

10. L'énergie solaire

Cahier spécial
La Recherche
réalisé avec
le soutien
de la direction
scientifique de



TECHNOLOGIE

L'énergie solaire,
première source électrique

ÉCONOMIE

L'énergie photovoltaïque
de plus en plus compétitive

SOCIÉTÉ

Plus d'électricité,
moins de CO₂

CHERCHEURS D'ÉNERGIES

*Vue intérieure d'une
façade composée de cellules
photovoltaïques. Bâtiment
Adréam du Laboratoire
d'analyse et d'architecture
des systèmes.*

Tous les deux mois, ce cahier *La Recherche* vous permet de comprendre les défis technologiques, économiques et environnementaux des énergies.

L'énergie solaire, première source électrique

D'ici à vingt ans, l'énergie solaire pourrait devenir l'une des principales sources de production électrique. Les chercheurs et les industriels sont à l'œuvre pour trouver les technologies photovoltaïques performantes et économiquement viables.

inépuisable, disponible, non polluante, l'énergie solaire détient potentiellement toutes les qualités pour satisfaire nos besoins. À l'origine de toutes les autres formes de production, à l'exception du nucléaire, de l'énergie marémotrice et de la géothermie, elle apporte toutes les cinquante minutes de quoi répondre à notre consommation annuelle, soit près de 10 milliards de tonnes équivalent pétrole. «*Les énergies solaires seront dominantes dans la seconde moitié du siècle*», selon Jean-Louis Bal, le président du Syndicat des énergies renouvelables.

Exploiter une part infime de ce potentiel pour produire de l'électricité est devenu un défi majeur. C'est celui relevé par la filière solaire qui connaît partout dans le monde une forte progression avec ses deux grandes familles technologiques : le photovoltaïque, qui convertit directe-

ment les rayons du soleil en électricité, et le solaire thermodynamique, qui recueille l'énergie solaire sous forme de chaleur pour la transformer en énergie mécanique, puis en électricité. La capacité mondiale installée cumulée du photovoltaïque a progressé de 35 % par an depuis 1998 atteignant 69,6 gigawatts (GW) en 2011, selon l'Association européenne de l'industrie photovoltaïque (EPIA), qui se base sur les équipements raccordés au réseau. Sa part dans la consommation mondiale d'électricité est encore faible avec moins de 2 %, mais l'EPIA estime qu'elle pourrait atteindre 14 % à l'horizon 2030 avec une capacité de 1,8 terawatt (TW). Le solaire thermodynamique, plus faiblement développé, comptait en 2011 une capacité installée de 1 475 mégawatts (MW) et 13 700 en projet. Dans ses perspectives à 2050, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) indique, qu'au total

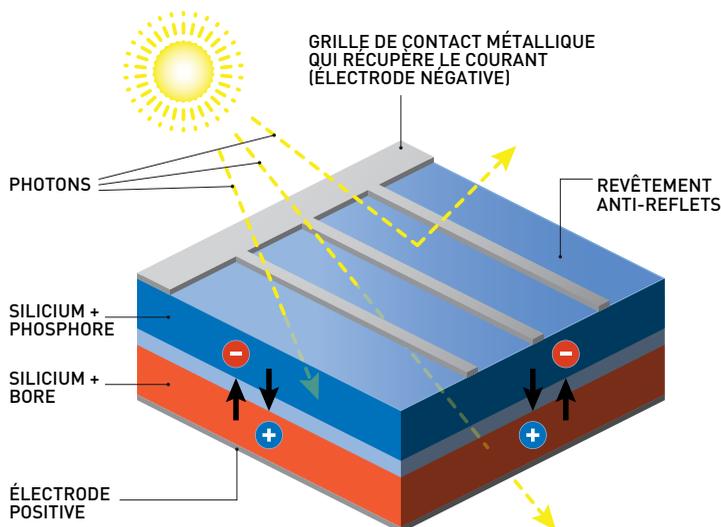
le solaire produira jusqu'à un quart de l'électricité mondiale.

La filière silicium

Toutes les pistes de recherche convergent vers le même objectif : améliorer les rendements (pour le module, la puissance électrique de sortie du module divisée par la puissance lumineuse incidente) des différents composants d'un système photovoltaïque tout en réduisant les coûts de fabrication. En premier lieu, ceux de la cellule, qui convertit la lumière en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur (voir schéma ci-dessous). Aujourd'hui, les cellules conçues sur des plaquettes de silicium de 160 à 200 microns et de 156 x 156 mm² de surface, qui représentent près de 90 % du marché mondial, permettent d'atteindre les meilleurs rendements commerciaux. «*Le silicium est le matériau le plus abondant sur la Terre et possède les qualités physiques les plus attractives*», explique Marc Vermeersch, expert Technologies et Stratégies solaires de Total. Dans cette filière, deux technologies sont en concurrence. La première utilise des plaquettes de silicium monocristallin. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium très pur, formé d'un seul cristal. Le procédé industriel pour l'obtenir est lourd et coûteux, mais il permet de produire des cellules atteignant 20 % de rendement de conversion. Le record en phase industrielle, sur une pièce de 125 x 125 mm², est détenu par SunPower (24,2%). La technologie employée, dite «interdigitée à contacts arrières», consiste à supprimer tout contact électrique sur la face avant de la cellule afin d'en améliorer la performance. La jonction semi-conductrice et les contacts électriques sont placés en face arrière.

Les cellules de silicium multicristallin utilisent, quant à elles, un matériau moins pur et meilleur marché. À l'issue de sa cristallisation, il fournit un bloc de silicium composé de cristaux multiples, unis par des joints de grain, qui amenuisent le rendement des cellules (14 à 16%). Pour obtenir des cellules de silicium cristallin à

LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE



Les cellules photovoltaïques transforment l'énergie solaire en électricité en absorbant la lumière. Les plus répandues sont constituées de deux couches de silicium. L'une, dopée en phosphore, est riche en électrons. L'autre, dopée en bore, présente des trous d'électrons. Le courant électrique est généré lorsqu'une partie des électrons migrent vers le haut et les trous vers le bas.



Installation photovoltaïque sur la Nellis Air Force base dans le Nevada, États-Unis.

haut rendement (plus de 20%) tout en réduisant les coûts de matière, le LabFab HET du Commissariat à l'énergie (CEA) et de l'Institut national de l'énergie solaire (INES) vise une rupture technologique en s'appuyant sur l'hétérojonction.

Associer les matériaux

Ce procédé consiste à créer plusieurs jonctions en empilant des matériaux différents. «*Notre procédé consiste à déposer des couches nanométriques de silicium amorphe sur les faces avant et arrière d'une cellule en silicium monocristallin*, précise Dick Heslinga, le chef du laboratoire. *Nous avons déjà atteint un rendement de 21,3%.*» Le cœur du dispositif est la passivation des surfaces de la plaquette. C'est-à-dire l'amélioration des qualités électroniques en neutralisant les effets de ses défauts électriquement actifs. En outre, le silicium amorphe, qui n'est pas cristallisé, absorbe 100 fois plus de lumière que le silicium cristallin. Paral-

lèlement aux technologies de cellules fabriquées à partir de plaquettes de silicium, les chercheurs et les industriels développent l'approche par couches minces. «*Le découpage des plaquettes dans les blocs de silicium génère environ 30% de perte de matériaux. Avec les techniques de revêtement de couches minces, nous les éliminons*», explique Daniel Lincot, le directeur de l'Institut de recherche et développement de l'énergie photovoltaïque (IRDEP). Il en résulte un avantage sur les coûts de production avec un nombre réduit d'étapes et des économies de matière.

Les couches minces sont obtenues à partir de procédés physicochimiques de dépôt : évaporation, pulvérisation cathodique, dépôt chimique en phase vapeur. Les couches de matériaux, d'une épaisseur maximale de 2 microns sont déposées sur un substrat de verre ou souple. Empilées, elles forment une structure multijonction qui permet d'exploiter les qualités des différents matériaux.

Les couches minces regroupent deux familles principales. La première utilise le tellure de cadmium, peu abondant et potentiellement toxique pour l'environnement. L'allemand First Solar en est le leader mondial. La seconde s'appuie sur un alliage de cuivre, d'indium et de sélénium (CIS). En ajoutant du gallium, on obtient des cellules de type CIGS. La filière CIS et CIGS est confrontée à la disponibilité de ses deux composants essentiels : l'indium, qui est abondamment utilisé par les fabricants d'écrans plats, et le gallium, dont les ressources sont limitées. Toutefois, le CIS et le CIGS partagent des qualités optiques qui procurent une très bonne absorption de la lumière, même en faible quantité. Les modules obtenus à partir de CIS et de CIGS ont des rendements de 10 à 14,5% et occupent aujourd'hui quelques pourcents du marché.

Depuis quelques années, les chercheurs explorent de nouveaux concepts pour augmenter les rendements à coûts constants. Notamment au sein de l'IRDEP. «*Nous pensons obtenir dans le futur des cellules à très haute performance, plus de 30%, à partir d'une seule jonction au lieu des multijonctions actuelles*, déclare Daniel Lincot. *Grâce aux techniques de l'optique, nous agissons sur la lumière.*» L'opération consiste à convertir la longueur d'onde des photons pour ajuster le spectre de la lumière aux caractéristiques du matériau utilisé.

Concentrer la lumière du soleil

Autre voie pour augmenter la puissance des cellules photovoltaïques et en réduire la taille : concentrer la lumière du soleil à partir d'un miroir parabolique ou d'une lentille de Fresnel. Aujourd'hui, elle permet de concevoir des modules avec des rendements de 30%. Le dispositif pour atteindre ces niveaux de performance est complexe. D'une part, les modules doivent être équipés d'un système de pointage pour conserver une >>>

◆ PRODUIRE DE L'ÉNERGIE AVEC DES CELLULES ORGANIQUES

La filière photovoltaïque organique (OPV) sur couches minces utilise comme semi-conducteurs des polymères transparents ou une macromolécule organique, comme un colorant organique. Leur coefficient d'absorption étant très important, les composants organiques peuvent être étalés sur de très faibles épaisseurs et des supports flexibles. La technologie doit relever deux défis principaux : augmenter le rendement des cellules et allonger leur durée de vie (environ 1 000 heures). L'INES travaille à la réalisation d'une cellule organique polymère à double absorption pour étendre le spectre lumineux. «*En laboratoire, nous avons atteint un rendement de 7%*», indique Rémi de Bettignies, animateur de la filière OPV. La société Konarka, aux États-Unis, avait atteint quant à elle un rendement certifié de 9,2%. Le point théorique se situe entre 12% et 14%. Le dépôt du polymère sur la cellule est réalisé par voie humide (par impression jet d'encre ou par enduction). Une autre technologie est possible, la vaporisation sous vide de macromolécules. Pour être efficace, la cellule doit être protégée de l'eau et de l'air tout en laissant passer la lumière. «*Le verre flexible est aujourd'hui la meilleure barrière, mais il est trop cher*, explique Rémi de Bettignies. *De notre côté, nous travaillons sur un film plastique composé d'un multicouche organique/inorganique. Les modules peuvent avoir une durée de vie de plus de dix ans.*»

>>> position optimale face aux rayons solaires. L'objectif est de maximiser la production d'électricité tout au long de la journée. D'autre part, il faut réguler les flux de chaleur pour ne pas altérer les cellules. Parmi les sociétés présentes sur cette technologie destinée aux centrales photovoltaïques au sol, l'allemande Concentrix Solar (groupe Soitec) et Heliotrop, une jeune entreprise française qui développe une technologie à haute concentration (1 024 fois la lumière du soleil) alors que les standards industriels sont inférieurs à 700. Heliotrop s'appuie sur une cellule triple jonction couche mince à base de germanium, peu sensible à la chaleur. L'enjeu pour la start-up est de «fabriquer un système à des coûts compétitifs en appliquant des méthodes industrielles déjà éprouvées en dehors du secteur photovoltaïque comme l'automobile», précise Paul Bellavoine, directeur général d'Heliotrop.

Des modules plus performants

Dans un dispositif photovoltaïque, la productivité se gagne aussi dans les modules. Pour limiter les pertes de ren-

dement causées par des défaillances (panne, ombrage...), le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS, une unité du CNRS) a développé une approche système qui permet d'évaluer et de moduler les baisses de performance au niveau des cellules, des modules et des onduleurs qui transforment le courant continu du photovoltaïque en courant alternatif pour l'intégrer au réseau. «Nous travaillons sur de nouvelles interconnexions de cellules, de modules et d'architectures électriques afin d'augmenter globalement les performances énergétiques des systèmes photovoltaïques», précise Corinne Alonso, responsable des travaux de recherche sur les architectures de conversion en énergie au sein du LAAS. Ainsi, certains systèmes dotés d'électronique innovante pourraient présenter dans le futur des gains énergétiques importants pouvant aller jusqu'à 40%, en milieu urbain, tout en allongeant la durée de vie de ces installations. Participant ainsi à la compétitivité de la filière et à la rendre plus mature vis-à-vis des autres filières énergétiques. ♦

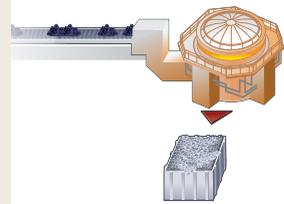
Des centrales thermodynamiques à haut rendement

L'énergie solaire produite à partir de centrales thermodynamiques devrait devenir la première source d'électricité d'ici à 2050, selon l'AIE. Le scénario concerne plus particulièrement les régions et les pays chauds. Car pour fonctionner, elles nécessitent un ensoleillement moyen annuel d'au moins 2 000 kWh/m², un temps clair et un climat sec. L'Espagne et les États-Unis ont le plus investi dans la technologie. Mais les pays du nord de l'Afrique, du Proche et Moyen-Orient, et l'Inde misent sur ces centrales pour les substituer aux énergies fossiles. D'une puissance de plus de 300 MW pour les plus grandes, elles peuvent fonctionner toute une journée à condition d'être équipées d'une unité de stockage et surdimensionnées afin d'alimenter cette unité en énergie qui sera restituée la nuit.

Ainsi, l'alimentation continue du réseau est garantie. La majorité de la puissance installée dans le monde provient de centrales à miroirs paraboliques. Tournant autour d'un axe horizontal, ils concentrent la lumière sur un tube dans lequel circule un liquide caloporteur, de l'huile, qui atteint une température de 400 °C. Pour l'augmenter ou la maintenir, le cycle peut être combiné avec du gaz brûlé dans un échangeur. Cette technologie hybride est notamment utilisée dans le complexe Shams, près d'Abu Dhabi, construit par Total et l'espagnol Abengoa. La première tranche, Shams 1 est dotée de 768 miroirs paraboliques sur une surface de 2,5 km² d'une puissance de 100 MW. L'un des enjeux de la filière thermodynamique est de baisser de façon importante le coût de l'électricité ainsi produite.

Dans cette course, les centrales à tour sont les mieux positionnées. Elles sont constituées de miroirs orientables qui concentrent la lumière sur un récepteur métallique situé sur une tour de plus de 100 mètres de haut. Avec un facteur de concentration de lumière de 1 000, elles chauffent le liquide caloporteur, le plus souvent du sel fondu, de 600 à 1 000 °C. Le plus grand complexe européen de centrale à tour est en cours de construction au sud de l'Espagne. En France, des recherches sont menées dans le cadre du projet Pegase, dans le but de concevoir des centrales solaires à tour à haut rendement.

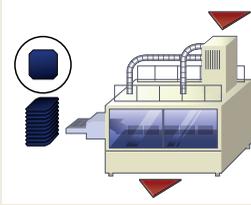
DU SILICIUM AU MODULE



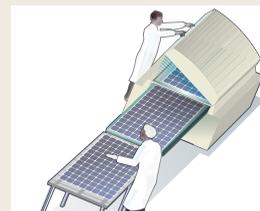
1 - Le silicium est obtenu à partir d'un procédé électrometallurgique : un mélange de quartz, charbon et bois est porté à ultra haute température dans un four. Pour être de qualité solaire, il est ensuite transformé par un procédé chimique qui le purifie à 99,999 %. Le silicium monocristallin est obtenu par croissance ou étirage d'un lingot cylindrique à partir d'un monocristal. Le point de fusion est atteint à 1 414 °C.



2 - Après une journée de refroidissement, on obtient des lingots qui sont découpés en blocs. Ces blocs sont eux-mêmes tranchés en plaquettes (ou «wafers») très fines par des scies au carbure de silicium ou au diamant. Les plaquettes peuvent alors subir une première série de traitements pour éliminer les défauts de surface.



3 - Les wafers subissent à nouveau plusieurs transformations. D'abord, ils sont plongés dans un bain de texturation afin d'améliorer l'absorption par piégeage optique du rayonnement solaire. Ensuite, ils sont passés dans un four à 800 °C et reçoivent du phosphore ou du bore afin de doper le silicium semi-conducteur. Enfin, un circuit électrique est imprimé à la surface, ce qui permettra de transférer le courant généré.



4 - Le module est constitué de plusieurs cellules assemblées, soudées et interconnectées. Pour le protéger, le système est encapsulé entre deux feuilles de résine, recouvert d'un verre et d'un film étanche. Équipé d'une boîte de jonction, le module pourra être raccordé au réseau électrique.

L'énergie photovoltaïque de plus en plus compétitive

Très développé en Europe, le photovoltaïque progresse désormais fortement dans les pays en voie de développement. Grâce à la baisse des coûts de production, la technologie permettra à brève échéance de produire une électricité à des prix compétitifs.

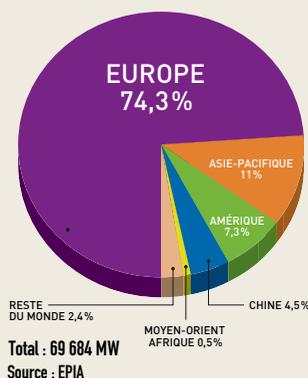
Partout dans le monde, le solaire photovoltaïque connaît une forte progression. Grâce aux soutiens publics, sous forme d'aides aux investissements et de rachat de la production d'électricité injectée dans le réseau, les puissances installées cumulées ont fortement augmenté, mais en 2011 elles étaient encore concentrées à 75 % en Europe, selon l'Association européenne de l'industrie photovoltaïque (EPIA). Les Régions Asie-Pacifique et Amérique sont les deux autres principaux marchés. Pour poursuivre son développement, la technologie doit encore améliorer sa compétitivité face aux autres énergies renouvelables et aux modes de production classiques (charbon, gaz et nucléaire), selon *Energy Intelligence*. En Europe, si l'on se réfère aux coûts de production, avec 183 dollars/MWh, le photovoltaïque est encore nettement plus cher que les technologies classiques (nucléaire, centrale à gaz à cycle combiné, charbon, voir infographie). Aux États-Unis, où le prix du gaz est très bas, l'écart est supérieur. Le photovoltaïque est aussi plus cher que les autres énergies renouvelables. Il est toutefois dépassé par le solaire thermodynamique

(291 dollars). Un autre critère est retenu pour évaluer sa compétitivité, la «parité réseau». Elle est atteinte lorsque le consommateur paie l'électricité issue du photovoltaïque à un prix égal ou inférieur à l'électricité classique, hors subventions. Plusieurs facteurs entrent en jeu : la situation d'ensoleillement, le prix de l'électricité, les politiques de soutien et les coûts de fabrication des équipements. «L'intérêt économique du photovoltaïque est différencié selon les régions, précise Bernard Salha, le directeur de la recherche d'EDF. Il est déjà compétitif en Californie.» Cet État américain bénéficie en effet d'un fort ensoleillement, d'un prix élevé de l'électricité et d'une consommation qui correspond aux pics de production. Le cabinet

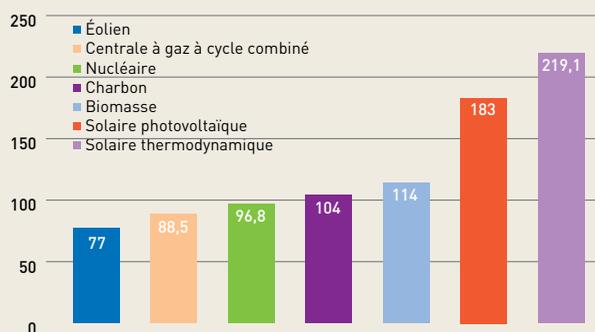
d'études GlobalData prévoit que la parité réseau sera atteinte dans la plupart des États américains d'ici à 2017. En Europe, l'EPIA estimait en 2011 que l'Italie serait le premier pays à l'atteindre en 2016 pour le secteur résidentiel. Mais cette notion, et les éléments qui la composent, ne fait pas l'unanimité. Bernard Salha considère ainsi qu'elle n'est pas adaptée car «elle ne prend pas en compte les coûts de gestion de l'intermittence du réseau et de la nécessité de disposer d'un moyen d'alimentation lorsqu'il n'y a pas de soleil». Chaque année, le photovoltaïque améliore son attractivité. D'une part, grâce aux progrès technologiques et aux économies d'échelle qui génèrent une baisse des prix des modules de 20 %,

à chaque fois que la production double. D'autre part, depuis 2008, en raison d'une forte concurrence marquée par l'arrivée sur le marché mondial des fabricants chinois positionnés sur la technologie silicium. «En Europe, le prix de gros des modules chinois atteint 0,50 euro le Wc (Watt-crête) alors que la moyenne se situe plutôt autour de 0,70 euro. Le prix était d'un euro en 2010. Cette évolution ne correspond pas à la baisse des coûts», indique Jean-Louis Bal, le président du Syndicat des énergies renouvelables. Conséquence : «Dans le monde, il y a deux fois plus de capacité que de demande. Quelques années seront nécessaires avant que le déséquilibre du marché ne se résorbe», explique Arnaud Chaperon, directeur Prospectives Énergies nouvelles de Total. Cette compétition a entraîné une profonde recomposition du marché, avec des défaillances d'entreprises et des rapprochements, en Europe, mais également dans le reste du monde. ♦

◆ RÉPARTITION DES CAPACITÉS CUMULÉES EN 2011, DANS LE MONDE, EN %



◆ LE COÛT DE PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ* PAR TECHNOLOGIES, EN EUROPE (EN DOLLARS/MWH)



*Calculé selon la méthode LCOE, coûts de production tout au long du cycle de vie. Source : Energy Intelligence, mai 2012

Plus d'électricité, moins de CO₂

En se développant, les énergies solaires vont contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Et à toucher les populations qui n'ont pas encore accès à l'électricité pour les tâches de la vie quotidienne.

L'électricité produite à partir de l'énergie solaire peut jouer un rôle déterminant dans la réalisation des objectifs internationaux de réduction d'émissions de CO₂. Ne rejetant aucun gaz à effet de serre en fonctionnement et, compte tenu de son rythme de développement, elle en serait la principale contributrice au sein des énergies renouvelables. Ces dernières apporteraient près d'un quart de l'effort à fournir pour limiter à 2 °C le réchauffement climatique en 2035, selon le scénario de l'AIE.

Consommer moins d'énergie

Néanmoins, l'impact global de l'électricité d'origine solaire sur le climat est perfectible. Car les équipements pour la produire sont, quant à eux, énergivores. «*Le temps de retour énergétique d'un système photovoltaïque est à la baisse. Il varie d'un an à deux ans et demi selon la technologie*», précise Yvonnick Durand, ingénieur R&D Photovoltaïque de l'Agence de développement de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Cette unité de mesure évalue la durée nécessaire à une installation pour produire autant d'énergie qu'elle en consomme dans sa phase de fabrication. Dans la filière silicium, leader du marché, près de la moitié du temps de retour énergétique est prise par les matériaux et leur transformation à de très hautes températures pour concevoir les cellules. De nombreuses voies sont étudiées pour augmenter les performances : diminuer la taille des plaquettes de silicium, purifier les matériaux à de plus faibles températures... L'INES travaille sur l'amincissement des plaquettes de silicium et la limitation des pertes lors de l'opération de découpe. La solution : remplacer le fil métallique traditionnel par un fil de diamant. Le développement des tech-

nologies de cellules couches minces doit également permettre d'alléger les procédés industriels lourds.

Utiliser les déchets industriels

Les centrales thermodynamiques bénéficient d'un temps de retour énergétique plus court, de l'ordre d'une année selon la taille des installations, la localisation et la technologie, mais peuvent encore améliorer leurs performances. Aussi, deux maillons de la chaîne sont particulièrement visés. Le premier, la consommation d'eau qui sert au nettoyage des miroirs et au refroidissement du cycle de production. Elle est conséquente pour les grandes centrales. Mais des solutions existent, comme, par exemple, agir sur les miroirs avec des traitements antisalissure ou en les nettoyant à partir d'un champ électrostatique. Des méthodes exploratoires et coûteuses. Second maillon, les matériaux utilisés pour stocker l'énergie, des sels fondus à base de nitrate. En conflit avec d'autres usages, comme la fabrication des engrais, les quantités disponibles pourraient venir à manquer et coûter plus chers si les prévisions de l'AIE se réalisaient. C'est pourquoi le laboratoire Promes teste des matériaux de substitution, les déchets industriels vitrifiés. «*Au départ, notre démarche était environnementale*», indique Gilles Flamant, son directeur. Ces déchets vitrifiés doivent répondre à des impératifs techniques : démontrer des capacités de stockage, résister aux hautes températures et à leur variation dans le cycle thermique. Promes explore plusieurs alternatives : le béton, les cendres issues des centrales à charbon et des matériaux amiantés.

Organiser le recyclage

L'enjeu environnemental des énergies électriques solaires se joue aussi

à l'étape du recyclage. Dans le photovoltaïque, la durée de vie des installations étant d'au moins vingt-cinq ans, le volume de modules solaires à traiter est encore faible. Les techniques pour traiter les matériaux utilisés existent mais peuvent encore être améliorées. Reste à organiser la filière. En Europe, les panneaux solaires sont soumis à la directive 2002/96/CE, qui oblige les fabricants à prendre en charge le coût de ramassage et de recyclage des appareils électriques et électroniques en fin de vie. Les industriels se sont organisés autour de l'association PV Cycle qui organise la collecte et le recyclage des modules à l'échelle européenne.

Des bâtiments autonomes

La contribution du photovoltaïque à la réduction des émissions de gaz à effet de serre s'étend également aux constructions. Insérée dans l'enveloppe d'un bâtiment, la technologie contribue à le rendre autonome, pour





Dans le monde, 20% de la population n'ont pas d'électricité. Le programme Access to energy propose de petites installations photovoltaïques décentralisées pour s'éclairer ou brancher des appareils de recharge de batteries. Comme ici en Indonésie.

l'éclairage ou le chauffage, en participant au système de climatisation. Le photovoltaïque est intégré aux travaux de recherche menés au sein du Laas (Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes), près de Toulouse, dans le cadre du projet Adream (Architectures dynamiques reconfigurables pour systèmes embarqués autonomes mobiles), un bâtiment intelligent et autonome doté d'une verrière contenant 720 m² de panneaux solaires avec un objectif de puissance de 40 kWc. Le tout en maintenant les conditions de confort, en termes de température et de luminosité intérieure.

Réduire la fracture énergétique

Les propriétés de la filière photovoltaïque permettent aussi de marier les préoccupations environnemen-

tales et sociales. Selon l'Agence internationale pour l'énergie (AIE), plus de 20% de la population mondiale, soit 1,4 milliard de personnes, n'ont pas accès à l'électricité, principalement en Afrique. Le photovoltaïque décentralisé est utilisé pour amener l'électricité à des populations pauvres, isolées et dépourvues d'infrastructures. Il est également destiné à remplacer des solutions polluantes comme les lampes à kérosène, les appareils qui fonctionnent avec des piles jetables... Parmi les initiatives privées lancées, le programme Access to energy, de Total. « Il s'agit d'un incubateur de projets destiné à commercialiser des solutions énergétiques efficaces et abordables pour les populations vivant avec moins de 10 dollars par

Le bâtiment expérimental Adream, conçu par le Laas près de Toulouse, intègre une façade et une toiture photovoltaïques contribuant à le rendre énergétiquement autonome.

jours», précise Robinson Alazraki, responsable des achats et du développement des nouveaux produits Total Access to energy. L'équipement est vendu entre 10 et 90 dollars avec une garantie de 1 à 2 ans et fonctionne de 4 à 6 heures pour éclairer, recharger des petits appareils comme un téléphone, brancher une radio... Des solutions de microfinancement sont étudiées pour en faciliter l'achat. Concrètement, le dispositif comprend un petit panneau solaire (10x15 cm) composé de cellules de silicium multicristallin d'une durée de vie d'au moins dix ans, une ampoule LED faiblement consommatrice et une batterie lithium-ion, résistante à la chaleur. Des filières de recyclage sont en cours de constitution localement et en Europe via un rapatriement dans les circuits déjà en place.

Trois pays pilotes sont concernés à ce jour : le Kenya, le Cameroun et l'Indonésie. En 2011, 50 000 solutions solaires y ont été distribuées et vendues avec un objectif de 150 000 unités cette année, avec de nouveaux pays, et d'un million d'ici à 2015, pour toucher 5 millions de personnes. Le programme pourrait s'étendre à des équipements plus sophistiqués pour éclairer des lieux publics comme les écoles, voire proposer des fours de cuisson améliorés contribuant ainsi à lutter contre la déforestation.

La production de l'électricité à partir des technologies solaires pourrait également trouver des applications industrielles dans les régions pétrolières et réduire les émissions de CO₂. « Les centrales thermodynamiques construites dans les zones désertiques peuvent servir à chauffer le pétrole lourd au fond des gisements et ainsi le fluidifier », indique Arnaud Chaperon, directeur Prospectives énergies nouvelles de Total. ♦



Ce cahier spécial **La Recherche** a été réalisé avec le soutien de la direction scientifique de **TOTAL**

Comité éditorial :

Jean-François Minster, Total - Olivier Appert, IFP Énergies nouvelles - François Moisan, Ademe - Bernard Salha, EDF - Bernard Tardieu, Académie des technologies - Marc Florette, GDF SUEZ - Jean-Michel Ghidaglia, La Recherche.

Rédaction :

Thierry del Jésus

Conception graphique et réalisation :

A noir,

Crédits photographiques :

CNRS Photothèque/Cyril Fresillon, SunPower CORP, Laurent Zylberman, DR

Retrouvez ce cahier spécial en français et en anglais sur le site

planète-energies.com
une initiative de **TOTAL**