

# Absorption réversible des photons : peut-on atteindre la limite thermodynamique de la conversion solaire ?

M. Amara, J. Dumoulin

1) CNRS, INSA Lyon, École Centrale de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, INL, UMR5270, 69621 Villeurbanne. France.

Contact : [mohamed.amara@insa-lyon.fr](mailto:mohamed.amara@insa-lyon.fr)

## Résumé

Les cellules solaires de première et seconde générations reposent sur le modèle classique de la jonction p-n. L'équilibre détaillé de Shockley et Queisser prédit un rendement théorique maximal de 30 % en conditions standards, et jusqu'à 40 % sous concentration solaire de 46200 soleils [1]. Les cellules solaires de troisième génération visent à dépasser cette limite théorique, en explorant de nouveaux concepts physiques.

L'une des approches prometteuses de cette génération est la technologie des multijonctions, avec un record de rendement expérimental de 46 % sous 500 soleils. Les recherches dans ce domaine restent actives, car la théorie de l'équilibre détaillé prévoit qu'une multijonction idéale pourrait atteindre un rendement photonique de 86,8 % sous 46200 soleils. Bien que ce rendement soit très proche de la limite thermodynamique de Landsberg (93,3 %), une part de l'entropie générée lors de la conversion photovoltaïque reste incompressible.

Dans ce contexte, H. Ries a proposé un système théorique réversible en utilisant la loi de Kirchhoff pour limiter la production d'entropie [2]. En couplant des cellules thermiques avec des circulateurs optiques, il a montré que l'entropie générée pouvait être réduite, permettant ainsi d'atteindre des rendements proches de la limite thermodynamique. M. A. Green a étendu cette idée aux cellules photovoltaïques, ouvrant la voie à des concepts innovants pour maximiser le rendement des dispositifs solaires [3]. Plus récemment, Fan et al. [4] ont montré qu'on peut atteindre la limite de Landsberg de 93,3%.

Cette communication se propose de discuter des avancées récentes dans l'optimisation des cellules solaires de troisième génération, en s'intéressant particulièrement aux systèmes de Ries et de Green, et à leur potentiel pratique. Pour ce faire, nous reviendrons sur le modèle théorique afin de mieux comprendre l'origine des phénomènes physiques mis en jeu et leurs implications dans la réduction des pertes d'entropie. Enfin, nous explorerons les différentes pistes théoriques pour briser la réciprocity des systèmes solaires, qui pourraient réduire les pertes d'entropie en s'écartant de la loi de Kirchhoff. Nous discuterons également de l'intérêt du paradigme des matériaux topologiques dans cette quête. Les propriétés uniques de ces matériaux permettent de briser la symétrie temporelle de manière contrôlée, ouvrant ainsi la voie à une gestion plus efficace du flux photonique et à des rendements potentiellement supérieurs aux limites conventionnelles.

1. W. Shockley and H. J. Queisser, vol. 32, no. 3, pp. 510–519, 1961.
2. H. Ries, *Applied Physics B*, vol. 32, no. 3, pp. 153–156, 1983.
3. M. A. Green, *Nano letters*, vol. 12, 2012.
4. Y. Park, B. Zhao, S. Fan, *Nano Letters*, 22(1), 2021.