

Analyse multiphysique de l'impact des "Snail Trails" sur la durabilité des modules photovoltaïques : corrélation entre signatures électriques, thermiques et structurales

Description

Les modules photovoltaïques (PV) présentent une durée de vie supérieure à 25 ans qui se caractérise par une perte de puissance pouvant atteindre 20 % dans les conditions d'essai standard (STC : 25 °C, AM1.5, 1000 W/m²). En effet, leurs performances diminuent avec le temps selon différents mécanismes de dégradation, dépendant de la technologie et des conditions climatiques (spectre solaire, humidité, température). Parmi ces dégradations, le phénomène des "snail trails" se manifeste par des lignes sombres visibles à la surface des cellules, souvent liées à la présence de microfissures. Sous l'effet de la chaleur et de l'humidité, ces fissures peuvent s'ouvrir, entraînant des pertes de puissance, puis se refermer partiellement au refroidissement. En climat tropical, ces cycles sont amplifiés : la chaleur et l'humidité accélèrent les réactions chimiques et favorisent la propagation des microfissures, conduisant à une dégradation plus rapide.

L'objectif du stage est d'étudier l'impact des "snail trails" sur la durabilité et les performances des modules photovoltaïques, en corrélant les signatures électriques, thermiques et structurales. Les résultats permettront de mieux comprendre les mécanismes de dégradation et de fiabilité des cellules affectées. À terme, les données issues de ce travail alimenteront le développement de modèles explicables et hybrides de diagnostic automatique, pour la supervision intelligente et la fiabilité des systèmes solaires.

Six modules Mono-PERC présentant ce défaut sont disponibles, et des cellules individuelles (SOLEMS ou autre) permettront d'analyser plus finement les mécanismes de dégradation.

L'étude s'appuiera sur plusieurs approches complémentaires :

- Caractérisation électrique à l'aide de courbes courant-tension (I-V) et d'imageries corrélées (Figure 1) aux échelles module et cellule ;
- Analyse thermique pour identifier les zones de dégradation actives ;
- Caractérisation de l'effet des microfissures à l'échelle cellule par des mesures de durée de vie des porteurs : caractérisation locale par μ PCD et LBIC et globale par OCVD.

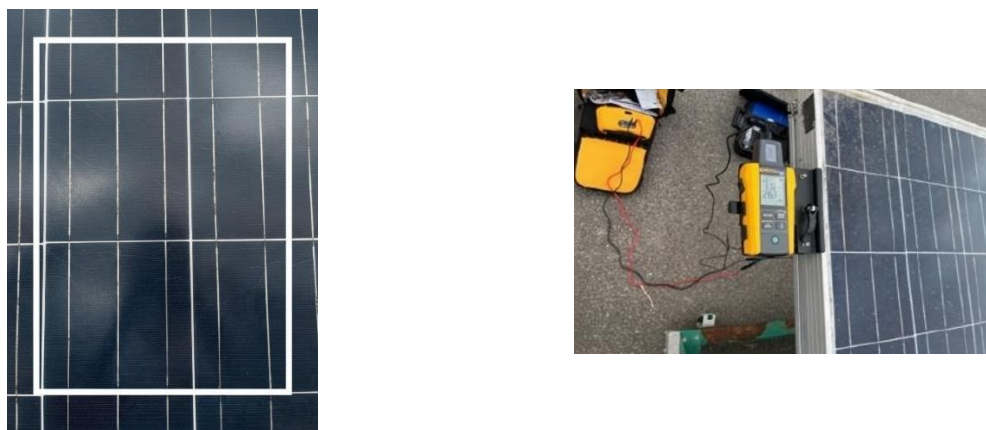


Figure 1 : module PV avec présence de "snail trails" (a) et caractérisation électrique I-V (b)

Les résultats attendus permettront d'identifier des signatures électriques, thermiques et structurelles spécifiques aux "snail trails" et d'établir des corrélations entre défauts visuels et pertes de performance. À terme, ces données serviront de base au développement de méthodes de détection automatisée par apprentissage automatique, dans une perspective de fiabilité accrue des systèmes photovoltaïques.

Travail à réaliser

Le stage s'articule autour de trois volets complémentaires :

1. Bibliographie

- Réaliser une revue de la littérature sur le phénomène des snail trails : origine, évolution, signatures (électriques et optiques), méthodes de détection et architectures concernées (e.g. Mono-PERC, SHJ, p-on-n, n-on-p).*
- Identifier les lacunes actuelles et positionner le travail dans ce contexte.*

2. Caractérisation électrique et thermique

- À l'échelle du module : réaliser un protocole expérimentale et effectuer des mesures I-V, ainsi que des imageries thermiques pour corréler les anomalies visuelles à des pertes de performance.*
- À l'échelle de la cellule : effectuer des mesures I-V et de durée de vie effectives (OCVD) et locales (μ PCD et LBIC) en réalisant des cartographies.*

3. Analyse et corrélation des données

- Identifier des signatures électriques, thermiques et structurelles spécifiques aux snail trails.*
- Établir des corrélations quantitatives entre défauts visuels et pertes de performance.*
- Constituer une base de données expérimentale regroupant mesures et imageries.*

Ces travaux s'appuieront sur des mesures expérimentales couplées à des analyses sous Matlab/Simulink et Python, afin d'assurer une corrélation rigoureuse entre les domaines électrique, thermique et structurel.

Pré-requis : *Connaissances en physique des semi-conducteurs et photovoltaïque, maîtrise de Python et Matlab/Simulink, intérêt pour la caractérisation expérimentale et la modélisation (physique/IA). Rigueur et autonomie indispensables..*

Nombre de personnes maximum : 1

Lieu où se déroule le stage : *Laboratoire PROMES-CNRS, Rambla de la thermodynamique 66100 Perpignan*

Formation : *Master 2^{ème} année, école d'ingénieur 5^{ème} année*

Domaine : *EEA, Energie et matériaux*

Durée du stage : 6 mois

Période souhaitée : février 2026

Rémunération : *Gratification mensuelle forfaitaire en vigueur sur la base de 35 h/semaine (~ 621 € en 2025)*

Encadrants : *Michael Bressan, Béatrice Plujat, Sébastien Quoizola, Antoine Lemaire, Edgar Hernando Sepulveda Oviedo*

Mails de contacts : *Envoyez un CV et une lettre de motivation à michael.bressan@univ-perp.fr*