

LE SOLEIL : UN SACRÉ PRODUCTEUR D'ÉLECTRICITÉ

Noël Baffier, Jean Claude Bernier, Patrice Bray

D'après l'article *Les filières photovoltaïques en couches minces et leurs perspectives d'application à l'habitat* de Daniel Lincot publié dans « La chimie et l'habitat », EDP Sciences, 2011, ISBN : 978-2-7598-0642-3.

LE SOLEIL ET LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Si le soleil est la source de l'énergie photovoltaïque (1), il est aussi à l'origine de l'énergie hydraulique et de la biomasse, autres énergies renouvelables. Il est intéressant de comparer ces trois ressources selon leur production d'énergie sur une année et par mètre carré. La Figure 1 montre clairement l'intérêt de la conversion directe de l'énergie solaire, en particulier photovoltaïque.

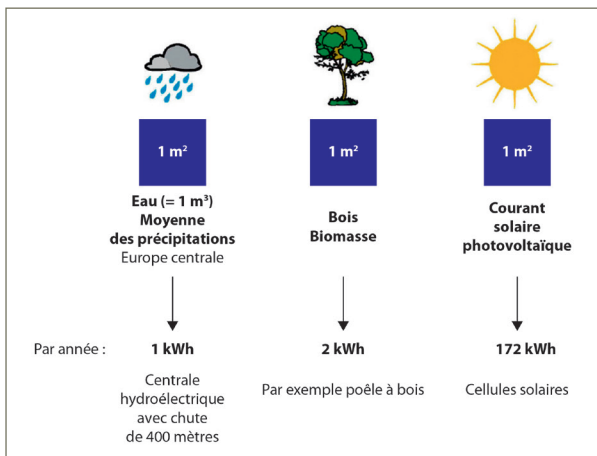


Figure 1 – Que nous offre la nature en une année ?
Source : [biomasse] Université de Postdam, Professeur W. Palz ; [courant solaire photovoltaïque] SES/SIG, mesures 2008-2009.

Une politique volontariste de génération d'électricité d'origine photovoltaïque, sous forme notamment d'équipements de toitures ou/et de façades, pourrait contribuer notablement à la production globale d'énergie.

PRINCIPE DE BASE

La Figure 2 rappelle le processus d'absorption de la lumière par un matériau de type semi-conducteur, le silicium par exemple. Quand un photon d'énergie lumineuse interagit avec un électron d'un atome, il le fait passer de son niveau d'équilibre à un niveau excité d'énergie supérieure. L'électron revient ensuite à l'équilibre sur son niveau initial en ré-émettant

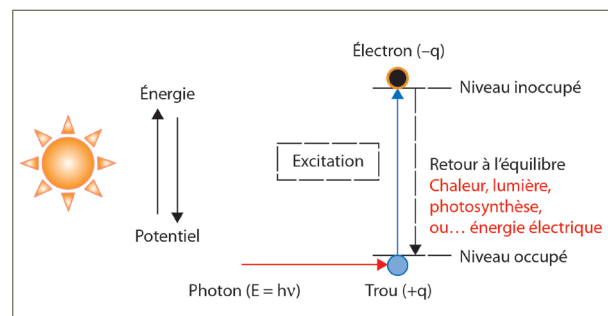


Figure 2 – Processus d'absorption de la lumière dans un matériau.

l'énergie absorbée, sous diverses formes possibles, entre autres sous forme d'énergie électrique. Dans ce cas, on parle d'énergie photovoltaïque [2].

L'atome de silicium (Si) possède 4 électrons périphériques. Si on introduit dans du silicium très pur de très faibles quantités d'atomes ayant 3 ou 5 électrons périphériques, on crée un système où ces électrons vont circuler facilement. C'est du silicium dopé (noté *Si-type n* s'il y a excès d'électrons, *Si-type p* s'il y a défaut d'électrons).

LES FILIÈRES PHOTOVOLTAÏQUES

Les principales filières actuellement commercialisées, sont basées sur le silicium ; elles représentent de nos jours 80 % du marché [3].

– La filière historique, au silicium cristallin, peut atteindre des rendements de 25 % [Figure 3].

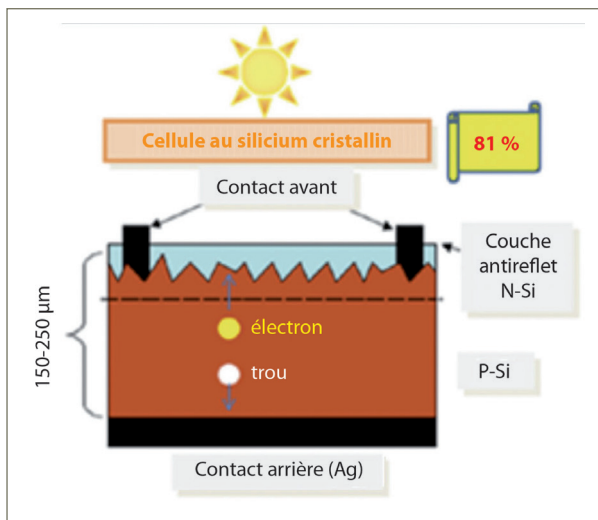


Figure 3 – Schéma d'une cellule photovoltaïque au silicium cristallin. Dans un matériau semi-conducteur, il y a création d'une paire électron-trou (q^- et q^+) sous l'action du rayon lumineux. Les électrons sont mis en mouvement lorsque la cellule est placée dans un circuit fermé : il y a création d'un photo-courant.

– Les filières couches minces sont issues de technologies de revêtement sur différents supports : dépôts sur du verre, sur des métaux, sur des plastiques polymères.

Ce sont des accumulations de couches minces de quelques micromètres d'épaisseur que l'on peut classer en plusieurs catégories [4].

1. Les cellules basées sur le silicium amorphe (non cristallisé). La première fut découverte dans les années 1970 et représente actuellement 5 % de la production ; elle produit des cellules dont le rendement est de l'ordre de 6 à 8 %. Elle a longtemps servi dans des « niches » d'applications telles que les calculatrices.

La chimie intervient dans les technologies de dépôts. Ils sont réalisés par décomposition d'un dérivé de silicium en phase vapeur (plasma) suivi du dépôt sélectif du silicium dopé sur un support à très basse température. Cette technologie de revêtement est très utilisée pour la fabrication des écrans et dans l'industrie électronique [5].

Au commencement des études sur la chimie des dépôts, la croissance du dépôt s'effectuait atome par atome. L'une des découvertes majeures a été d'augmenter la vitesse de croissance du dépôt en générant en phase vapeur de petits agrégats (paquets de particules), avant de les déposer ensuite sur la surface. On obtient dans ce cas des nanocristaux de silicium (taille de l'ordre de 10^{-9} m) au sein d'une matrice de silicium amorphe. Cette technologie est actuellement en pleine expansion et promet d'importantes augmentations de rendement.

2. Les cellules basées sur des alliages de métaux, qui sont en plein développement. On peut citer : tellure, cadmium (noté Te-Cd), cuivre, indium sélénium (noté CIS) et, plus récemment, cuivre, indium, gallium, sélénium (noté CIGS) [6].

La moquette photovoltaïque

Les moquettes photovoltaïques sont des modules photovoltaïques flexibles et légers, réalisés à partir de revêtements déposés comme nous l'avons vu précédemment, à basse température, avec des méthodes dites à rouleau sur rouleau, qui permettent de couvrir des kilomètres carrés de toiture [Figure 4].



Figure 4 – Maison utilisant des panneaux solaires en silicium amorphe. Source : <http://resosol.org/visites/2002/visite19Houches.htm>

LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES EN VERRE

L'utilisation de plus en plus répandue du verre en architecture explique sans doute le développement actuel des technologies couches minces sur verre. Il existe un exemple d'assemblage de modules de silicium amorphe qui possède un rendement de 6 %. Ce type de module est le résultat de la collaboration

des spécialistes du photovoltaïque avec l'industrie du verre et les industriels du bâtiment. Récemment des modules de très grande taille, de près de 6 m² ont été faits d'un seul tenant !

La filière Te-Cd est en plein développement ; l'entreprise qui l'a développée (*First Solar*) est devenue leader mondial du marché. Ces cellules couches minces atteignent déjà des rendements de 11 % en production industrielle et de 16,5 % en laboratoire. Dans cette technologie, les procédés de dépôts sont extrêmement rapides (de quelques secondes à quelques minutes), ce qui permet d'atteindre des débits de production élevés et donc d'abaisser les coûts de production (7).

Il existe de nombreux exemples d'intégration de ces cellules couches minces sur verre, sur des bâtiments (usines, stade de football...) ou encore des fermes solaires (Figure 5).



Figure 5 – Intégration de cellules photovoltaïques couches minces sur verre ; en haut dans un stade de football (à Vérone, Italie), en bas ferme solaire (en Ontario, Canada).

Ces cellules utilisent des matériaux polycristallins, auxquels les spécialistes du photovoltaïque ne prêtaient pas le moindre intérêt auparavant. Pourtant, connaître la chimie de ces matériaux a permis d'importants progrès : dans la filière CIS

(cuivre, indium, sélénium) par exemple, ils sont la conjonction d'efforts au niveau des matériaux semi-conducteurs (compositions optimisées), de la métallurgie et des technologies couches minces.

La spécificité dans la technique de production des cellules couches minces permet maintenant une grande flexibilité dans les modèles de cellules produites et une grande adaptabilité aux besoins selon le domaine d'application.

REVÊTEMENTS POUR UNE MEILLEURE INTÉGRATION ESTHÉTIQUE DANS L'HABITAT

Pour améliorer l'esthétique architecturale il faut pouvoir s'affranchir de la couleur sombre des panneaux et de disposer d'une palette de couleurs plus large : de premières réalisations concrètes utilisent l'effet d'irisation lumineuse obtenu grâce à des couches supplémentaires déposées sur le module. Cela permet de changer la couleur du panneau et de mieux l'harmoniser à l'environnement extérieur.

LES NOUVEAUX MATÉRIAUX

Les semi-conducteurs performants sans éléments rares

Les semi-conducteurs de la filière CIS (CuInSe₂) utilisent de l'indium, qui est un élément rare (donc cher) ; les chimistes ont donc imaginé un nouveau matériau, Cu₂ZnSnS₄ (Figure 6), auquel on a donné le nom CZTS. Il ne contient pas d'éléments rares et possède potentiellement les mêmes propriétés semi-conductrices que CIS. Il peut devenir dans les prochaines années un matériau phare du photovoltaïque en couches minces à grande échelle.

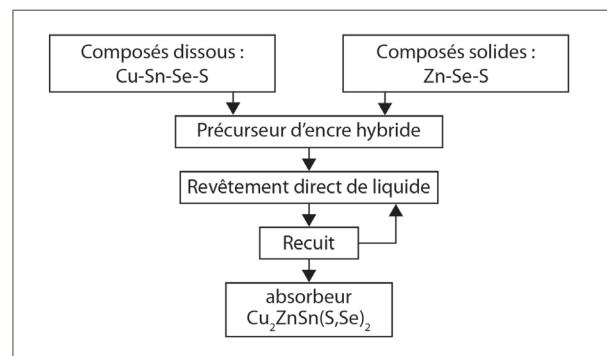


Figure 6 – Méthode de fabrication du nouveau matériau Cu₂ZnSnS₄ en couches minces à partir de procédés chimiques.

Les cellules photovoltaïques à colorants

Ces cellules concrétisent bien l'apport de la chimie dans le domaine du photovoltaïque, non seulement pour les matériaux et les procédés de fabrication, mais aussi au niveau du nouveau concept qui est

ici la photosynthèse ». Le matériau de base est ici une molécule de colorant (8).

LE PHOTOVOLTAÏQUE, VERS L'HABITAT À ÉNERGIE POSITIVE

L'examen du potentiel de développement du photovoltaïque en fonction de la situation géographique, à l'aide de photos aériennes, peut-être couplé aux données météorologiques d'une région, en particulier en milieu urbain. Le développement du photovoltaïque est à associer au développement de l'efficacité énergétique dans l'habitat (9).

Les technologies couches minces offrent donc des palettes exceptionnelles de possibilités, en particulier dans l'habitat, et la chimie est au cœur de ces nouveaux développements, non seulement en termes de procédés mais aussi en termes de nouveaux concepts et donc de nouvelles applications.

POUR EN SAVOIR PLUS

(1) Spectre et composition chimique du soleil (vidéo, 3 min 26)

<http://www.mediachimie.org/ressource/spectre-et-composition-chimique-du-soleil>

(2) Le soleil comme source d'énergie – Le photovoltaïque

<http://www.mediachimie.org/ressource/le-soleil-comme-source-d-energie-le-photovolta-ique-0>

(3) Matériaux pour la conversion photovoltaïque de l'énergie
<http://www.mediachimie.org/ressource/mat%C3%A9riaux-pour-la-conversion-photovolta%C3%AFque-de-l%E2%80%99%C3%A9nergie>

(4) Couches minces et énergie (vidéo, 7 min 27)
<http://www.mediachimie.org/ressource/couches-minces-et-%C3%A9nergie>

(5) La chimie des écrans souples (Chimie et... junior)
<http://www.mediachimie.org/ressource/la-chimie-des-%C3%A9crans-souples>

(6) Les nouvelles filières photovoltaïques (vidéo, 3 min 00)

<http://www.mediachimie.org/ressource/les-nouvelles-fili%C3%A8res-photovolta%C3%AFques>

(7) L'énergie photovoltaïque : verrous et perspectives

<http://www.mediachimie.org/ressource/l-%C3%A9nergie-photovolta%C3%AFque-verrous-et-perspectives>

(8) Élaborer des architectures moléculaires conjuguées pour le photovoltaïque organique
<http://www.mediachimie.org/ressource/e-%CC%81laborer-des-architectures-mole-%CC%81culaires-conjugu-%CC%81es-pour-le-photovolta-ique-organique>

(9) La maison écologique

<http://www.mediachimie.org/ressource/la-maison-%C3%A9cologique>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Noël Baffier, professeur honoraire d'université, ancien directeur des Études de l'École d'Ingénieurs de Chimie Paristech

Patrice Bray, professeur de physique chimie,

Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie