



Les technologies photovoltaïques : Entre la recherche scientifique et la réalité économique

KOUADRI BOUDJELTHIA El Amin
Maitre de Recherche A
Division Energie Solaire Photovoltaïque - CDER
E-mail : e.kouadri@cder.dz

Depuis le début du siècle l'énergie solaire photovoltaïque (PV) enregistre l'un des taux de croissance les plus élevés dans le monde. La capacité mondiale installée est passée de 6.083 MW en 2006 à 219.297 MW en 2015 (1). Cette croissance est due en partie aux avancées technologiques enregistrées dans la production des cellules photovoltaïques sur ses différentes filières. Sur les dix dernières années le rendement moyen des modules PV commercialisés à base de silicium est passé de 12% à 17% et celui des modules PV à base de CdTe (tellure de cadmium) est passé de 9% à 16% (1).

En effet, depuis des années nous assistons à des records de rendement dans toutes les filières PV. La traditionnelle carte publiée par NREL (National Renewable Energy Laboratory, USA) sur les records annuels, en laboratoire, des rendements des cellules photovoltaïques montre que le photovoltaïque gardera encore une bonne tendance de croissance sur les années à venir (Figure1) (2).

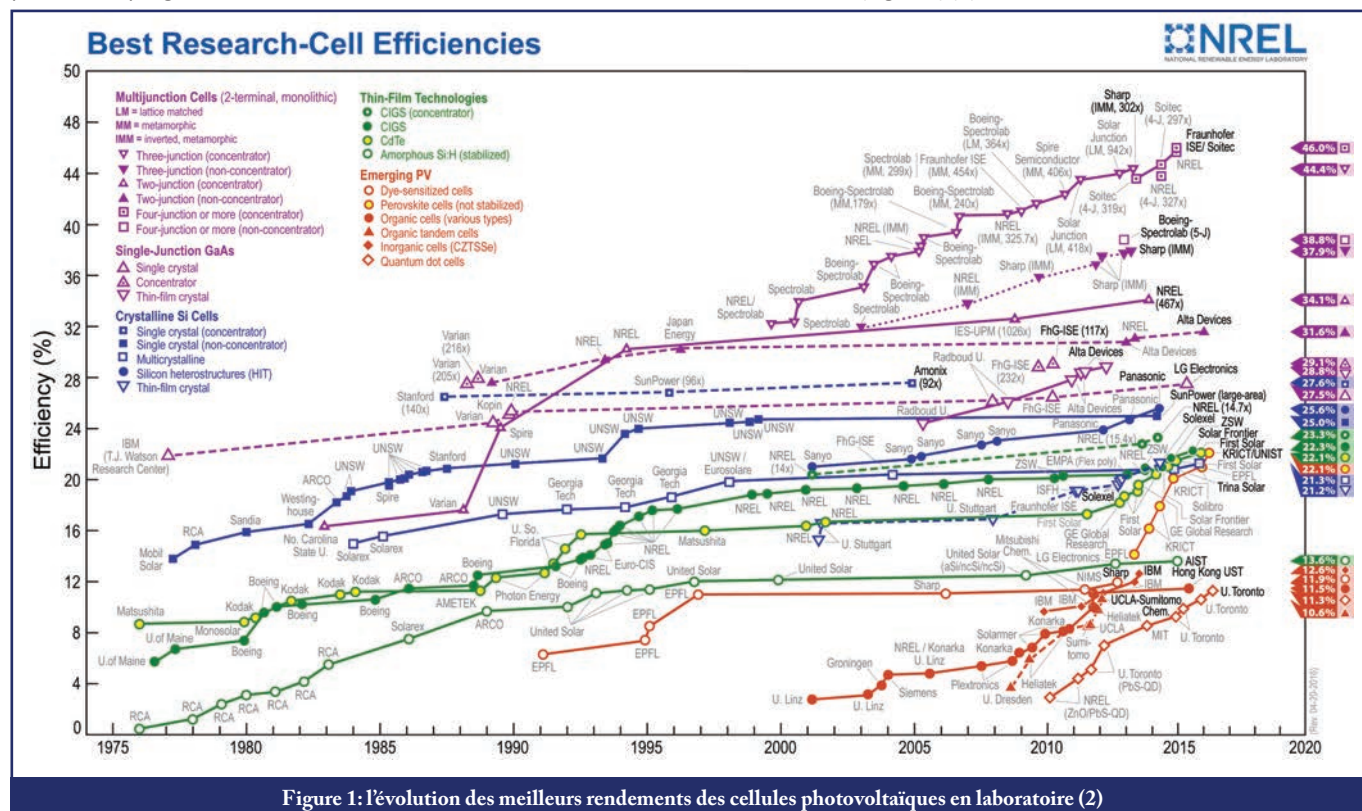


Figure 1: l'évolution des meilleurs rendements des cellules photovoltaïques en laboratoire (2)

Sur le plan recherche, une grande avancée a été enregistrée en 2016 sur les cellules en silicium cristallin (c-Si) hétéro-jonctions. En effet, les laboratoires NREL et le CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique) ont développé en collaboration une nouvelle cellule InGaP/Si (Indium Gallium Phosphide) avec un rendement de 29,8%, un record mondial qui dépasse même la limite théorique (29,4%) des cellules PV à base de silicium cristallin (2). Mais cette évolution ne peut pas cacher la stagnation de l'évolution du rendement des cellules à base du c-Si en mono-jonction. Son évolution est très faible sur les dix dernières années, notamment pour le monocristallin (mono-Si) et le multi-cristallin (mc-Si) les plus commercialisés dans le monde. Tandis que d'autres filières présentent une évolution très importante. De 2013 à 2016 le rendement des cellules CdTe est passé de 17% à 22,1% et les cellules pérovskites sont passées de 13% à 22,1% sur la même période.

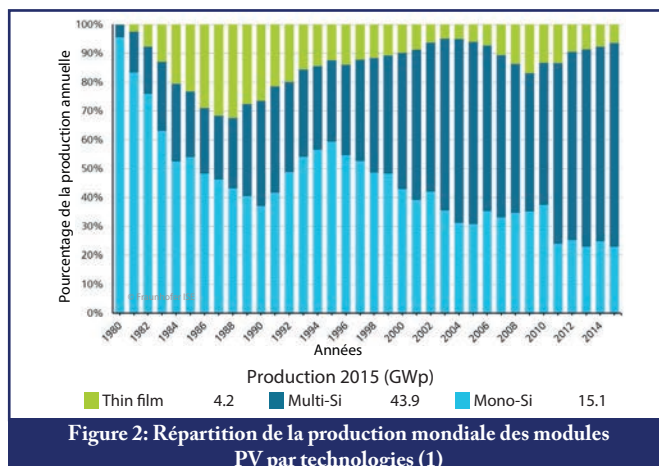
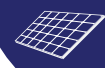


Figure 2: Répartition de la production mondiale des modules PV par technologies (1)



Cependant, sur le plan commercial le silicium cristallin reste curieusement dominant sur le marché photovoltaïque. Il a même renforcé sa position avec 93% de la production mondiale en 2015 ; un niveau qu'il a perdu depuis 2004 au profit des cellules en couches minces (Thin-Film Technologies) pour descendre jusqu'à 83% de la production mondiale en 2009 avant de repartir à la hausse (figure 2) (1).

Cette dominance s'explique, d'une part, par l'évolution remarquable du silicium multi-cristallin ; il a représenté, à lui seul, environ 70% de la production mondiale en 2015, d'autre part, par le recul du silicium amorphe, où sa dégradation dans le temps a grandement pénalisé sa position sur le marché. La figure 3 montre l'évolution des parts de marché des technologies couches minces.

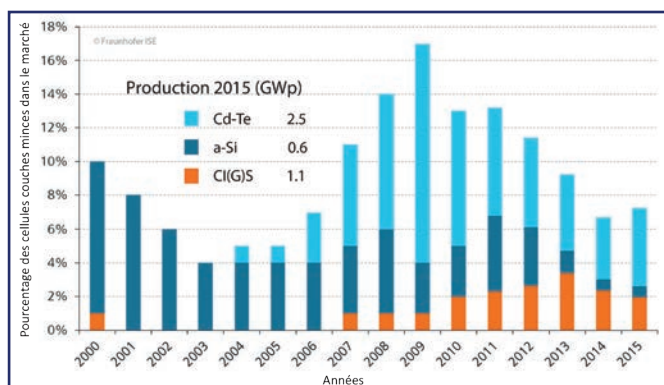


Figure 3: L'évolution des parts de marché des technologies couches minces (1)

Pourquoi le silicium cristallin domine toujours le marché photovoltaïque ?

Pour bien situer cette question, il faut rappeler que, du point de vue physique, le silicium cristallin n'est pas le matériau le plus adapté à la conversion photovoltaïque. Cela est dû à son gap indirect (gap du c-Si=1,2 eV), cette propriété réduit son coefficient d'absorption (Figure 4).

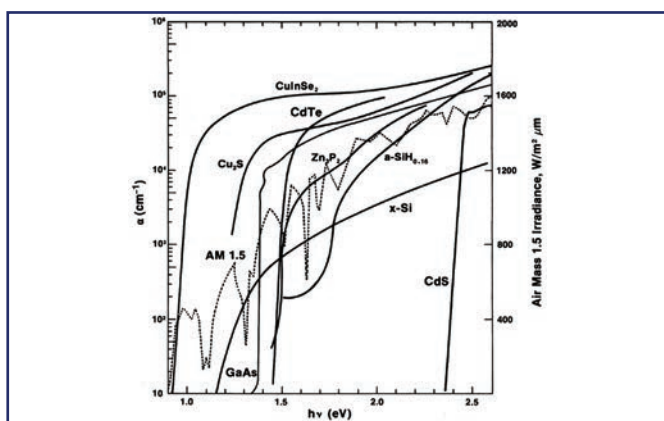


Figure 4: Coefficient d'absorption des semi-conducteurs (3)

Cela a un impact direct sur son rendement, par rapport à d'autres matériaux qui sont considérés, physiquement, plus adaptés à la conversion photovoltaïque à l'image du CdTe et le CIGS (Cellules à base de Cuivre, Indium, Gallium et Sélénium). Cependant, le silicium cristallin bénéficie de nombreux facteurs favorables qui expliquent cette dominance :

- L'abondance de la matière première ; le silicium représente 25,7% de la croûte terrestre, c'est l'élément le plus abondant après l'oxygène (4), contrairement aux cellules CIGS qui utilisent l'Indium, un matériau rare (5),
- Il bénéficie d'une grande maturité technologique et industrielle héritée de l'industrie micro-électronique,
- Il est non toxique, et les investisseurs ne craignent pas une législation qui peut interdire son utilisation, contrairement aux cellules CdTe qui utilisent le Cadmium, un matériau toxique.

En plus de la réduction des coûts due à une économie d'échelle, l'industrie du silicium cristallin a réalisé ces dernières années un progrès sur les coûts et les performances de la production qui a dépassé toute les attentes (5). Nous pouvons citer la réduction de l'épaisseur de la plaquette et la masse de silicium dans la cellule, comme le montre la figure 5.

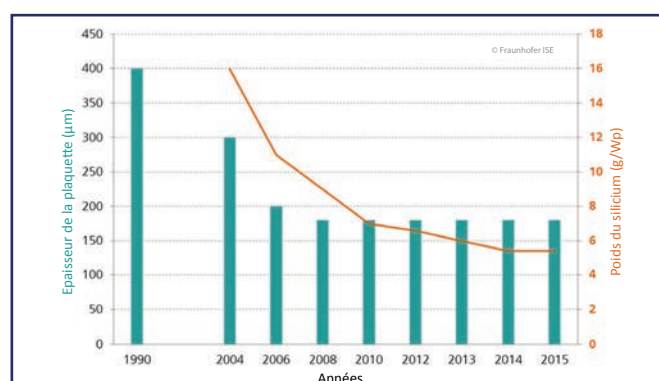


Figure 5: Evolution de l'épaisseur et la masse de la plaquette de c-Si (1)

Le temps de récupération d'énergie est passé, quant à lui, de deux ans et demi à un an et 3 mois entre 2000 et 2013 (1). Cela est lié directement à la réduction de l'énergie dépensée dans la production des modules PV à base du c-Si.

Dans les années à venir, le silicium devrait garder encore une bonne marge de réduction des coûts sur toute la chaîne de production (plaquette, cellule et module). Sur le plan du rendement PV, malgré la stagnation du rendement de la cellule en laboratoire, le rendement du module devrait continuer à augmenter comme l'illustre la figure 6.

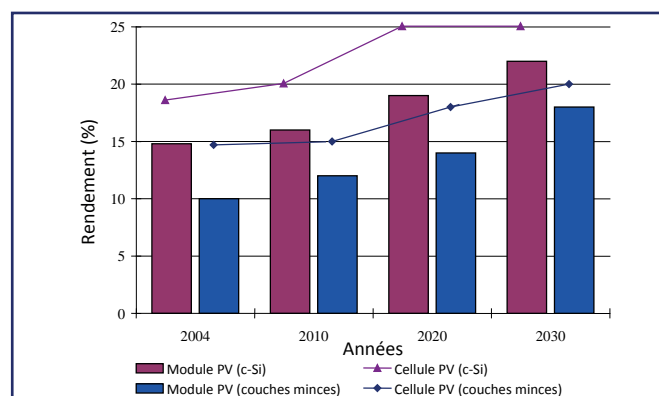


Figure 6: Projection des rendements des cellules et des modules photovoltaïques jusqu'à 2030 (6)

En conséquence, même si les technologies couches minces doivent augmenter progressivement, le silicium cristallin restera dominant pour les 10 prochaines années selon les prévisions des experts (6).

Sur le long terme, on peut s'attendre, en particulier avec la croissance future de la production et du volume du marché, à une coexistence d'au moins deux ou trois technologies photovoltaïques différentes, chacune dédiée à un secteur d'application différent (6).

Références

1. Photovoltaics report, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, 2016.
2. <http://www.nrel.gov/>
3. J. E. Jaffe and Alex Zunger, Theory of the band-gap anomaly in ABC2 chalcopyrite semiconductors, PHYSICAL REVIEW B, 29, 4 (1984) 1882-1906.
4. E.A, Kouadri Boudjelthia, Piégeage des impuretés métalliques présentes dans le silicium destiné au photovoltaïque par plasma immersion ion implantation (PIII), Université d'Orléans, 2012.
5. A, Slaoui, Matériaux et Technologies pour le photovoltaïque : Etat de l'Art et Perspectives, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie-CNRS.
6. Magda Moner-Girona, Daniel M. Kammen and Robert Margolis, Review of Photovoltaic Technology Cost and Performance Projections, 2017.