

Analyses expérimentales et numérique des modules photovoltaïques à haut rendement en conditions réelles de fonctionnement

Laboratoires d'accueil

- Localisation principale : Laboratoire INL, bâtiment Irène Joliot-Curie, rue Enrico Fermi. 69622 Villeurbanne cedex
- Localisation secondaire : Laboratoire CETHIL, Campus de la Doua, 9 rue de la Physique, 69621 Villeurbanne Cedex

Encadrement

Mohamed Amara, Chargé de Recherche CNRS (HDR). mohamed.amara@insa-lyon.fr, tél. 04 72 43 76 10

Hervé Pabiou, Chargé de Recherche CNRS (HDR). herve.pabiou@insa-lyon.fr, tél : 04 72 43 73 52

Financement : Collège d'Ingénierie Lyon Saint-Etienne

Contexte et objectifs

Dans le paysage actuel de l'énergie photovoltaïque, les cellules solaires à base de silicium s'imposent comme la technologie leader du marché, constituant 96% de l'industrie avec des efficacités de conversion de puissance (PCE) atteignant approximativement 22% pour les modules commerciaux et jusqu'à 26.7% pour les cellules de recherche, frôlant la limite théorique de Shockley-Queisser de 29,4% [1]. Ces progrès résultent de percées significatives dans l'architecture des cellules solaires, centrées sur l'amélioration de l'absorption lumineuse et la collecte optimisée des charges photo-générées. Pour franchir la barre des 30% de rendement, il est nécessaire de s'orienter vers des cellules solaires de nouvelle génération mettant en œuvre des concepts inédits parmi lesquels l'association de cellules en tandem s'annonce comme la technologie la plus prometteuse pour atteindre cet objectif. Récemment, une percée significative a été réalisée avec des cellules solaires en tandem à base de pérovskite, dont le rendement a dépassé les 33%, marquant un record mondial [2].

Il convient de noter que les innovations concernant les technologies PV sont évaluées sous des conditions d'essai standard (CTS), avec une température de cellule fixée à 25°C et un rayonnement incident normalisé sous un spectre AM1.5 [3]. Ces conditions d'essai standard, bien qu'utiles pour la comparaison entre différents produits et différentes technologies, ne reflètent pas les conditions réelles d'exploitation où des facteurs comme la température des cellules peuvent drastiquement influencer les performances et la durabilité des modules [4]. Or, si les effets thermiques sont déjà largement documentés pour la technologie classique en silicium cristallin, l'impact de la température sur des nouvelles technologies à base de pérovskites est beaucoup moins bien connu [5]. De plus, pour ces nouvelles technologies qui intègrent des matériaux organiques, l'humidité est un facteur important de dégradation. Or à l'échelle du module, c'est-à-dire pour un matériau encapsulé, il n'y a aucune étude sur l'influence de l'humidité sur la performance des modules.

L'objectif principal de ce projet de thèse est d'analyser le comportement de modules PV de différentes technologies sous contraintes thermiques et hydriques afin de modéliser la production électrique des panneaux solaires dans des conditions réelles, un domaine encore peu exploré à ce jour.

Cadre spécifique

Cette thèse est financé par le programme *bouquet de thèses* du Collège d'Ingénierie Lyon Saint-Etienne dont l'objectif est de former une équipe pluridisciplinaire sur thème *industrie et société décarbonnées*. Par conséquent, ce travail s'inscrit dans un cadre spécifique donné en annexe de ce sujet auquel la personne recrutée devra se conformer.

Moyens

L'INL disposera d'une enceinte climatique solaire permettant de simuler diverses conditions environnementales (température, humidité, ensoleillement) pour tester des modules photovoltaïques composés d'une cellule industrielle standard.

L'INL dispose également d'un code de simulation conçu pour modéliser la production annuelle d'une centrale solaire avec une approche simplifiée des transferts de charges et de chaleur.

Les tests en conditions extérieurs seront réalisés sur la plateforme solaire du CETHIL qui est un espace de 33m² sur le toit d'un bâtiment et qui est largement instrumentée pour l'étude des composants solaires.

Programme de travail

- Développement d'un banc de caractérisation de mini-modules photovoltaïques en conditions contrôlées soumis à des contraintes thermiques et hydriques. L'objectif est de concevoir un banc de tests basé sur un équipement comprenant une enceinte climatique équipée d'un simulateur solaire capable de moduler la température et l'humidité autour du module PV, afin de simuler avec précision des conditions environnementales variées.
- Mise en place des protocoles de caractérisations en température et en humidité pour des technologies émergentes tels que des modules à base de pérovskites (simple jonction ou tandem) d'une part, en environnement contrôlé, d'autre part, en conditions réelles.
- Intégration des effets hydriques dans une modélisation thermo-électrique des modules PV en conditions réelles. L'objectif est de développer une modélisation fine capable de simuler le comportement de modules de nouvelles technologies telles que les cellules tandem et d'offrir ainsi une plateforme pour simuler le comportement des modules PV sous diverses conditions environnementales.

Profil recherché

La personne recrutée a une solide formation en physique ou en mécanique avec de bonnes connaissances des phénomènes de transfert de masse et de chaleur. Elle a un goût prononcé pour le travail expérimental. Elle sait travailler en équipe pour interagir entre les différents services techniques des laboratoires INL et CETHIL.

Références bibliographiques

- [1] Green MA, Dunlop ED, Yoshita M, et al. Solar cell efficiency tables (Version 63). Prog Photovolt Res Appl. 2024; 32(1): 3-13. doi:10.1002/pip.3
- [2] <https://www.longi.com/fr/news/>
- [3] K. Emery <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470014008.ch16/summary>.
- [4] D. C. Jordan et al. ,IEEE-JPV, 2018. doi: 10.1109/JPHOTOV.2017.2779779
- [5] P. Lopez-Varo et al., Sustain. Energy Fuels, doi: 10.1039/D1SE01381E.

Annexe – Bouquet de thèses 2024

Le sujet de thèse de doctorat décrit ci-après s'inscrit au sein d'un **bouquet de thèses** dont le but est de construire une approche scientifique pluridisciplinaire pour aborder l'enjeu sociétal « industrie et société décarbonées », identifié comme un enjeu prioritaire par les 4 établissements du Collège d'Ingénierie Lyon Saint-Etienne (Centrale Lyon, ENTPE, INSA Lyon, Mines Saint-Étienne) et par l'Université Jean Monnet Saint-Étienne, qui soutiennent financièrement les thèses formant ce bouquet 2024.

Le bouquet de thèses 2024 regroupe 6 thèses qui couvrent différentes facettes de la décarbonation (mobilités, énergie, bâtiment et ville) et abordent les questions suivantes :

- Production d'énergie décarbonée
- Efficacité des chaînes énergétiques dans le contexte de réseaux multi-énergies ;
- Gestion des réseaux multi-énergies dans le domaine des transports et du bâti ;
- Développement d'outils et jumeaux numériques, de matériaux propres et de procédés avancés à empreinte environnementale réduite ;
- Implication des enjeux de la décarbonation pour les ménages, les entreprises et les villes ainsi que sur la relation entre ces acteurs sur un territoire.

Ces thèses rassemblent au total 14 encadrants rattachés à 8 laboratoires (Unités Mixtes de Recherche) du site Lyon Saint-Etienne (Centre d'Énergétique et de Thermique de Lyon, Environnement Ville Société, Institut des Nanotechnologies de Lyon, Laboratoire Aménagement Economie Transports, Laboratoire Hubert Curien, Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures, Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, Matériaux : Ingénierie & Science) dont les 5 établissements financeurs sont tutelles. Les 6 doctorants recrutés au titre de ce bouquet seront inscrits dans 4 Écoles Doctorales du site : EEA, MEGA, SEG, SIS.

Les équipes (doctorants et leurs encadrants) impliquées dans ces 6 thèses forment une communauté scientifique pluridisciplinaire : des échanges réguliers entre ces équipes se dérouleront tout au long des 3 années du parcours doctoral, notamment sous la forme de séminaires communs permettant de développer l'approche systémique pluridisciplinaire propre au bouquet et d'enrichir les compétences disciplinaires des équipes dans un esprit de partage et d'apprentissage. Les mémoires de thèses produits à l'issue du parcours doctoral reflèteront également le positionnement original des travaux de thèse au sein d'un bouquet en incluant un chapitre qui développera l'analyse de l'impact des travaux réalisés sur l'enjeu de décarbonation.