performances du modèle et à des résultats plus fiables.

# Annexes

## L'annexe 1 : Google Colab



Pour visiter Google Colab en effectuant une recherche sur notre navigateur Web de préférence Chrome, il affichera automatiquement nos cahiers précédents et donnera une option pour créer un nouveau cahier. Ici, nous pouvons cliquer sur un nouveau bloc-notes et commencer à exécuter notre code.

Google colab est un formidable Jupiter Notebook basé sur un navigateur en ligne qui nous permet d'entraîner gratuitement des modèles Machine et Deep Learning sur des CPU, GPU, TPU et on préfère toujours GPU à n'importe quel autre CPU en raison de la puissance de calcul et de la vitesse d'exécution.

Fault detection using RESNET50 with 83% Accuracy

Fichier Modifier Affichage Insérer Exécution Outils Aide Impossible d'enregistrer les modifications

Partager

+ Code + Texte Copier sur Drive

```

# IMPORTANT: RUN THIS CELL IN ORDER TO IMPORT YOUR KAGGLE DATA SOURCES
# TO THE CORRECT LOCATION (/kaggle/input) IN YOUR NOTEBOOK,
# THEN FEEL FREE TO DELETE THIS CELL.
# NOTE: THIS NOTEBOOK ENVIRONMENT DIFFERS FROM KAGGLE'S PYTHON
# ENVIRONMENT SO THERE MAY BE MISSING LIBRARIES USED BY YOUR
# NOTEBOOK.

import os
import sys
from tempfile import NamedTemporaryFile
from urllib.request import urlopen
from urllib.parse import unquote, urlparse
from urllib.error import HTTPError
from zipfile import ZipFile
import tarfile
import shutil

CHUNK_SIZE = 40960
DATA_SOURCE_MAPPING = 'solar-panel-images:https%3A%2F%2Fstorage.googleapis.com%2Fkaggle-data-sets%2F3365061%2F5889548%2Fbundle%2Farchive.zip%3FX-Goog-Algo

KAGGLE_INPUT_PATH='/kaggle/input'
KAGGLE_WORKING_PATH='/kaggle/working'
KAGGLE_ENV_NAME='kaggle1'

```

Connecté à Backend Google Compute Engine Python 3

## L'annexe 2 : Programme de classification image (CNN architecture)

```

import numpy as np # linear algebra
import pandas as pd # data processing, CSV file I/O (e.g. pd.read_csv)

# Input data files are available in the read-only "../input/" directory
# For example, running this (by clicking run or pressing Shift+Enter) will list all files under the
# input directory

import os
for dirname, _, filenames in os.walk('/kaggle/input'):
    for filename in filenames:
        print(os.path.join(dirname, filename))

# You can write up to 20GB to the current directory (/kaggle/working/) that gets preserved as output
# when you create a version using "Save & Run All"
# You can also write temporary files to /kaggle/temp/, but they won't be saved outside of the current
# session

```

importing the required libraries for data processing and model building

```

import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.datasets import cifar10
from tensorflow.keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator
from tensorflow.keras import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Dense, Dropout, Activation, Flatten, Conv2D, MaxPooling2D
import numpy as np
import os
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline

```

```

/opt/conda/lib/python3.10/site-packages/scipy/__init__.py:146: UserWarning: A NumPy version >
=1.16.5 and <1.23.0 is required for this version of SciPy (detected version 1.23.5
warnings.warn(f"A NumPy version >={np_minversion} and <{np_maxversion}")

```

En plus de cela, il déduit également l'étiquette à partir des noms des dossiers.

```
image_directory = r"C:\Users\abdba\Desktop\Faulty_solar_panel"

# Create a training dataset from the directory
train_dataset = tf.keras.utils.image_dataset_from_directory(
    image_directory,
    image_size=(224, 224),
    batch_size=32,
    validation_split=0.2, # Split the data into a training and validation set
    subset='training',
    shuffle=True,
    seed=42# Using 'training' to create a training dataset
)

# Create a testing (validation) dataset from the same directory
test_dataset = tf.keras.utils.image_dataset_from_directory(
    image_directory,
    image_size=(224, 224),
    batch_size=32,
    validation_split=0.2, # Split the data into a training and validation set
    subset='validation',
    shuffle=True,
    seed=42# Using 'validation' to create a testing (validation) dataset
)
```

Python

```
Found 885 files belonging to 6 classes.
Using 708 files for training.
Found 885 files belonging to 6 classes.
Using 177 files for validation.
```

```
lables=train_dataset.class_names
lables
```

```
['Bird-drop',
 'Clean',
 'Dusty',
 'Electrical-damage',
 'Physical-Damage',
 'Snow-Covered']
```

Tracer les images avec les étiquettes pour voir à quoi cela ressemble .

```
import matplotlib.pyplot as plt

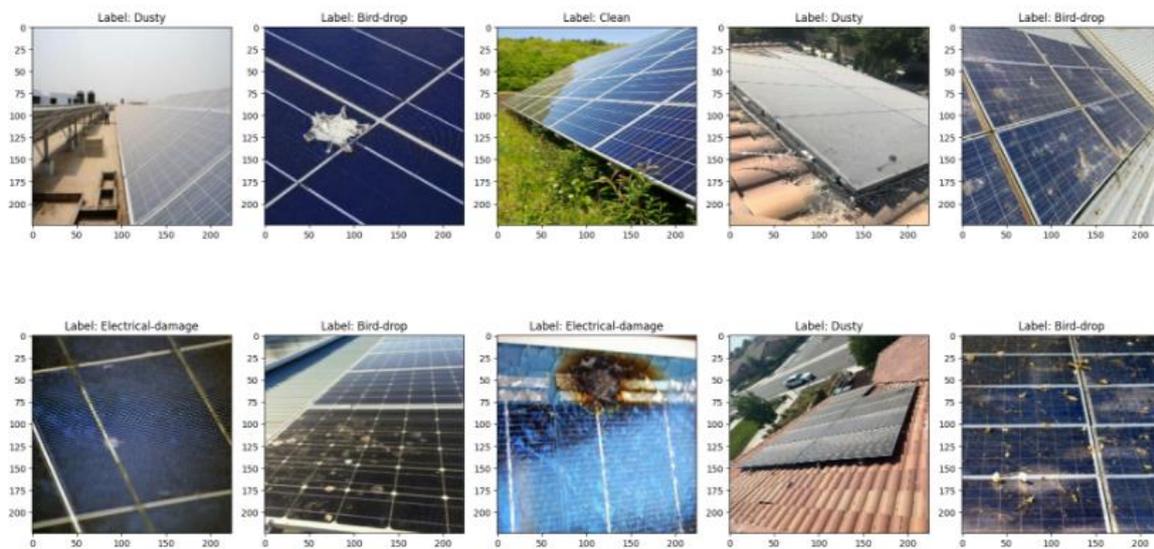
plt.figure(figsize=(18,15))

num_samples_to_display = 15
for images, labels in train_dataset.take(2): # Only taking one batch from the training dataset
    for i in range(num_samples_to_display):
        image = images[i].numpy().astype("uint8")
        label = labels[i]

        # Create a subplot
        plt.subplot(3, 5, i + 1)
        plt.imshow(image)
        plt.title(f'Label: {labels[label]}') ## labels which is defined earlier has been used to call images labels

plt.tight_layout()
plt.show()
```

Python



```
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.applications import ResNet50
from tensorflow.keras.layers import Input, Flatten, Dense
from tensorflow.keras.models import Model
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
from tensorflow.keras.utils import to_categorical
from tensorflow.keras.layers import Input, GlobalAveragePooling2D, Dense, Dropout
```

## using Resnet 50 pre-trained model

```
input_tensor = Input(shape=(224, 224, 3))
ip = tf.keras.applications.resnet50.preprocess_input(input_tensor)
base_model = ResNet50(input_tensor=ip, include_top=False, weights='imagenet')
for layer in base_model.layers:
    layer.trainable=False
```

```
Downloading data from https://storage.googleapis.com/tensorflow/keras-applications/resnet/resnet50_weights_tf_dim_ordering_tf_kernels_notop.h5
94765736/94765736 [=====] - 3s 0us/step
```

```
base_model_output=base_model.output
```

Ajout de couches de pooling et de dropout, et utilisation de Softmax, en définissant le nombre de classes comme 6, où nous devons prédire 6 étiquettes. Le nombre de couches et les fonctions d'activation ont été déterminés après avoir essayé différentes approches. L'architecture suivante donne les meilleurs résultats.

```
x = base_model.output
x = tf.keras.layers.GlobalAveragePooling2D()(x)
x = tf.keras.layers.Dropout(0.2)(x)
outputs = Dense(6, activation='softmax')(x)
model = tf.keras.Model(inputs=ip, outputs=outputs)

model.summary()
```

Model: "model"

Layer (type)	Output Shape	Param #	Connected to
input_2 (InputLayer)	[(None, 224, 224, 3)]	0	[]
conv1_pad (ZeroPadding2D)	(None, 230, 230, 3)	0	['input_2[0][0]']
conv1_conv (Conv2D)	(None, 112, 112, 64)	9472	['conv1_pad[1][0]']
conv1_bn (BatchNormalization)	(None, 112, 112, 64)	256	['conv1_conv[1][0]']
conv1_relu (Activation)	(None, 112, 112, 64)	0	['conv1_bn[1][0]']
pool1_pad (ZeroPadding2D)	(None, 114, 114, 64)	0	['conv1_relu[1][0]']
pool1_pool (MaxPooling2D)	(None, 56, 56, 64)	0	['pool1_pad[1][0]']
conv2_block1_1_conv (Conv2D)	(None, 56, 56, 64)	4160	['pool1_pool[1][0]']
conv2_block1_1_bn (BatchNormalization)	(None, 56, 56, 64)	256	['conv2_block1_1_conv[1][0]']
...			
Total params: 23600006 (90.03 MB)			
Trainable params: 12294 (48.02 KB)			

model

<keras.engine.functional.Functional at 0x7c65e4a840a0>

```
tf.random.set_seed(42)
model.compile(optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(0.001), loss=tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy(from_logits=True), metrics=['accuracy'])

# Training the model
epoch = 15
model.fit(train_dataset, validation_data=test_dataset, epochs=epoch,
        callbacks = [
            tf.keras.callbacks.EarlyStopping(
                monitor="val_loss",
                min_delta=1e-2,
                patience=3,
                verbose=1,
                restore_best_weights=True
            )
        ]
    )
```

Python

```
23/23 [=====] - 173s 6s/step - loss: 1.8133 - accuracy: 0.3404 - val_loss: 1.2376 - val_accuracy: 0.4915
Epoch 2/15
23/23 [=====] - 128s 5s/step - loss: 1.0050 - accuracy: 0.6285 - val_loss: 0.9128 - val_accuracy: 0.6497
Epoch 3/15
23/23 [=====] - 132s 6s/step - loss: 0.8213 - accuracy: 0.7246 - val_loss: 0.8216 - val_accuracy: 0.6836
Epoch 4/15
23/23 [=====] - 136s 6s/step - loss: 0.6675 - accuracy: 0.7740 - val_loss: 0.7673 - val_accuracy: 0.6949
Epoch 5/15
23/23 [=====] - 127s 5s/step - loss: 0.5368 - accuracy: 0.8178 - val_loss: 0.7000 - val_accuracy: 0.7458
Epoch 6/15
23/23 [=====] - 134s 6s/step - loss: 0.4796 - accuracy: 0.8545 - val_loss: 0.6883 - val_accuracy: 0.7571
Epoch 7/15
23/23 [=====] - 160s 7s/step - loss: 0.4587 - accuracy: 0.8362 - val_loss: 0.6739 - val_accuracy: 0.7458
Epoch 8/15
23/23 [=====] - 142s 6s/step - loss: 0.4406 - accuracy: 0.8531 - val_loss: 0.6278 - val_accuracy: 0.7797
Epoch 9/15
23/23 [=====] - 122s 5s/step - loss: 0.3681 - accuracy: 0.8672 - val_loss: 0.6426 - val_accuracy: 0.7740
Epoch 10/15
23/23 [=====] - 124s 5s/step - loss: 0.3634 - accuracy: 0.8771 - val_loss: 0.6168 - val_accuracy: 0.8136
Epoch 11/15
23/23 [=====] - 121s 5s/step - loss: 0.3178 - accuracy: 0.9040 - val_loss: 0.6100 - val_accuracy: 0.7966
...
Epoch 15/15
23/23 [=====] - ETA: 0s - loss: 0.2537 - accuracy: 0.9251Restoring model weights from the end of the best epoch: 12.
23/23 [=====] - 134s 6s/step - loss: 0.2537 - accuracy: 0.9251 - val_loss: 0.5914 - val_accuracy: 0.7966
Epoch 15: early stopping
```

Diminuer le taux d'apprentissage pour vérifier comment la précision change

```
tf.random.set_seed(42)
model.compile(optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(0.0001), loss=tf.keras.losses.SparseCategorical
Crossentropy(from_logits=True), metrics=['accuracy'])

epoch = 15
history = model.fit(train_dataset, validation_data=test_dataset, epochs=epoch,
                    callbacks = [
                        tf.keras.callbacks.EarlyStopping(
                            monitor="val_loss",
                            min_delta=1e-2,
                            patience=3,
                            verbose=1,
                            restore_best_weights=True
                        )
                    ]
                )
```

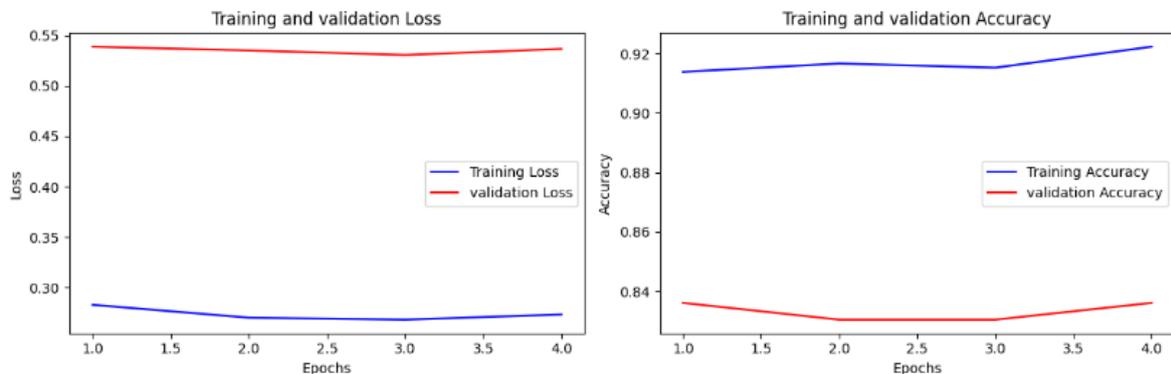
```
Epoch 1/15
23/23 [=====] - 13s 311ms/step - loss: 0.2831 - accuracy: 0.9138 - v
al_loss: 0.5387 - val_accuracy: 0.8362
Epoch 2/15
23/23 [=====] - 8s 259ms/step - loss: 0.2703 - accuracy: 0.9167 - va
l_loss: 0.5350 - val_accuracy: 0.8305
Epoch 3/15
23/23 [=====] - 8s 261ms/step - loss: 0.2683 - accuracy: 0.9153 - va
l_loss: 0.5305 - val_accuracy: 0.8305
Epoch 4/15
22/23 [=====>..] - ETA: 0s - loss: 0.2739 - accuracy: 0.9219Restoring m
odel weights from the end of the best epoch: 1.
23/23 [=====] - 8s 274ms/step - loss: 0.2735 - accuracy: 0.9223 - va
l_loss: 0.5366 - val_accuracy: 0.8362
Epoch 4: early stopping
```

Donc, ayant observé une meilleure précision par rapport à un taux d'apprentissage plus élevé, nous choisissons ces paramètres finaux et procédons avec le jeu de données de test pour les prédictions.

```
test_dataset.class_names
```

```
['Bird-drop',  
'Clean',  
'Dusty',  
'Electrical-damage',  
'Physical-Damage',  
'Snow-Covered']
```

```
training_loss = history.history['loss']  
validation_loss = history.history['val_loss']  
training_accuracy = history.history['accuracy']  
validation_accuracy = history.history['val_accuracy']  
  
# Create x-axis values (epochs)  
epochs = range(1, len(training_loss) + 1)  
  
# Plotting training and validation loss  
plt.figure(figsize=(12, 4))  
plt.subplot(1, 2, 1)  
plt.plot(epochs, training_loss, 'b', label='Training Loss')  
plt.plot(epochs, validation_loss, 'r', label='validation Loss')  
plt.title('Training and validation Loss')  
plt.xlabel('Epochs')  
plt.ylabel('Loss')  
plt.legend()  
  
# Plotting training and validation accuracy  
plt.subplot(1, 2, 2)  
plt.plot(epochs, training_accuracy, 'b', label='Training Accuracy')  
plt.plot(epochs, validation_accuracy, 'r', label='validation Accuracy')  
plt.title('Training and validation Accuracy')  
plt.xlabel('Epochs')  
plt.ylabel('Accuracy')  
plt.legend()  
  
plt.tight_layout()  
plt.show()
```



```
# Evaluating the model on test dataset  
test_loss, test_accuracy = model.evaluate(test_dataset)  
print(f'Test accuracy: {test_accuracy * 100:.2f}%')
```

```
6/6 [=====] - 2s 55ms/step - loss: 0.5387 - accuracy: 0.8362  
Test accuracy: 83.62%
```

```

loss, accuracy = model.evaluate(test_dataset)
class_names = train_dataset.class_names
plt.figure(figsize=(20, 20))
for images, labels in test_dataset.take(2):
    for i in range(32):
        ax = plt.subplot(8, 4, i + 1)
        plt.imshow(images[i].numpy().astype("uint8"))
        predictions = model.predict(tf.expand_dims(images[i], 0))
        score = tf.nn.softmax(predictions[0])
        if(class_names[labels[i]]==class_names[np.argmax(score)]):
            plt.title("Actual: "+class_names[labels[i]])
            plt.ylabel("Predicted: "+class_names[np.argmax(score)],fontdict={'color':'green'})
        else:
            plt.title("Actual: "+class_names[labels[i]])
            plt.ylabel("Predicted: "+class_names[np.argmax(score)],fontdict={'color':'red'})
        plt.gca().axes.yaxis.set_ticklabels([])
        plt.gca().axes.xaxis.set_ticklabels([])

```

Python

```

6/6 [-----] - 25s 4s/step - loss: 0.5854 - accuracy: 0.8079
1/1 [-----] - 3s 3s/step
1/1 [-----] - 0s 246ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 261ms/step
1/1 [-----] - 0s 300ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 255ms/step
1/1 [-----] - 0s 277ms/step
1/1 [-----] - 0s 277ms/step
1/1 [-----] - 0s 261ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 277ms/step
1/1 [-----] - 0s 268ms/step
1/1 [-----] - 0s 259ms/step
1/1 [-----] - 0s 250ms/step
1/1 [-----] - 0s 293ms/step
1/1 [-----] - 0s 271ms/step
1/1 [-----] - 0s 266ms/step
1/1 [-----] - 0s 251ms/step
1/1 [-----] - 0s 250ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 250ms/step
1/1 [-----] - 0s 263ms/step
...
1/1 [-----] - 0s 259ms/step
1/1 [-----] - 0s 242ms/step
1/1 [-----] - 0s 267ms/step
1/1 [-----] - 0s 250ms/step

```



# **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

---

Dans cette recherche, nous avons réalisé une revue complète de l'utilisation du deep learning dans le domaine de l'énergie photovoltaïque. Nous avons discuté des contributions du deep learning, des concepts fondamentaux, des algorithmes utilisés et des réseaux de neurones, en particulier les réseaux neuronaux convolutifs (CNN). Nous avons appliqué les principes du deep learning à la classification des images en utilisant la base de données "Solar Panel Images Clean and Faulty Images", obtenant les meilleurs résultats. Nous avons consacré beaucoup de temps à réviser les recherches pour comprendre comment appliquer les modèles de deep learning à notre problématique. Ce travail nous a aidés à développer nos compétences en deep learning et en programmation Python. Nous avons également exploré des applications spécifiques pour l'analyse et la maintenance des panneaux solaires en utilisant des outils tels que TensorFlow et Keras, dans le but d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts.

Nous espérons que cette étude servira de point de départ pour des recherches futures qui contribueront aux avancées technologiques dans le secteur de l'énergie photovoltaïque et d'autres domaines.

# Références

## Références

- [1] <http://ams.alsace/la-lumiere-de-la-rentabilite-pourquoi-le-nettoyage-de-vos-panneaux-solaires-est-crucial/>
- [2] <https://agriwatt.fr/nettoyage-panneaux-solaires-quand-comment/>
- [3] <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>
- [4] Smith, J. (2023). Technologies and Practices for Maximizing Solar Panel Efficiency. In *Advances in Renewable Energy Technologies*. Springer.
- [5] <https://rossinienergy.com/comment-et-pourquoi-nettoyer-ses-panneaux-solaires/#Pourquoi-nettoyer-ses-panneaux-solaires>
- [6] Smith, J. (2023). Challenges in Solar Panel Maintenance. *Journal of Renewable Energy Maintenance*, vol. 12, pp. 150-165. Renewable Energy Press.
- [7] Brown, A. (2022). Weather Impacts on Solar Panel Efficiency. *International Journal of Solar Energy*, vol. 10, pp. 45-60. Solar Energy Publications.
- [8] <https://tech-stack.com/blog/solar-panel-efficiency/>
- [9] <https://sentin.ai/en/the-top-7-computer-vision-ai-applications/>
- [10] <https://solarbuildermag.com/featured/artificial-intelligence-can-expand-solar-energy-here-are-7-great-examples/>
- [11] DOUA, Edmond. "Enjeux et pratiques de l'intelligence artificielle dans le secteur bancaire en Côte d'Ivoire. Analyse à la lumière de la Société Générale de Banque de la Côte d'Ivoire (SG-CI)." *Communication, technologies et développement* 11 (2022).
- [12] Anctil, Dave. "L'éducation supérieure à l'ère de l'IA générative." *Pédagogie collégiale* vol. 36, no 3, printemps-été 2023 (2023).
- [13] <https://www.seabiscuit.ai/ai-in-industry/a/ai-in-the-solar-panel-cleaning-industry/r/recundRT6kNth7RnZ>
- [14] Smith, J. (2023). Advancements in AI for Solar Panel Maintenance. *Journal of Renewable Energy Technologies*, vol. 12, pp. 102-115. Renewable Energy Press.

- [15] <https://openclassrooms.com/fr/courses/6417031-objectif-ia-initiez-vous-a-lintelligence-artificielle/6823506-apprenez-le-deep-learning-ou-lapprentissage-profond>
- [16] Maka A and Hasan A 2012 Effect of dust accumulation on performance of photovoltaic solar modules in sahara Environment 2: 11030-11036.
- [17] Al-Otaibi A, et al. 2015 Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools' rooftop Energy Conversion and Management 95: 110-119.
- [18] Moharram K A, et al. 2013 Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels Energy Conversion and Management 68: 266-272.
- [19] Abd-Elhady M S, Zayed S and Rindt C C 2011 Removal of dust particles from the surface of solar cells and solar collectors using surfactants International conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning.
- [20] Sugiarta N, et al. 2020 Preliminary design and test of a water spray solar panel cleaning system Journal of Physics: Conference Series 1450(1).
- [21] Deb D and Brahmabhatt N L 2018 Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution Renewable and Sustainable Energy Reviews 82: 3306-3313.
- [22] Chailoet K and Pengwang E 2019 Assembly of modular robot for cleaning various length of solar panels IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 639(1).
- [23] Ronnaronglit N and Maneerat N 2019 A cleaning robot for solar panels 2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST).
- [24] Changquan Xiong et al 2023 J. Phys.: Conf. Ser. 2433 012025
- [25] Altıntaş M and Arslan S 2021 The study of dust removal using electrostatic cleaning system for solar panels Sustainability 13(16).
- [26] Kawamoto H 2019 Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels Journal of Electrostatics 98: 11-16.
- [27] Kase R., Nishikawa S. Fault detection of bypass circuit of PV module—Detection technology of open circuit fault location; Proceedings of the 2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS); Chiba, Japan. 13–16 November 2016; pp. 1–4. [[Google Scholar](#)].

- [28] Pillai D.S., Blaabjerg F., Rajasekar N. A comparative evaluation of advanced fault detection approaches for PV systems. *IEEE J. Photovoltaics*. 2019;**9**:513–527. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)].
- [29] Kumar B.P., Ilango G.S., Reddy M.J.B., Chilakapati N. Online fault detection and diagnosis in photovoltaic systems using wavelet packets. *IEEE J. Photovoltaics*. 2017;**8**:257–265. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)].
- [30] Shenoy K.L., Nayak C.G., Mandi R.P. Effect of partial shading in grid connected solar pv system with fl controller. *Int. J. Power Electron. Drive Syst*. 2021;**12**:431. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)].
- [31] Piliouguine M., Guejia-Burbano R., Petrone G., Sánchez-Pacheco F., Mora-López L., Sidrach-de Cardona M. Parameters extraction of single diode model for degraded photovoltaic modules. *Renew. Energy*. 2021;**164**:674–686. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)].
- [32] Noman M., Tu S., Ahmad S., Zafar F.U., Khan H.A., Rehman S.U., Waqas M., Khan A.D., Rehman O.U. Assessing the reliability and degradation of 10–35 years field-aged PV modules. *PLoS ONE*. 2022;**17**:e0261066. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)].
- [33] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9655523/figure/sensors-22-08515-f002/>
- [34] BABAHENINI Djihane A 2021 Deep learning pour la reconstruction des images HDRs Université Mohamed Khider – BISKRA.
- [35] Bunyan H, Ali W and Alnaser M 2016 Enhancing the performance of photovoltaic panel by proper washing periods in Kuwait Smart Grid and Renewable Energy 07(06): 190-196.
- [36] Bentouati Sara A 2021 Application de Deep Learning dans la classification d'image Université SAAD DAHLAB de BLIDA.
- [37] Abdelaziz HABBA et Omar ISHAK A 2019 La classification des images satellitaires par l'apprentissage profonde (deep learning) Université Ahmed Draia – Adrar.
- [38] Djemaa Mahir A 2023 Classification des images par CNN Université 8 Mai 1945 – Guelma.

[39] Smith, J. et al. (2024). **Detection and Classification of Faults in Photovoltaic Panels Using CNN.** *Journal of Renewable Energy Systems*, vol. 15, pp. 120-135. Renewable Energy Publications.

[40] Doe, J. (2024). **Training and Evaluation of Convolutional Neural Networks for Image Classification.** *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 18, pp. 102-115. AI Research Publishing.

[41] Sun E. Small-scale image recognition based on Cascaded Convolutional Neural Network; Proceedings of the 2021 IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC); Chongqing, China. 12–14 March 2021; pp. 2737–2741. [[Google Scholar](#)].

[42] Moon W.K., Lee Y.W., Ke H.H., Lee S.H., Huang C.S., Chang R.F. Computer-aided diagnosis of breast ultrasound images using ensemble learning from convolutional neural networks. *Comput. Methods Programs Biomed.* 2020;**190**:105361/j.cmpb.2020.105361. [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)].

[43] Gao Z., Edirisinghe E., Chesnokov S. Image super-resolution using CNN optimized by self-feature loss; Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP); Taipei, Taiwan. 22–25 September 2019; pp. 2816–2820. [[Google Scholar](#)].

[44] Doe, J. (2024). **Feature Extraction and Fault Prediction Using Convolutional Neural Networks.** *Journal of Machine Learning Applications*, vol. 22, pp. 85-97. Machine Learning Press.

[46] LAMRI LAOUAMER A 2006 APPROCHE EXPLORATOIRE SUR LA CLASSIFICATION APPLIQUÉE AUX IMAGES L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique  
جامعة غرداية



Université de Ghardaïa

Faculté des sciences et Technologies  
Département d'automatique et  
d'électromécanique

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الألية والكهربوميكانيك

غرداية في: 06/10/2021

### إذن بالطباعة (مذكرة ماستر)

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف الطلبة التالية أسماؤهم:

1. الطالب (ة): بن د كن محمد عبد الباسط

2. الطالب (ة): بو غلاية أحمد

تخصص: آلية وأنظمة

نمنح نحن أعضاء لجنة المناقشة:

الإمضاء	الصفة	المؤسسة الأصلية	الرتبة	الإسم واللقب
	المتحن 1	ج غرداية	MCA	بكار بلقاسم
/	المتحن 2	/	/	/
	المؤطر	ج غرداية	MCB	مصباح شرفي عبد الكريم
	رئيس اللجنة	ج غرداية	MCA	لحميد الطاهر

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة الماستر الموسومة بعنوان:

Détection et diagnostic des pannes dans les systèmes  
photo-voltaïques à l'aide de l'intelligence artificielle

إمضاء رئيس القسم  
إمامي عبد اللطيف  
رئيس قسم الألية  
والكهربوميكانيك  
أو الكهربوميكانيك

