



## CONTACT

**SULFURCELL Solartechnik GmbH**  
Groß-Berliner Damm 149  
D-12487 Berlin  
Tél.: +49 (0)30 46 77 77 – 0  
Fax: +49 (0)30 46 77 77 – 400

**Courriel :** [info@sulfurcell.de](mailto:info@sulfurcell.de)  
[www.sulfurcell.com](http://www.sulfurcell.com)



A low-angle photograph of a modern building's facade, showing a grid of dark solar panels and white structural elements against a bright blue sky with scattered white clouds. A teal horizontal band is overlaid across the middle of the image, containing text.

## CONSTRUIRE DU SOLAIRE AVEC SULFURCELL: DES SOLUTIONS PLEINES DE STYLE

Modules solaires à couches minces en semi-conducteurs CIS

A vertical legend on the left side of the page, consisting of three colored bars: yellow, light green, and teal.

- CONSTRUCTION SOLAIRE
- DURABILITÉ
- TECHNOLOGIE





Madame,  
Monsieur,

Nous vivons une époque passionnante. Le marché de l'énergie bouge comme jamais. Les prix des marchés des matières premières varient énormément et le changement climatique nous met face à de tout nouveaux défis. Les solutions autres que les sources d'énergies fossiles sont donc plus importantes que jamais. Le photovoltaïque (production d'électricité grâce à la lumière solaire) constitue la source d'énergie du futur. Le photovoltaïque, en effet, livre des réponses aux questions urgentes qui touchent l'industrie et la société : comment faire le lien entre une production d'énergie écologique et la tendance à vouloir construire de manière écologique ? Comment, dans l'emploi des énergies renouvelables, surmonter

les contradictions apparentes liées au caractère fonctionnel, à l'esthétique et à la rentabilité ? Et comment trouver sur un marché si dynamique des produits qui ont fait leurs preuves et allient innovation et qualité à un prix abordable ? C'est justement là que Sulfurcell propose des solutions qui ont force de conviction. Etant l'un des producteurs phares des modules solaires à couche mince en semi-conducteurs CIS, Sulfurcell représente la pointe de la technologie solaire. Au fil des pages qui suivent, je vous invite à vous faire votre propre idée de la forme que peut prendre l'avenir du photovoltaïque.

En 2005 déjà, Sulfurcell a mis ses modules solaires sur le marché et depuis, s'est fait une clientèle nombreuse d'utilisateurs de modules solaires. Nos spécialistes de renom (IBC SOLAR, Krannich und Energiebau), témoignent de la qualité étudiée qui fait ses preuves depuis des années. Nous ne restons pas figés sur place, mais nous continuons à développer nos produits jour après jour. Notre vision de l'avenir basée sur l'énergie solaire prend ainsi forme. Nos solutions solaires basées sur les semi-conducteurs CIS ne sont pas seulement forts en termes de rendement, mais regorgent également de potentiel à développer.

Nos progrès font également sensation sur la scène internationale. En 2008, des investisseurs renommés qui investissent dans la technologie, comme Intel Capital et comme le BEUFonds (porté par Gaz de France Suez et Vattenfall Europe), ont mis à notre disposition un financement pour favoriser la croissance d'un montant de 85 millions d'euros. Nous nous servons de ce capital pour augmenter nettement les capacités de production et nous lancer dans la production en grande série. Et avant tout, nous poussons à la coopération entre une production d'énergie durable et une architecture solaire attrayante. La construction de notre unité de production et le fait que le bâtiment administratif soit autonome d'un point de vue énergétique en sont un bon exemple. Mais voyez plutôt par vous-même.

Cordialement,



Votre dévoué Dr Nikolaus Meyer  
Directeur et fondateur de la société  
SULFURCELL Solartechnik GmbH





L'équipe dirigeante de Sulfurcell : Dr Axel Neisser, Martin Beck, Henrik Krüpper (CSO), Dr Nikolaus Meyer (CEO),  
Dr Rüdiger Stroh (COO), Birgit Grüner, Ulfert Rühle

## LA CROISSANCE PAR L'INNOVATION

### La société SULFURCELL Solartechnik GmbH

Sulfurcell développe et produit des modules solaires à couche mince de grande qualité pour la production d'énergie photovoltaïque. Cette entreprise sise à Berlin s'est spécialisée dans la famille de matériaux des semi-conducteurs de chalcopryrite à laquelle appartiennent le CIS (Cuivre-Indium-Sulfure) et le CIGSe (Cuivre indium gallium séléniure) – tous deux appelés également « semi-conducteurs CIS ». Les chalcopryrites sont des minéraux comme ceux que l'on trouve dans la nature qui font partie de la catégorie des sulfures. La force d'innovation de Sulfurcell repose sur ces semi-conducteurs. Le nom de sa catégorie de minéraux a donc été intégré au nom de l'entreprise.

Sulfurcell, est une société dérivée de l'institut Hahn-Meitner de renom sis à Berlin (aujourd'hui Centre Helmholtz de Berlin pour les Matériaux et l'Energie), le laboratoire de recherche sur la photovoltaïque en couche mince le plus important d'Europe. La société a réussi à passer du travail de recherche de pointe à l'application industrielle. Depuis 2005, des modules commerciaux sont produits et vendus. Les clients de Sulfurcell ont très rapidement appris à apprécier ce nouveau produit et les avantages qu'il présente. La confiance s'est installée au fil du temps ; ce qui fait que les modules Sulfurcell sont de plus en plus utilisés dans les centrales et applications diverses. Le nouveau siège principal (3 000 m<sup>2</sup>) et l'atelier de production (17 000 m<sup>2</sup>) ont été achevés en octobre 2009. Il y sera produit chaque année des modules solaires d'une puissance totale pouvant atteindre 35 mégawatts.

Les modules solaires en semi-conducteurs CIS offrent de grandes possibilités de développement. Sulfurcell avait déjà constamment amélioré ce matériau par le passé et a fait breveter ses innovations. Alors que le rendement des premiers modules solaires s'élevait encore en 2005 à 5 %, il avait déjà augmenté en 2008 jusqu'à des rendements pouvant atteindre 8 %. Les résultats de laboratoire montrent que le potentiel est encore loin d'avoir été épuisé. Dès aujourd'hui, les semi-conducteurs CIS obtiennent en laboratoire des rendements de 20 % et sont ainsi bien supérieurs à tous les autres matériaux employés pour les modules solaires à couche mince. Sulfurcell investit par conséquent en grande partie dans le développement du domaine des semi-conducteurs CIS.

L'équipe de Sulfurcell poursuit ses objectifs technologiques avec expertise et passion. Parmi les plus de cinquante technologues travaillant chez Sulfurcell, on compte des scientifiques ayant une longue expérience dans le CIS, des ingénieurs de l'industrie électronique et des semi-conducteurs, tout comme des spécialistes de la construction solaire. Notre passion est de rendre l'énergie solaire de plus en plus intéressante en l'innovant.

Sulfurcell sait concrétiser l'exigence de qualité « Made in Germany » grâce à son expérience et à ses produits dûment mûris : l'entreprise propose des produits qui se distinguent par leur stabilité durable, un rapport qualité prix attrayant et un aspect de grande qualité. Les modules solaires conviennent à l'emploi comme éléments visibles d'un bâtiment. Aujourd'hui, on les utilise déjà comme matériau traditionnel. Sulfurcell offre une nouvelle dimension à la construction : économique, durable et esthétique par excellence.



#### L'exemple de la nature

Sulfurcell utilise des semi-conducteurs CIS qui ressemblent au minéral naturel qu'est la chalcopryrite (Photo : Lapis/ Editions Christian Weise, Munich).

## LA CROISSANCE PAR L'INNOVATION

### Comment tout a commencé

Sulfurcell a été créée en juillet 2001 par Nikolaus Meyer – l'actuel président-directeur de l'entreprise – et ses collègues de l'institut Hahn-Meitner. Les fondateurs de l'entreprise ont saisi leur chance pour appliquer la nouvelle découverte qu'est la technologie des couches minces aux modules solaires (au niveau industriel). Et ils ont démarré de la sorte une histoire à succès qui dure encore aujourd'hui.

En 2004, l'installation de production a été mise en service. Un an plus tard, Sulfurcell a présenté un premier proto-

type et fin 2005 déjà, la production et la distribution commerciale de module ont pu commencer. Depuis son entrée sur le marché, cette entreprise berlinoise a largement augmenté ses capacités de production. Début 2010, 75 000 modules solaires ont déjà été vendus et installés. Sulfurcell fait depuis partie des trois producteurs les plus importants de modules solaires CIS dans le monde entier. L'entreprise a été primée plusieurs fois pour sa recherche et son développement de pointe (entre autres, par le prix de l'innovation Berlin-Brandebourg 2006).



Sulfurcell est une entreprise jeune très prometteuse qui maîtrise une technologie très innovante. Le vaste savoir-faire technologique de ses collaborateurs, couplé à un plan de développement ciblé, peut laisser supposer que Sulfurcell deviendra un fabricant de photovoltaïque allemand important. Sulfurcell contribue de la sorte à ce que l'Allemagne continue de jouer à l'avenir dans la cour des grands en matière de photovoltaïque.

**Gerhard Stryi-Hipp, responsable de la politique énergétique à l'Institut Fraunhofer für Solare Energiesysteme ISE (Institut Fraunhofer pour les systèmes à énergie solaire)**  
Membre du conseil de surveillance de la société Sulfurcell Solartechnik GmbH







#### Le comité de surveillance de SULFURCELL Solartechnik GmbH (g.à.d.)

Raoul Arvengas, **Gaz de France Suez, Paris**  
Gerhard Stryi-Hipp, **Institut Fraunhofer pour les systèmes énergétiques solaires, Fribourg**  
Kalman Kaufman (président), **entrepreneur, Tel Aviv**  
Dr Stefan Beyer, **Ventegis Capital, Berlin**  
Alex Betts, **Climate Change Capital, London**  
Heiko von Dewitz (observateur), **Intel Capital, Munich**  
Christof Sagasser (sans illustration), **Vattenfall Europe, Berlin**

## Du projet-pilote à la production de masse

La compétence technique et le développement sérieux de l'entreprise, tout comme la demande globale en augmentation de modules solaires ont convaincu des investisseurs financiers de renom : ceux-ci ont mis à disposition de Sulfurcell un financement digne de croissance à concurrence de 85 millions d'euros en juillet 2008. Le groupe d'investisseurs et de partenaires comprend des acteurs d'envergure de cette branche : le producteur californien de puces Intel a participé via Intel Capital (Santa Clara) ; Climate Change Capital (Londres) est l'un des groupes leaders de banques d'investissement qui investit dans les énergies propres et l'économie à faible émission de CO<sub>2</sub> ; le fonds environnement-énergie de Berlin (Berliner Energie Umweltfonds) est soutenu par la troisième plus grande entreprise énergétique d'Allemagne, Vattenfall Europe et par la branche allemande du groupe Gaz de France Suez, leader français dans le domaine de l'énergie ; participent également Ventegis Capital (Berlin), Demeter (Paris), Zouk (Londres), AIG (Zurich), Bankinvest (Copenhague), Engelbert Giesen (Berlin) et Masdar Clean Tech Fund (Abu Dhabi).

Ce nouveau capital a été tout autant investi dans la construction d'une nouvelle usine de production établie à Berlin-Adlershof que dans la recherche. Avec sa nouvelle usine, Sulfurcell augmente dans un premier temps sa capacité de production pour atteindre 35 mégawatts (MW) et passera ensuite à 75 MW : son entrée dans la production de masse est une réussite.

## Le personnel – le capital le plus important

Notre entreprise doit en premier lieu sa réussite à ses 200 employés actuels (situation au mois de mai 2010). Des technologues hautement qualifiés, des techniciens et employés à la production contribuent au développement constant de Sulfurcell et de ses produits.

Une équipe réduite dans l'administration et les ventes garantit un service sans problème et représente pour nos partenaires et clients un interlocuteur compétent. Ils ont en commun d'être mus par la passion des solutions solaires d'avenir. La passion de la technique et leur sens de la collégialité les amènent à se rallier pour former une équipe qui gagne et donne sa marque à Sulfurcell. Ceci constitue une base solide pour la croissance des années à venir. Sulfurcell prévoit donc de doubler les effectifs et avant tout celui des ingénieurs et des scientifiques. Ce n'est en effet que si ses employés, hommes et femmes, sont très qualifiés et motivés que Sulfurcell continuera à croître à l'avenir, et aussi grâce à sa grande force d'innovation.



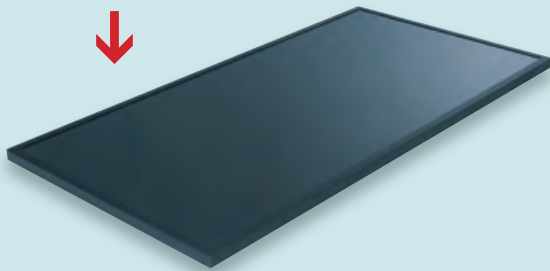
## DÉFIS ET BUTS

### PHASE 1: 2003-2005

SCALE-UP

**2003**

Module de laboratoire de l'Institut Hahn-Meitner (5 cm x 5 cm)



**2005**

Premiers modules solaires de Sulfurcell (125 cm x 65 cm)

## LA DURABILITÉ VÉCUE

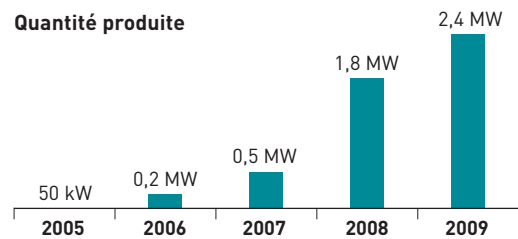
### Le nouveau centre de production de Sulfurcell

Sulfurcell s'oriente aussi sur les valeurs de gestion durable lorsqu'il s'agit de prendre des décisions pour l'entreprise. En 2008, l'entreprise a été l'une des premières à signer « le Klimabündnis (association pour le climat) de Berlin ». Sulfurcell s'engage (en coopération avec la ville et avec douze autres entreprises de renom) à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> à Berlin : ils veulent les avoir réduits de plus de 40 % entre 1990 et 2020. Pour les employés et la direction en effet, la protection du climat fait partie de la responsabilité de l'entreprise. Ils ont contribué à l'extension des capacités de production de Sulfurcell à Berlin-Adlershof. Le taux de production

### PHASE 2: 2005-2009

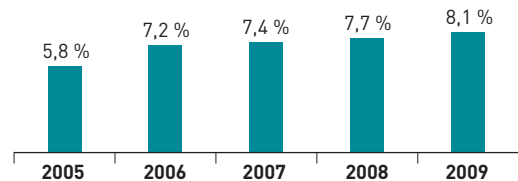
INDUSTRIALISATION

#### Quantité produite



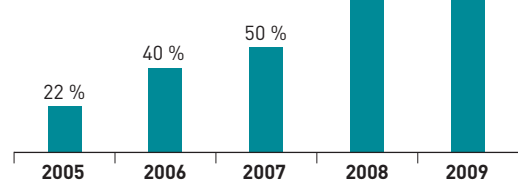
#### Rendement moyen

Surface d'ouverture: 1,20 m x 0,60 m



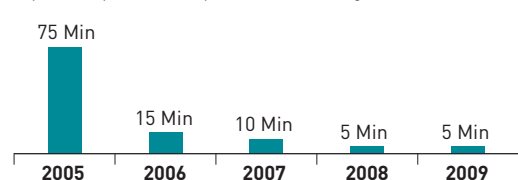
#### Coefficient d'efficacité

Output modules / Input verre



#### Durée de cycle production CIS

Laps de temps entre deux processus de couchage



annuel passe à 35 mégawatts. Car chaque kilowatt/heure de courant produit dans une installation photovoltaïque est un pas dans la bonne direction. C'est pourquoi on a également employé des modules solaires pour la nouvelle construction du bâtiment administratif et du nouveau hangar de production. Des centrales solaires de grande superficie alimentent la nouvelle construction en énergie. Pour sa production, l'énergie renouvelable dispose de 700 modules sur la façade et de 300 kW pour l'installation de toit. Le bâtiment administratif a une autonomie énergétique de 100 %.

### PHASE 3: À PARTIR DE 2008

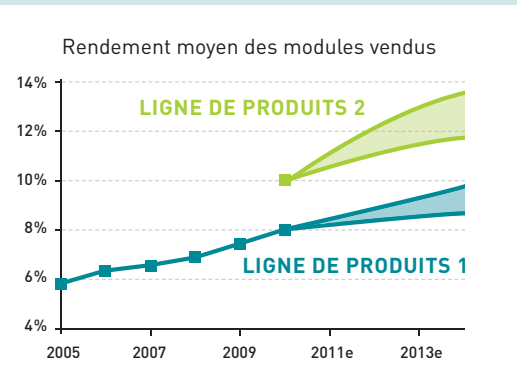
REDUCTION DES COÛTS ET PARITE DE RESEAU

Production en masse



✓ Lancement de l'extension à 75 MW

Amélioration continue de la technologie



✓ 2008 Projets de perfectionnement définis, financés et lancés

Siège principal de Sulfurcell



## CONSTRUCTION SOLAIRE : INTÉGRATION SUR TOITURE

### Sulfurcell présente les tendances de la construction futuriste

Que ce soit dans des habitations privées, des bâtiments publics ou des constructions commerciales : la jonction entre la production d'énergie renouvelable, la construction à basse consommation et une architecture attrayante est de plus en plus importante. Sulfurcell réussit de façon unique en son genre à faire concorder ces objectifs : par des modules solaires employés comme éléments de façade ou de toiture. C'est cela, construire l'avenir. C'est la construction solaire.

Les installateurs, commerciaux et architectes apprécient les modules Sulfurcell couleur anthracite aux fines rayures de la taille d'une aiguille. Grâce à son format compact, il est possible de recouvrir les surfaces des bâtiments les plus différentes avec une très grande précision et

les modules solaires structurent le toit de façon tout aussi harmonieuse que les tuiles courantes. Les modules de Sulfurcell se distinguent ainsi pas uniquement des modules en silicium cristallin, dont l'aspect semblable à celui mouvementé d'un jeu d'échecs n'est pas désiré, mais également des autres modules à couche mince qui sont la plupart du temps brunâtres ou violets et irréguliers. Sulfurcell garantit une qualité de pointe et offre des modules solaires dont la surface sombre est homogène. Nombreux sont parmi nos partenaires ceux qui désignent nos modules comme des modules solaires des plus attrayants.

Les grands bâtiments agricoles ou industriels sont prédestinés pour les modules solaires de Sulfurcell. Ils s'intègrent discrètement dans le paysage et revalori-

Les modules de Sulfurcell se fondent dans le paysage – également sur les bâtiments agricoles





sent le toit ; pas uniquement son aspect, mais également d'un point de vue économique : car avec une centrale solaire sur le toit, on exploite des surfaces qui resteraient sinon inemployées. S'ils sont équipés de modules, on peut même gagner de l'argent, d'autant plus que le toit est exposé au soleil ; que le montage est simple et que les modules solaires sont bon marché. Les modules de Sulfurcell mettent ici leurs avantages en valeur, étant donné qu'ils sont simples à monter et atteignent un excellent rapport qualité-prix. Les solutions de systèmes spéciales des distributeurs professionnels de Sulfurcell y contribuent. L'utilisateur profite ainsi de la rentabilité extraordinairement élevée des centrales solaires et utilise une technologie de modules à la fois respectueuse de l'environnement, innovatrice et de grande qualité.



Les modules à intégrer sur les toits de Sulfurcell remplacent les tuiles et protègent la maison des intempéries tout en recouvrant les besoins en énergie de la maison d'habitation et donnent au bâtiment un aspect moderne et attrayant.







Façade solaire du bâtiment de l'entreprise Rückgrat à Donaueschingen (architecte : Günter Limberger)

## CONSTRUCTION SOLAIRE : INTÉGRATION SUR FAÇADE

La construction solaire signifie que l'on emploie des modules solaires à la place de matériaux de construction courants et que l'on remplace les matériaux de construction passifs. Les modules remplissent ainsi une double fonction – comme enveloppe de bâtiment et générateur d'énergie – la centrale solaire est encore plus rentable, étant donné que l'on fait l'économie des dépenses pour les tuiles et les plaques de façade. La gamme des produits de Sulfurcell propose les meilleurs éléments de construction pour chaque partie du bâtiment. Un exemple parfait de la photovoltaïque intégrée à la façade est celui du hangar de production de l'entreprise Heuchemer à Miehlen (Taunus). Les modules de Sulfurcell y recouvrent la façade et remplacent les matériaux de construction

passifs. Une solution semblable a été appliquée par Sulfurcell à son nouveau bâtiment (page 9). On emploie ici des cassettes dont la surface est composée de modules solaires Sulfurcell sans cadres. On peut aussi utiliser des systèmes de montage traditionnels. On obtient alors un aspect plaisant avec les modules Sulfurcell. Dans le bâtiment en illustration sur cette page, on peut voir des modules Sulfurcell sans cadres montés avec le système d'insertion AluTec de la société CreoTecc. Ici aussi, le module solaire est transformé en morceau choisi architectoniquement et donne de la valeur au bâtiment, comme il ne serait possible de le faire sinon qu'en utilisant des verres spéciaux ou des panneaux onéreux en pierre naturelle.



Modules intégrés à la façade du hangar industriel de la société Heuchemer GmbH und Co. KG (à Miehlen/Taunus, Conception: Goldbeck Bau)



Revêtement de façade avec des modules solaires comme protection solaire du bâtiment de la société Max Fuss à Berlin

### La façade solaire de l'institut Ferdinand Braun pour la technique des extra hautes fréquences à Berlin

Sulfurcell fait une avancée dans l'architecture solaire avec la façade solaire de l'institut pour technique des extra hautes fréquences (FBH) à Berlin. De la planification à l'installation, Sulfurcell a été un partenaire compétent pour le FBH. Le mur peint en noir brillant fait en gros 640 mètres carrés (8 fois 80 mètres) et donne un rendement record d'environ 39 kilowatts. L'architecte Christian Matzke de Dresde a conçu cet élégant mur solaire galbé dans le cadre de grandes mesures de construction et de transformations au FBH. L'installateur était la société Dachland GmbH. Par le biais de cette impressionnante façade solaire, Sulfurcell montre aujourd'hui ce qu'il est possible de faire en architecture solaire.





## LA PHOTOVOLTAÏQUE DE L'AVENIR

### Sulfurcell produit des modules solaires à couche mince sur la base de semi-conducteurs de la gamme des CIS

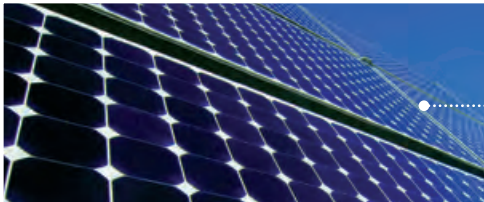

Les années précédentes, le nombre de matériaux absorbants en photovoltaïque est devenu de plus en plus important. Les modules solaires à couche mince cristallins courants jusqu'à présent sont complétés de modules solaires à couche mince avantageux dans de nombreuses applications. Les modules solaires en semi-conducteurs CIS tels que Sulfurcell les produit depuis des années font également partie des technologies des couches minces. Cette technologie photovoltaïque d'avenir est issue également des laboratoires de recherche de cette entreprise berlinoise qui a déposé des brevets pour la protéger.

La technologie des couches minces à base de semi-conducteurs CIS s'est distinguée dès le début des autres possibilités par sa compatibilité avec l'environnement : il est inutile d'employer les processus haute température pendant la production, si bien que le besoin en énergie reste bas et peut être récupéré en l'espace de la première

année de fonctionnement grâce à la lumière du soleil utilisée. On évite ainsi les gaz de processus et la chimie à base de chlore toxique. Mais surtout, la production ménage les ressources : seule une couche infiniment mince de semi-conducteur est appliquée sur le verre et transforme la lumière du soleil en courant. Elle est plus mince qu'un cheveu et cent fois plus mince que les tranches de silicium utilisées pour les modules courants. Les doutes émis par certaines personnes qui pensent que l'indium ne suffirait pas à l'employer pour un produit de masse comme composant du semi-conducteur ont été démentis scientifiquement.<sup>1)</sup> L'indium est un élément présent dans la croûte terrestre en quantités suffisantes. On le trouve plus fréquemment que l'argent.

Sulfurcell augmente son avantage technologique avec insistance et travaille dans ce sens avec des instituts de recherche leaders (Centre Helmholtz à Berlin ou

### Technologie CIS – comparaison avec la concurrence

		Matériau semi-conducteur
Modules en silicium polycristallin 	Tranches (wafers)	Silicium polycristallin
Modules CIS de Sulfurcell 	Couche mince	CIS $CuInS_2$ , $Cu(In,Ga)Se_2$ , $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$
		Cadmium telluride CdTe
		Silicium amorphe, microcristallin a-Si/ $\mu$ -Si

<sup>1)</sup> Cf. publication « Indium: Geology, Mineralogy and Economics » d'Ulrich Schwarz-Schampera et Peter M. Herzig, Springer, Berlin (2002)

<sup>2)</sup> Solar efficiency tables, Progress in Photovoltaics, Vol. 15, 425-430 (2007)



Pour l'Institut Helmholtz de Berlin, Sulfurcell est le partenaire industriel le plus important dans le secteur des cellules solaires CIS. Grâce à la clairvoyance de l'entreprise et à leur expertise scientifique, l'équipe a réussi à développer un produit photovoltaïque fiable et plaisant. Sa technologie Roadmap est convaincante et permettra à l'entreprise d'augmenter continuellement le rendement de ses modules solaires à couche mince.



**Prof. Hans-Werner Schock (Institut Helmholtz à Berlin pour les matériaux et l'énergie)**

à l'université d'Oldenburg). Déjà aujourd'hui, les semi-conducteurs CIS atteignent en laboratoire les rendements les plus élevés de tous les matériaux employés dans le domaine des modules solaires à couche mince. Le but est d'utiliser ce potentiel au niveau industriel. L'amélioration continue de la performance du module est rendue possible par les possibilités de modification de ce matériau : ses composants que sont l'indium et le gallium tout comme le soufre et le sélénium peuvent être combinés les uns aux autres de façon variée. En outre, les processus de production alternatifs agrandissent le tableau sur lequel nos technologies peuvent

travailler de façon innovatrice. Ses possibilités d'optimisation créent la condition préalable permettant aux semi-conducteurs CIS d'obtenir à long terme le même rendement que les modules solaires actuels en silicium polycristallin. Comparés à ceux-ci, ils ont toutefois de très nets avantages au niveau des coûts : pendant la production, le besoin en matériaux semi-conducteurs onéreux baisse considérablement – au lieu de 500 grammes de silicium par mètre carré, on emploie cinq grammes de CIS. Le processus de fabrication à plusieurs niveaux d'un module courant est évité, ce qui économise les deux tiers des étapes de production.

Rendement maximal (records de laboratoire <sup>2</sup> )	Avantages	Inconvénients
20,3 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Solution lorsque la place est restreinte et qu'on demande une bonne puissance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grande dépense d'énergie et coûts élevés dans la production</li> <li>– Sans attrait pour la construction solaire</li> <li>– Perte de puissance à hautes températures</li> </ul>
19,5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grand rendement et bonnes possibilités de réduction des frais</li> <li>– Technologie écologique</li> <li>– Aspect attrayant, s'emploie impeccablement dans les constructions scolaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Quantités produites encore faibles</li> </ul>
16,5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Faibles frais de fabrication</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mal accepté dans les applications sur les bâtiments ou à côté d'eux</li> </ul>
11,7 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bonne disponibilité en raison de sa production en grandes quantités</li> <li>– Utilisable dans les montres et les calculatrices</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Potentiel de rendement réduit</li> <li>– Le rendement énergétique diminue au cours des premières années de service</li> <li>– Format des modules et conception électrique souvent défavorables</li> </ul>

## LE VERRE TRANSFORMÉ EN COURANT

### La production des modules de Sulfurcell

La production de modules solaires CIS est simple en superficie bien que sa technologie soit complexe. Le produit de départ des modules solaires Sulfurcell est du simple verre de fenêtre. La vitre sert de support aux minces couches faites de métaux et de semi-conducteurs qui forment la cellule solaire CIS.

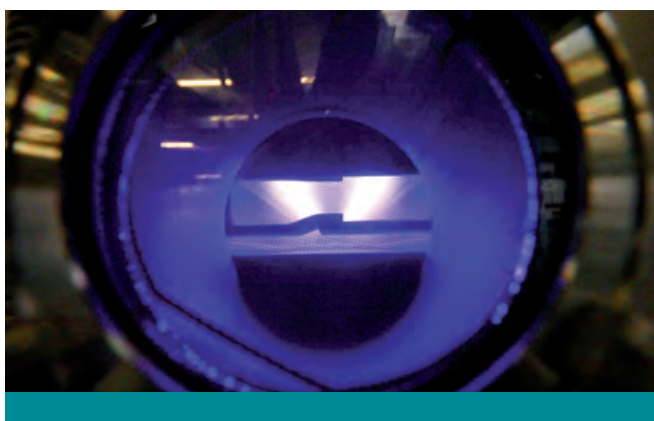
Pour appliquer les couches sur le verre, on utilise le processus dénommé par pulvérisation – un processus employé avec succès depuis des décennies pour le revêtement de grandes surfaces de verre architectural et qui se distingue par sa grande efficacité énergétique. Pratiquement toutes les vitres ont été revêtues de nos jours dans une installation par pulvérisation dans le but de les doter de couches de protection contre le soleil et la chaleur. Sulfurcell a su tirer profit des expériences de l'industrie du verre : Sulfurcell enduit du verre par pulvérisation et obtient de la sorte une régularité extraordinaire. C'est ce qui est à l'origine de l'aspect homogène qui rend ensuite le produit attrayant.

Pour fabriquer le cœur du module solaire, semi-conducteurs CIS, il faut relier plusieurs éléments entre eux. Sulfurcell y arrive en soumettant les couches pulvérisées en cuivre, indium et gallium à de la vapeur de soufre et en les chauffant à 500 degrés Celsius. Pour cela, les ingénieurs de chez Sulfurcell ont accordé beaucoup d'importance au développement d'un processus productif rapide permettant l'économie d'énergie. Si, en 2006 encore, les vitres devaient être chauffées plus de 15 minutes, le temps s'est réduit aujourd'hui à deux minutes. Ce qui

est particulièrement court par rapport à ce qui se fait chez la concurrence.

Pour un module solaire, il ne suffit pas seulement de « colorer » la surface d'une vitre au moyen de couches minces. Les couches doivent pouvoir remplir une fonction électrique. C'est en cela que le vrai défi de la production d'un module solaire CIS réside en fait. Les couches appliquées ne doivent pas être contaminées. Il faut qu'elles adhèrent les unes et autres et soient reliées entre elles électriquement. Et ces propriétés doivent pouvoir être maintenues constantes, de vitre en vitre et semaine après semaine. Avant 2008, année qui fut celle du commencement de la fabrication en grande série, l'entreprise a donc effectué une production pilote de plus de trois ans et a optimisé tous les processus et toutes les procédures. Le choix de la technologie s'est d'abord porté sur un processus CIS simple et seuls du cuivre, de l'indium et du soufre étaient utilisés. Cette procédure de base a rapidement permis d'atteindre un bon rendement et d'organiser une production stable. Sulfurcell a donc pu se présenter comme étant l'un des premiers fournisseurs à introduire des modules solaires CIS sur le marché dès la fin de l'année 2005. Partant de la technologie de base qui avait déjà fait ses preuves, Sulfurcell est maintenant en mesure de développer sa technologie et de réaliser des processus encore plus complexes. Nous disposons des recettes permettant d'obtenir des degrés d'efficacité élevés vérifiés scientifiquement. Sulfurcell sera en mesure de les appliquer dans sa future production, grâce à son expérience en la matière.

Plasma pendant le revêtement par poudre du verre

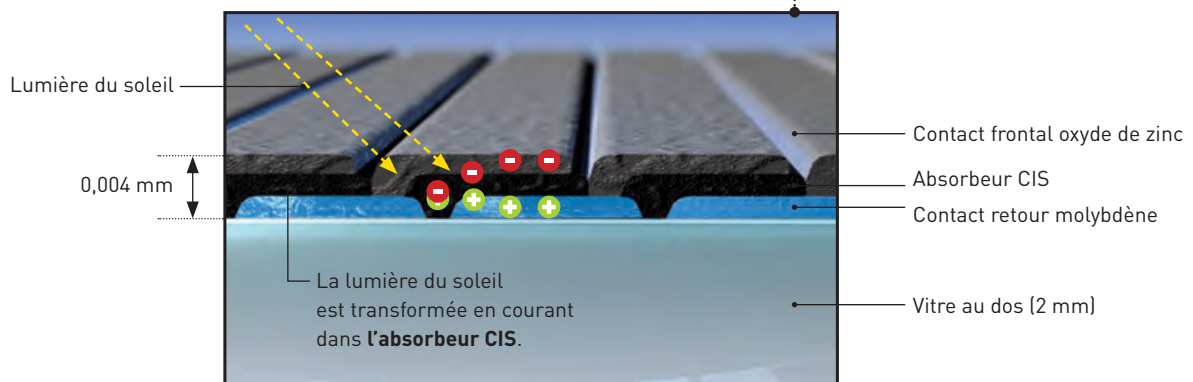
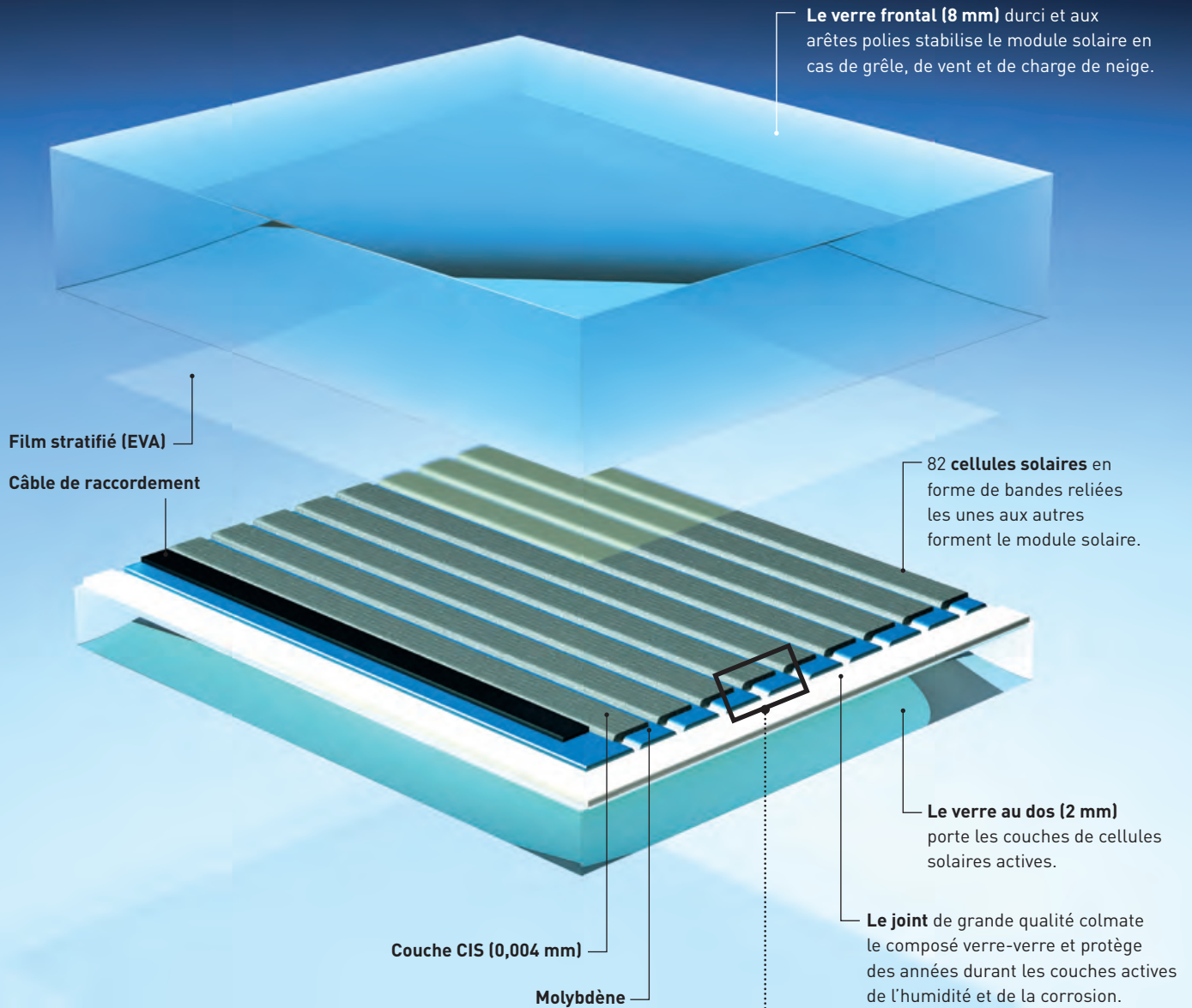


Aperçu de l'unité de fabrication en série de Sulfurcell





## Modules solaires de Sulfurcell : Mode de fonctionnement et critères de qualité





physique de ce à quoi l'on s'attendait : les modules solaires en semi-conducteurs CIS ne perdent pas 10 à 20 % de leur efficacité au cours de la première année de service, en comparaison avec ce que l'on connaît des modules solaires à couches minces de silicium amorphe. Le comportement de rendement des modules solaires de Sulfurcell ressemble beaucoup plus à celui des modules courants en silicium polycristallin, tout en présentant de nets avantages dans les pays chauds et ensoleillés.

En outre, Sulfurcell a pu montrer comment l'efficacité d'une installation photovoltaïque pouvait être optimisée en faisant le choix des bons composants de système. Dans ses instructions d'installation, Sulfurcell donne des consignes d'installation électrique d'une centrale solaire. On peut ainsi être certain que l'onduleur et le système de montage concordent avec notre module.

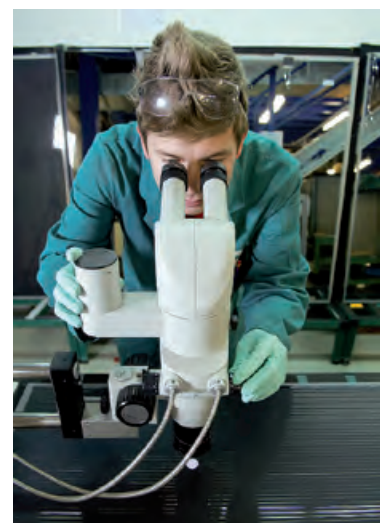
### Montage : simple et rapide

Les modules solaires de Sulfurcell ne font que 0,8 mètres carrés de sorte que l'on obtient un bon recouvrement de toit et des écarts minimes entre les encorbellements et les bords des toits. Le format et le faible poids des modules facilitent la vie à l'installateur qui peut les transporter et les monter sans grand renfort de matériel. On peut monter les modules aussi bien horizontalement que verticalement. Ils disposent d'un long câble de raccordement tout comme d'une fiche aux normes internationales. Leur basse tension de circuit ouvert, tout comme la grande tension de système fiable, permettent de longs strings et réduisent les dépenses en câblage. En bref : vous donnez à l'installateur la souplesse dont il a besoin pour répondre aux exigences spécifiques à chaque projet.

Test de torsion Sulfurcell pour modules sans cadre



Vérification de la qualité au microscope pendant la production





## COULISSES TECHNIQUES

### Efficacité, rendement énergétique et rentabilité

Le **degré d'efficacité** d'un module solaire décrit quelle partie de la lumière solaire est transformée en courant électrique et quelle puissance électrique on peut atteindre sur une surface déterminée. Le prix des modules solaires dépend de leur performance (mesurée en **watt [W]**), si bien que l'on tient toujours compte des différents rendements. Les centrales solaires se différencient uniquement au niveau de la surface que recouvre une centrale d'une certaine puissance en raison de leur rendement. Les modules de moindre rendement sont généralement moins chers au watt que ceux de grand rendement, alors que la puissance est la même.

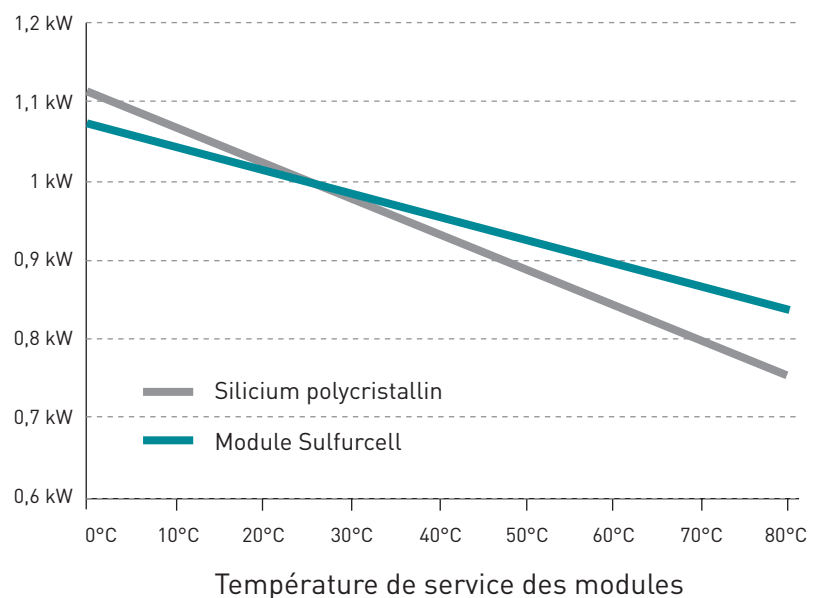
S'il y a suffisamment de place ou s'il faut maintenir un volume d'investissement assez bas, il est alors conseillé d'utiliser des modules solaires moins chers ayant un moindre rendement. Si la place est limitée et que l'efficacité doit être maximale, il est nécessaire d'avoir un rendement plus élevé et il faut alors accepter un prix au watt plus élevé. Un rendement élevé va toutefois souvent de pair avec une plus faible rentabi-

lité et un financement plus important, mais il est de construction plus compacte. C'est pourquoi le rendement n'est qu'un critère de qualité parmi d'autres et ne rend pas compte du **rapport qualité-prix**.

En 2008, Sulfurcell a vendu des modules solaires ayant un rendement allant jusqu'à 7,5 %. En 2009 et 2010, on compte sur des rendements croissants. L'encombrement d'une installation Sulfurcell est environ deux tiers plus important que celui d'un module solaire courant en silicium polycristallin. Les clients de Sulfurcell apprécient toutefois que Sulfurcell propose des types de modules bien meilleur marché à la puissance électrique du watt que des produits comparables en qualité en silicium polycristallin. L'économie réalisée sur toute la surface d'un toit est d'ailleurs encore plus importante : cette installation Sulfurcell est 50 % moins chère qu'une installation à modules en silicium. Quand on doit recouvrir complètement un toit avec des modules solaires, les modules Sulfurcell réduisent considérablement les dépenses de financement et le montant des crédits nécessaires.

- 1 Les modules solaires Sulfurcell se comportent avec plus de « tolérance » à l'égard de la chaleur que les modules en silicium et s'adaptent donc plus particulièrement aux latitudes méridionales.
- 2 L'évaluation mensuelle des rendements énergétiques prouve l'efficacité constante des modules Sulfurcell et leurs avantages au cours des mois chauds d'été.
- 3 Le rendement énergétique des modules Sulfurcell est aussi stable et élevé que celui des modules en silicium polycristallin. À la différence du silicium amorphe, l'efficacité des modules Sulfurcell ne baisse pas pendant la seconde année de service.
- 4 Plus l'emplacement est chaud et plus l'utilisation des modules Sulfurcell est avantageuse. On a relevé en Grèce un rendement de 5 % supérieur par rapport aux modules en silicium cristallin.

### 1 Puissance réelle d'une centrale solaire de 1 kWp (lorsque la lumière tombe verticalement, AM 1.5, 1 000 W/m<sup>2</sup>)

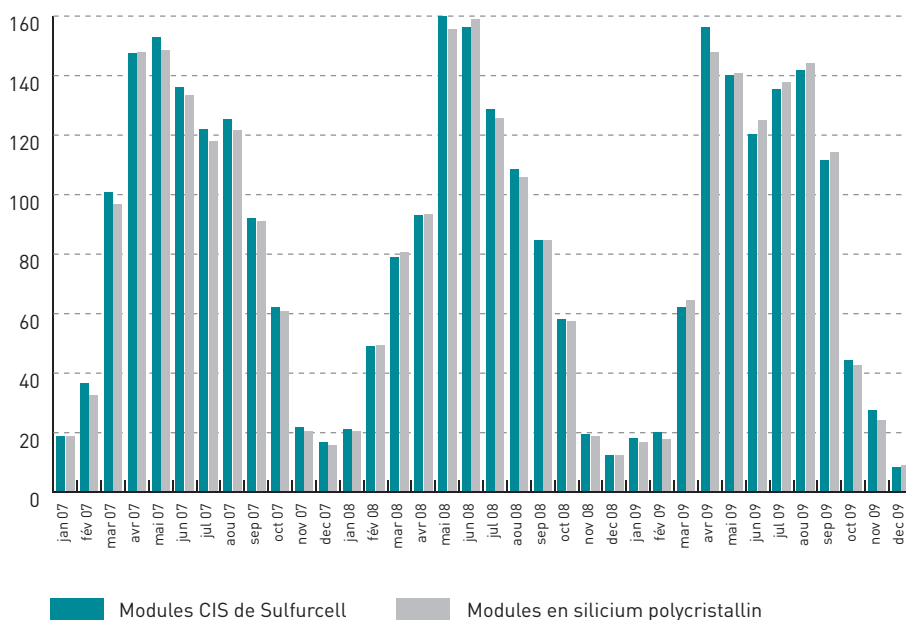


Le **rendement énergétique** annuel (mesuré en kilowatts/heure par an [kWh/a]) n'est pas déterminé uniquement par le rendement car celui-ci dépend des conditions d'éclairage et de la température de fonctionnement des modules solaires. La branche du solaire a d'ailleurs défini **des conditions standards** parmi lesquelles le rendement est fixé. A partir des mesures effectuées en laboratoire, les fabricants déduisent également la **puissance nominale** d'un module solaire (mesurée en **watt-crête** [Wp]) qui est indiquée sur la fiche de données et calculent le prix d'un module en fonction. Les conditions de tests standards – à 25°C de température de service par exemple et rayonnement vertical de la lumière solaire en plein été (1 000 W/m<sup>2</sup>) – ne se présentent effectivement que rarement lors du service normal d'un module solaire, mais sont envisageables à la rigueur les jours froids d'été. Mais en été, les modules solaires fonctionnent à des températures de 50 à 80°C de manière tout à fait typique, avec une baisse d'efficacité. La baisse de rendement par degré Celsius est décrite par le **coefficient de température**. L'un des autres points forts des modules solaires Sulfurcell : leur coeffi-

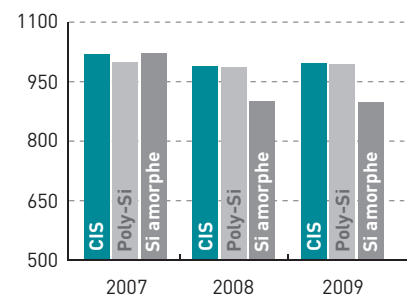
cient de température favorable les prédestine à des zones plus chaudes (p. ex. dans le Sud de l'Europe) et s'exprime dans un rendement énergétique plus élevé par watt-crête. Comparativement aux modules en silicium polycristallin, on peut donc envisager un rendement annuel d'environ 4 à 8 % plus élevé en fonction du lieu où ils sont employés.

Les rendements énergétiques annuels par watt-crête dépendent en grande partie également de la technique du système et du rayonnement solaire. On peut obtenir des rendements maximum en choisissant un emplacement et un angle idéal, quand les onduleurs conviennent aux modules et quand l'installation est montée et branchée de façon appropriée. Sulfurcell travaille en coopération avec des spécialistes qui offrent eux-mêmes cette expertise pour avoir mis en place des dizaines de milliers d'installations. Ils conseillent sur place et aident l'utilisateur à tirer le maximum des modules Sulfurcell.

## 2 Rendement énergétique annuel des centrales solaires 1 kW Berlin (sur toit)



## 3 Rendement énergétique annuel des centrales solaires 1 kW Berlin (sur toit)

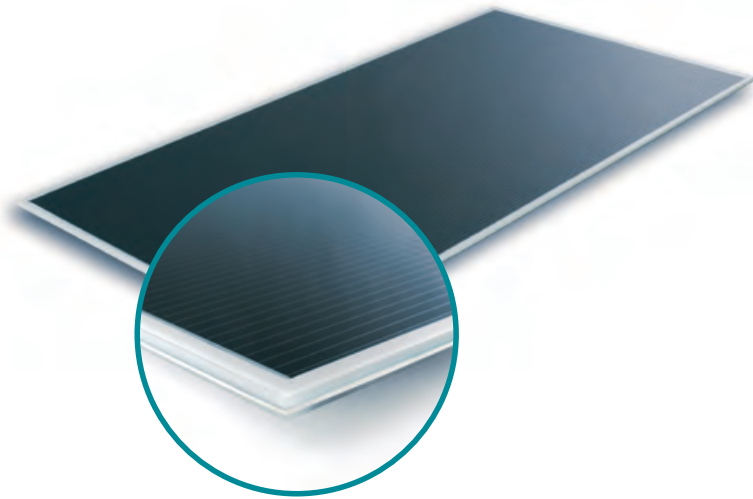


## 4 Rendement énergétique annuel 2008 des centrales solaires 1 kW Berlin/Trikala



## MODÈLES ET POSSIBILITÉS D'APPLICATION

Avec leur surface presque noire et les conduites claires, les modules Sulfurcell sont désignés d'« anthracite à fines rayures » et comptent parmi les modules les plus esthétiques que l'on puisse trouver sur le marché. Ce qui en fait une sélection de choix en vue de les intégrer aux toits et aux façades. Sulfurcell équipe ses modules solaires de telle sorte qu'ils puissent être employés sans problèmes dans le bâtiment comme matériau de construction. En témoignent de nombreux projets qui montrent que Sulfurcell est un partenaire compétent aux yeux des architectes et des maîtres-d'œuvre, capable de satisfaire aux besoins d'agencement et de technicité.



### Module Laminat Type SCG-HV-L

Le module laminé est équipé d'une vitre durcie de cinq millimètres d'épaisseur et offre ainsi la grande stabilité mécanique exigée par le TÜV (conformément à la norme IEC EN 61646 applicable aux modules solaires). Ce module constitue le meilleur choix pour les grands toits agricoles ou industriels. Les ingénieurs en bâtiments et les concepteurs apprécient aussi ce module laminé car on peut l'insérer très facilement dans les bâtiments et les constructions en verre. Son emploi est également idéal sur les toits faiblement inclinés (jusqu'à deux degrés), puisque l'eau et la saleté peuvent ici s'écouler sans encombre.

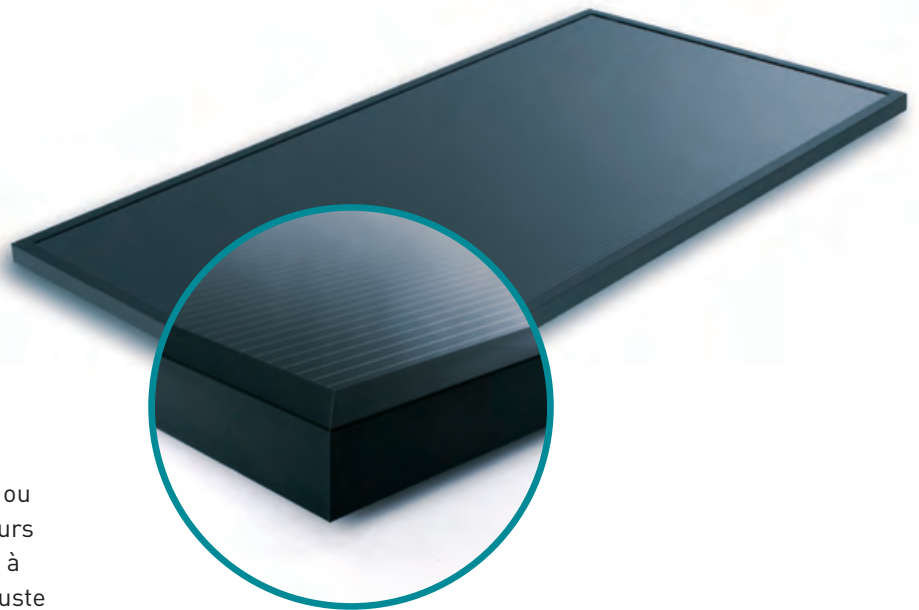
Sulfurcell a optimisé les coûts pour ce modèle. Sulfurcell a pu rendre inutile le cadre en aluminium en concevant des modules de plus petite taille qu'il est habituel de construire pour les modules en silicium traditionnels. Ils atteignent donc une stabilité propre bien plus élevée et résistent de façon durable aux sollicitations liées à leur emploi. On n'utilise plus d'aluminium que pour la structure de support de la centrale solaire, ce qui réduit de 30 % la consommation de ce matériau à forte intensité énergétique. Le module laminé impressionne tout particulièrement par son extrême rentabilité qui permet d'économiser les ressources naturelles.

Le module laminé Sulfurcell présente aussi des avantages à bien d'autres points de vue : par le passé, certains installateurs se sont souvent plaints des modules laminés parce qu'ils sont plus sensibles aux chocs que les modules avec cadres. Sulfurcell livre ses modules laminés dans des coupelles en carton. Les coupelles protègent le module lors du montage et l'amortissent au cas où il subirait un choc. Il ne faut retirer les coupelles qu'après le montage – ce qui permet de la sorte à joindre les avantages du module sans cadre au montage facile et sécurisé.

Les coupelles protègent le module lors du transport et du montage







### Module Cadré Type SCG-HV-F

Qu'il soit utilisé comme élément de façade ou sur un toit : notre module à cadre est toujours adapté. Grâce à son cadre en aluminium et à sa vitre frontale durcie, il est tellement robuste que l'on peut également l'utiliser en cas de fortes chutes de neige (zones de niveau 3). Le montage du module est particulièrement aisé, étant donné que le cadre protège le verre des dommages possibles. On peut donc l'utiliser avec fixations même dans les lieux difficiles d'accès qui ne seraient pas du tout adaptés à des modules sans cadre.

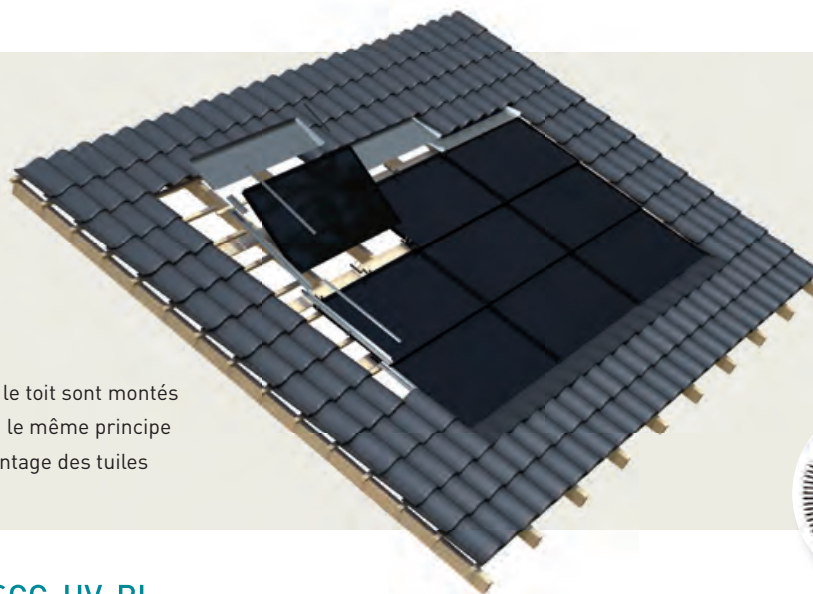
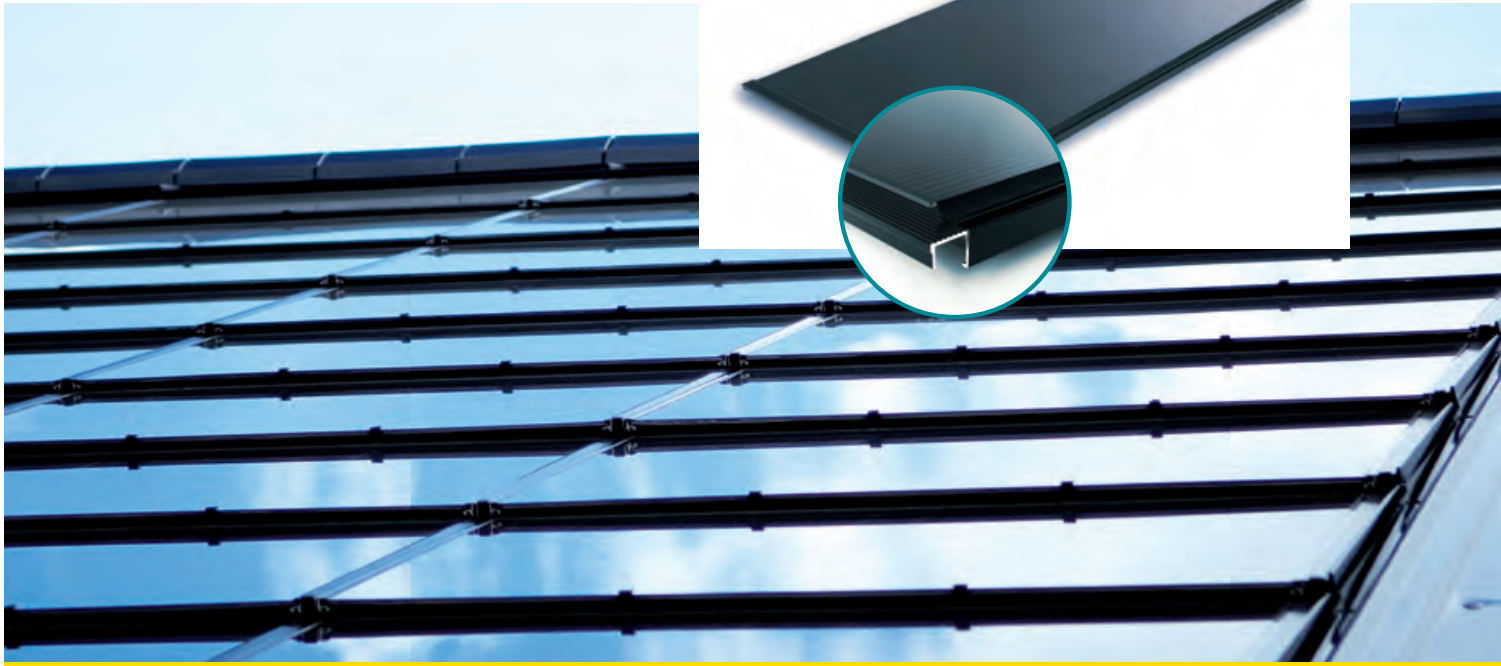


## ÉCOLOGIE : TECHNOLOGIE VERTE

Sulfurcell perçoit sa propre position comme étant en avant-garde de la lutte contre le changement climatique. Nos processus de fabrication se doivent donc de s'adapter aux normes écologiques sévères. Et ils le font, comme nous pouvons le démontrer ici : grâce à la technologie à couche mince, on n'utilise qu'une quantité de matériau comparativement faible et peu d'énergie lors de la production. Il en résulte une période d'amortissement énergétique d'une année grâce aux rendements élevés de la technologie CIS ; ce qui correspond à la moitié

du temps valable pour les modules en silicium cristallin. Les modules solaires Sulfurcell sont écologiques et peuvent être recyclés en fin de vie comme des déchets ménagers conformément aux conditions juridiques actuelles. Mais Sulfurcell se soucie néanmoins d'un système de reprise des modules solaires afin que les matériaux du module (et surtout le verre et l'aluminium) soient réintégrés dans le cycle des matériaux. Sulfurcell est donc membre de la société PV Cycle qui développe un programme de reprise et de recyclage pour l'industrie solaire. [www.pvcycle.org](http://www.pvcycle.org)

## TUILES SOLAIRES



Les modules intégrés dans le toit sont montés comme des bardeaux selon le même principe que celui utilisé pour le montage des tuiles



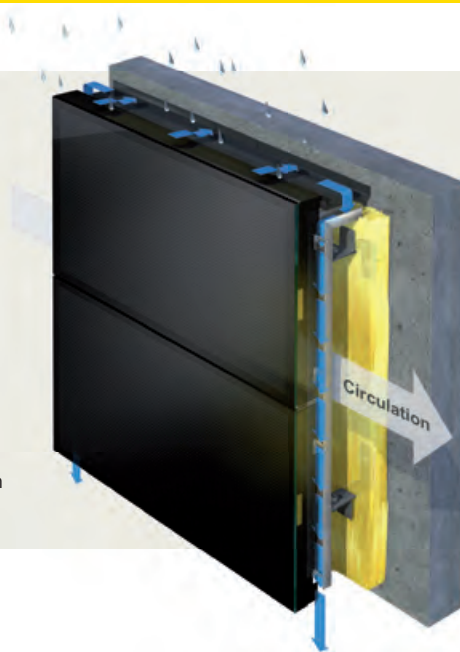
### Module InDach Type SCG-HV-RI

Le module « InDach » offre de nouvelles possibilités dans la construction solaire. Tout comme les tuiles, les modules sont montés sur les lattes des toits à la façon d'un bardage. Il n'y a pas de frais de tuiles. De ce fait, l'emploi du module fait baisser les coûts de construction d'environ 20 à 30 € le m<sup>2</sup>. L'utilisation des cadres noirs de type Solrif (société Schweizer Metallbau – construction métallique suisse) facilite le montage, donne à la surface du toit un aspect homogène esthétique et offre d'excellentes possibilités d'agencement. Mais avant toute chose, le montage est plus simple que pour les autres solutions à intégration sur toiture : dans le cadre d'une vaste

étude de marché, des spécialistes français de la société de conseil Cythelia ont comparé en 2008 différents systèmes solaires à intégration sur toiture. Cette étude a fait ressortir que ce sont les solutions reposant sur le Solrif qui ont remporté les meilleurs résultats des tests.

Lors de la conception de la centrale solaire ou au moment de l'achèvement de la toiture, les partenaires du système Sulfurcell sont là pour assister l'utilisateur. Les tôles s'adaptant exactement en permettant d'obtenir une finition optique parfaite du toit, de sorte qu'il est possible d'éviter les solutions patchwork.

## CASSETTES DE FAÇADE SOLAIRES



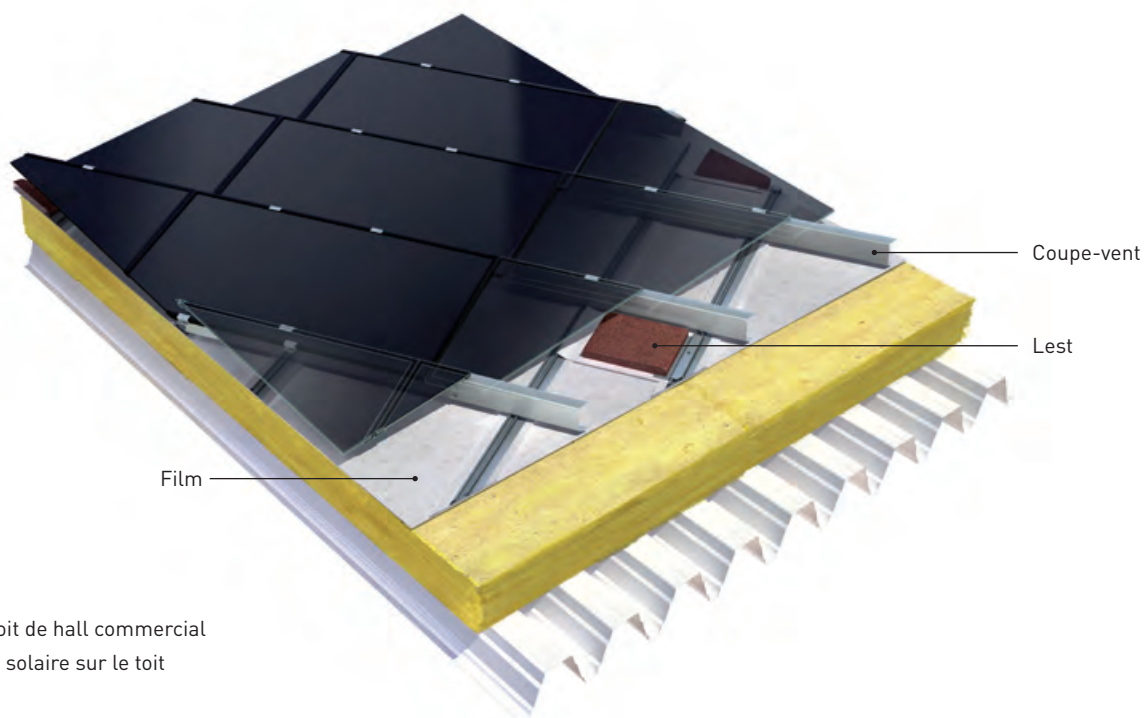
La ventilation par l'arrière assure le refroidissement des modules solaires et évite l'eau de condensation

Les cassettes sont assez utilisées dans la construction industrielle, étant donné qu'elles recouvrent l'isolation en résistant aux intempéries et contrôlent l'évacuation de l'eau de pluie. Elles sont fabriquées en tôle et suspendues à la construction des façades. Sulfurcell a développé une technologie permettant de doter ces cassettes de façade d'une autre utilité qui rajoute à leur aspect esthétique. Sulfurcell propose des cassettes qui portent un module laminé sur leur surface. Contrairement à

d'autres centrales solaires intégrées dans la façade, il est ainsi possible d'employer les modules sans cadre dans les façades. La façade en tôle se transforme alors en une élégante façade vitrée tout en produisant le courant pour les bureaux situés derrière elle. Cette nouvelle technologie a été utilisée pour la première fois sur les nouveaux bâtiments de Sulfurcell à Berlin. Il est tout à fait possible de visiter ce bâtiment.



## POIDS DES INSTALLATIONS SOLAIRES OPTIMISÉ POUR LES TOITS PLATS DES COMMERCES



Structure d'un toit de hall commercial avec installation solaire sur le toit

Sur les grands toits plats, il est souvent impossible d'installer des installations solaires courantes étant donné que leur poids est trop important ou que les possibilités de fixation manquent. La solution pour toit plat de Sulfurcell trouve ici une réponse intelligente : ce système est optimisé du point de vue de son poids et de la charge due à l'action du vent ; il dispose d'un poids de charge de seulement 19 kg par m<sup>2</sup> (plus le lest). Grâce à son montage particulièrement plat, la surface exposée au

vent est faible. De plus, des tôles de protection contre le vent réduisent l'effet de succion, si bien qu'il est possible de monter l'installation sans devoir passer des fixations à travers la toiture. Ce montage plat minimise en outre la projection d'ombre des modules, si bien que ces derniers peuvent être montés en rangs serrés. Pour 1000 m<sup>2</sup> de superficie, on peut donc installer une puissance d'au moins 55 kW.

