

Refroidissement radiatif des cellules solaires : modélisation et potentiel de refroidissement des cellules monojonction

Jérémy Dumoulin⁽¹⁾, Emmanuel Drouard⁽²⁾, Mohamed Amara⁽¹⁾

(1) INL UMR5270, Univ. Lyon, INSA-Lyon, CNRS, Villeurbanne France
(2) INL UMR5270, Univ. Lyon, Ecole Centrale de Lyon, Ecully France

Contact : mohamed.amara@insa-lyon.fr

Les cellules photovoltaïques (PV) sont conçues pour absorber efficacement les photons solaires mais ne convertissent qu'une proportion limitée de l'énergie absorbée en électricité. L'énergie restante étant convertie en chaleur, il en résulte un échauffement significatif sous éclairage. Ainsi, les modules solaires en silicium cristallin atteignent aisément 50-60 °C en conditions de fonctionnement réelles, ce qui est néfaste pour leur rendement de conversion et leur durée de vie. Plusieurs stratégies de refroidissement sont à l'étude pour diminuer leur température¹. Ces dernières années, il y a un intérêt croissant pour la technique dite de refroidissement radiatif avec le ciel (RRC). Cette approche consiste à optimiser le rayonnement thermique des cellules ou modules - avec l'aide de structures photoniques - en profitant de la fenêtre de transparence qu'offre l'atmosphère dans la gamme 8-13 μm^2 .

Bien que certaines études préliminaires sur le sujet soient prometteuses, avec des refroidissements annoncés de plus de 13 °C sur des wafers en silicium³, elles restent insuffisantes pour apprécier pleinement le potentiel de cette technique pour diverses technologies. De plus, les propriétés optiques (dans la gamme infrarouge) les plus bénéfiques au refroidissement radiatif n'ont pas été identifiées à ce jour.

Dans ce travail, nous avons souhaité étudier le RRC des cellules PV monojonction sous un angle général. Basé sur une approche thermodynamique, un modèle physique et numérique a été développé permettant de quantifier l'influence des principaux paramètres environnementaux (ensoleillement, température ambiante, vitesse du vent, couverture nuageuse) et des propriétés physiques de la cellule sur sa température et ses performances électriques. Ce dernier couple un modèle de Shockley-Queisser avec un bilan des flux thermiques (Fig. 1a). Nos simulations nous ont d'abord permis de déterminer les propriétés optiques à atteindre pour refroidir les systèmes PV au maximum, puis d'estimer le bénéfice du RRC dans divers scénarios. L'accent a été mis sur les cellules à base de silicium, GaAs et Perovskite. Entre autres, nos résultats montrent que le refroidissement envisageable est conséquent même pour des dispositifs épais et/ou présentant un bon transfert thermique en face-arrière (Fig. 1b).

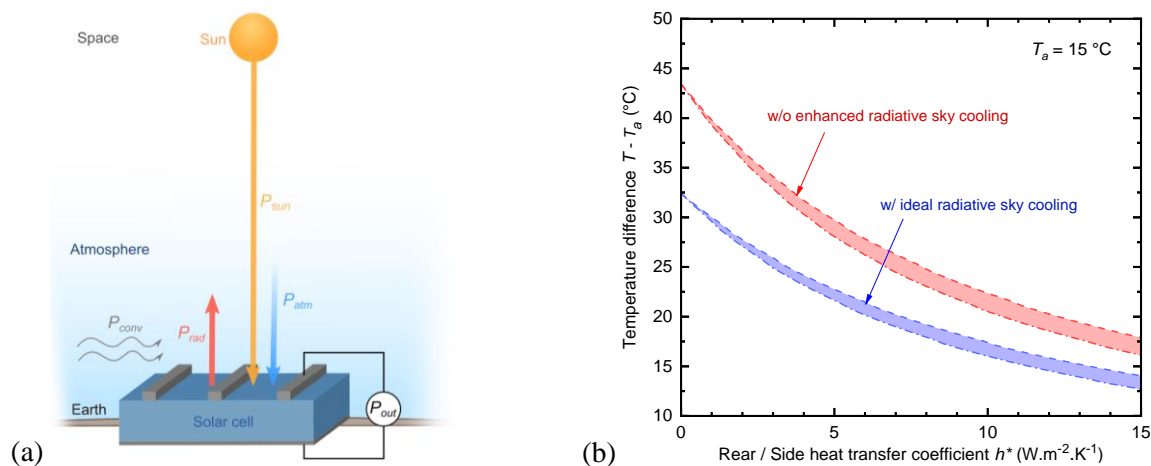


Fig 1 : (a) Principaux puits et sources de chaleur du modèle et (b) Température d'une cellule en silicium simulée avec (bleu) / sans (rouge) optimisation de son RRC, en fonction du coefficient d'échange thermique en face arrière h^* (température ambiante $T_a=15$ °C, ensoleillement de 1000 W/m^2 , sans vent)

¹ Siecker, J. *et al.* "A review of solar photovoltaic systems cooling technologies". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017.

² Granqvist, C. G. *et al.* "Radiative cooling to low temperatures: General considerations and application to selectively emitting SiO films". Journal of Applied Physics. 1981.

³ Zhu, L. *et al.* "Radiative cooling of solar absorbers using a visibly transparent photonic crystal thermal blackbody". Proceedings of the National Academy of Sciences. 2015.