

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	83 (1992)
<b>Heft:</b>	24
<b>Artikel:</b>	Cellules solaires : la révolution par le principe des colorants?
<b>Autor:</b>	Weber, R.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-902910">https://doi.org/10.5169/seals-902910</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# **Cellules solaires: la révolution par le principe des colorants?**

R. Weber

**Tous les doutes sont maintenant levés: la cellule solaire électro-chimique de l'équipe du professeur Michael Grätzel de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne fonctionne d'une façon tout à fait différente des cellules classiques du silicium, mais possède un potentiel comparable. Si tout se déroule selon les prévisions, elle sera également sensiblement meilleur marché.**

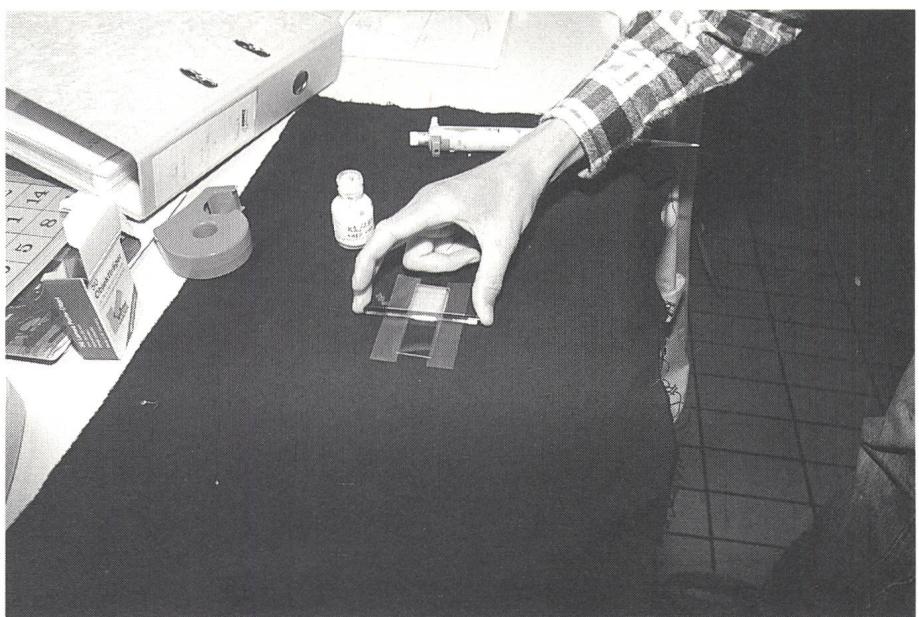
**Die von Professor Michael Grätzel und seinem Team an der ETH Lausanne entwickelte elektrochemische Solarzelle funktioniert völlig anders als die konventionelle Siliziumzelle, aber sie verfügt über ein ähnliches Potential. Wenn sich alles wie vorgesehen weiterentwickelt, wird sie auch spürbar billiger sein.**

Des sandwiches solaires à la mode lausannoise pourraient marquer de leur empreinte la vie quotidienne de demain comme l'a fait depuis longtemps l'invention du cuisinier du fameux comte de Sandwich. Et en principe, la variante solaire peut se confectionner chez soi, pour autant que l'on dispose d'un four de potier. Ses ingrédients: en guise de pain, on prend deux plaques de verre, chacune recouverte sur une face d'une couche oxyde d'étain métallisée sous vide et donc conductrice de courant (plaques que l'on peut obtenir au mètre dans le commerce spécialisé). Sur une plaque, surface oxydée vers le haut, on étend une pâte blanche composée pour l'essentiel d'un oxyde de titane très fin (entre dans tout traitement chimique, confère une couleur blanche à dentifrice et aux peintures). Cela fait,

on met le «pain» et sa garniture au four pendant une demi-heure; la pâte blanche devient incolore et transparente. Ensuite, on étend avec précaution une peinture spéciale en une couche extrêmement fine (traitement chimique suivant) et, enfin, on pose la seconde plaque de verre, oxyde d'étain vers le bas. On branche un voltmètre aux couches d'oxyde supérieure et inférieure, on expose le tout à la lumière, et le voltmètre affiche une valeur légèrement supérieure à un demi-volt.

## **Scepticisme initial**

Trop simple pour être vrai? C'est bien ce que plusieurs scientifiques et énergéticiens ont pensé lorsque le professeur Michael Grätzel de l'Institut de chimie physique de l'EPFL présenta la



**Figure 1 Fabrication simple d'une cellule à base de colorant**

Sur un verre (ici fixé sur la table au moyen d'un papier collant) ou sur son revêtement conducteur de courant, on étend à la seringue (derrière) une pâte contenant de l'oxyde de titane très fin. Après avoir séjourné à 450 °C au four pendant une demi-heure, le film d'oxyde de titane se solidifie et devient incolore et transparent, prêt à recevoir la couche de colorant et le complément du sandwich

## **Adresse de l'auteur**

Rudolf Weber, Olynthus-Verlag,  
Schaanerstrasse 13, FL-9490 Vaduz.

cellule, au printemps 1991, dans un article paru dans une revue spécialisée de grande renommée.

Deux groupes de spécialistes, en particulier, étaient sceptiques: d'un côté les tenants de la filière du silicium ou des semi-conducteurs, qui construisent les cellules solaires habituelles, que l'on peut déjà qualifier de classiques, et qui cherchent à obtenir de leurs produits des rendements toujours plus élevés et des méthodes de fabrication moins onéreuses, leurs procédés «photovoltaïques» étant fort coûteux parce que relevant de la haute technologie de A à Z. De l'autre, il y avait les chercheurs concurrents qui, comme Grätzel et son équipe, planchaient sur le principe de l'électro-chimie, mais qui n'en avaient pas encore maîtrisé toutes les subtilités. Obtenir d'emblée un rendement de 6%, puis franchir bientôt – c'est-à-dire au début de 1992 – les 10% par plein soleil, presque autant que les cellules de série au silicium? Et atteindre 12% par ciel couvert, soit plus que celles-ci? Impossible! Grätzel avait dû se tromper! D'autant que les autres «électrochimistes» en étaient arrivés à 1%, tout au plus... On rendit visite au laboratoire de Lausanne, on reproduisit le sandwich solaire et les doutes firent place à des certitudes.

En l'occurrence, à la fin des années septante, Grätzel avait entrepris à Lausanne des travaux dirigés vers un tout autre but. Il voulait réaliser la photolyse, autrement dit la séparation de l'eau en hydrogène et oxygène à l'aide de la

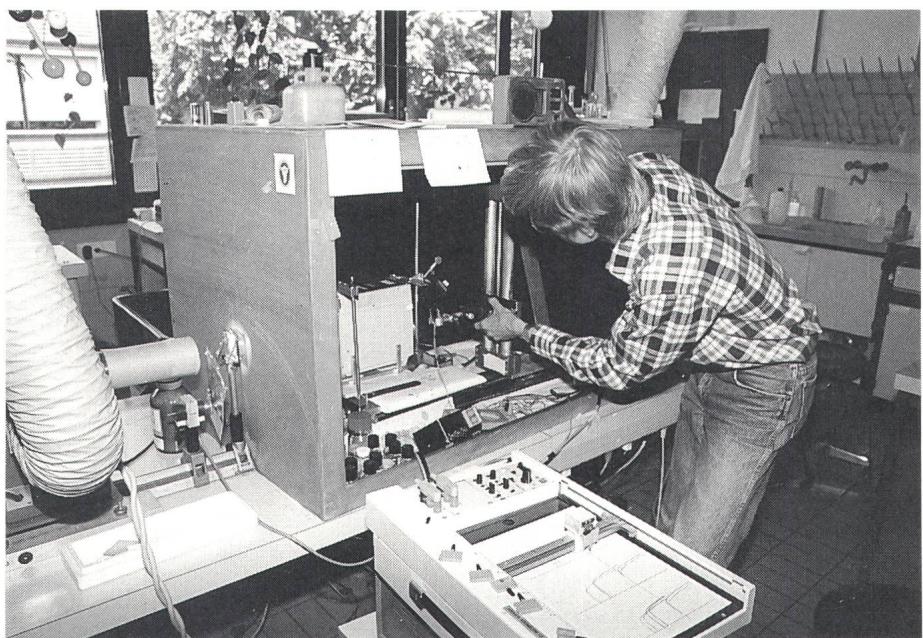


Figure 2 Andreas Kray, collaborateur de Grätzel, prépare la mesure de rendement d'une cellule expérimentale: à gauche la source de lumière, dans l'armoire l'optique de mesure, devant l'enregistreur

lumière du soleil, car à cette époque de crise pétrolière, l'hydrogène était perçu comme l'agent énergétique potentiel de l'ère postpétrolière.

Peu auparavant, des chercheurs allemands et britanniques avaient découvert que ce qu'on appelle les systèmes micro-hétérogènes pouvaient séparer l'eau sous l'influence de la lumière, exactement comme les plantes et les micro-organismes le font dans la pre-

mière phase de la photosynthèse. Micro-hétérogène signifie qu'une substance active, respectivement un «sensibilisateur», est répartie dans l'eau sous forme de particules très fines. Ces particules absorbent de la lumière, laquelle provoque la séparation d'électrons. Dans un végétal, les membranes des cellules assurent que les électrons ne seront pas à nouveau captés instantanément et «recombinés», mais qu'ils participent à des transformations complexes dont une étape intermédiaire est la dissociation de l'eau et l'aboutissement, la formation d'hydrocarbures ou de sucres.

### Des semi-conducteurs finement disséminés

Pour empêcher la recombinaison dans un système micro-hétérogène artificiel, il faut coupler le sensibilisateur avec un accepteur qui capte instantanément les électrons. Grätzel était fasciné par ces difficiles processus et leur étude. Comme d'autres chercheurs, il chercha tout d'abord des couples de substances pouvant servir de sensibilisateurs et d'accepteurs et qui devaient fournir une quantité d'hydrogène aussi grande que possible. Comme sensibilisateurs, il utilisa des colorants organiques et comme accepteurs, essentiellement des complexes métalliques.

Avec une telle combinaison, Grätzel et ses collaborateurs réussirent, en 1979, à réaliser la dissociation de l'eau avec un rendement de 0,8% (rendement

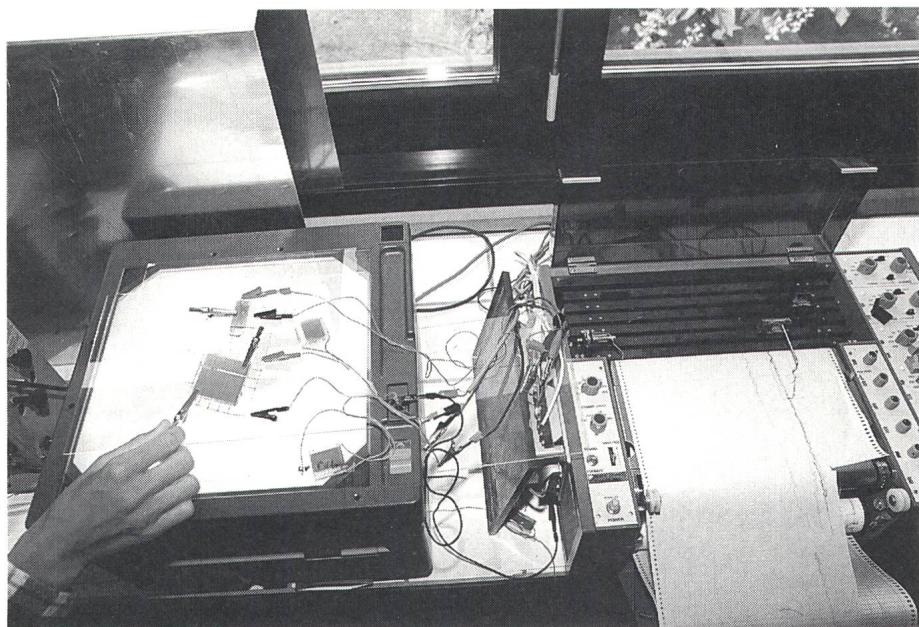


Figure 3 L'avenir de la cellule à base de colorant dépendra notamment de sa capacité à fonctionner pendant six ans ou plus sans baisse de puissance. C'est pourquoi plusieurs essais de longue durée, dans lesquels les cellules sont exposées à un éclairage changeant, sont conduits en parallèle dans le laboratoire de Grätzel

de la transformation de l'énergie lumineuse incidente en énergie de l'hydrogène). Bien que ce fût là une performance de pointe sur le plan international, l'expérience posait un problème fondamental: après quelques heures, la réaction s'arrêtait parce que l'oxygène libéré empêchait la formation d'hydrogène.

Pour tourner le problème, les chercheurs lausannois se proposèrent d'employer en guise d'accepteur des semi-conducteurs finement disséminés. Ils optèrent pour l'oxyde de titane, qui leur semblait prometteur. Mais il advint que les colorants employés comme sensibilisateurs n'étaient pas assez durables.

C'est alors que le hasard vint à leur aide, lorsqu'un doctorand mélangea un complexe métallique avec de l'oxyde de titane et exposa à la lumière la solution obtenue: celle-ci se colora de façon permanente; on avait donc découvert un colorant stable qui, de plus, était un excellent sensibilisateur. De même, le passage des électrons de ce colorant à l'oxyde de titane se révéla si bon que Grätzel eut l'idée non pas de l'utiliser en premier lieu pour la dissociation de l'eau, mais pour construire une cellule photo-électrique produisant du courant.

## Le colloïde

On était en 1988. Jusque-là, outre le Fonds national pour la recherche scientifique, le NEFF avait consacré près d'un million de francs aux travaux de Grätzel. Dès lors, comme ce dernier avait modifié son objectif, c'est l'Office fédéral de l'énergie qui prit en charge le financement des travaux ultérieurs, à la condition, cependant, que Grätzel démontre la stabilité de sa cellule photo-électrique. Ce qu'il réussit de manière

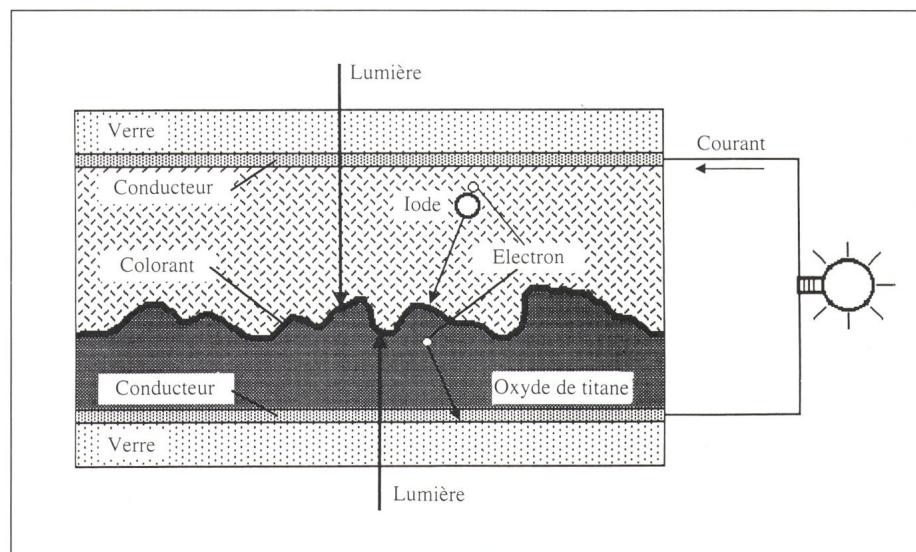


Figure 4 Principe de fonctionnement de la cellule de Grätzel: la lumière enlève un électron du colorant; celui-ci pénètre instantanément dans l'oxyde de titane qui le conduit dans le circuit électrique, puis, dans la cellule, via le consommateur de courant, où l'électrolyte le déposera à nouveau dans le colorant

convaincante en faisant fonctionner une première cellule, composée pour l'essentiel de colorant sur une tôle de titane oxydée, pendant huit mois sans interruption et sans que sa puissance diminue.

Certes, le rendement n'était pas encore bien élevé: à l'instar d'autres groupes de recherche qui travaillaient avec des combinaisons de substances similaires, les Lausannois en étaient encore aux environs de 4% (au contraire des cellules solaires au silicium qui dépassaient 20% en laboratoire et 12% pour les modèles de série).

Grätzel trouva la faille, qui résidait dans la rugosité trop fine du dioxyde de titane, lequel offrait une surface trop petite pour la capture de la lumière par le sensibilisateur. Un pacte fructueux

fut conclu lorsque, à l'occasion d'un voyage aux Etats-Unis, Grätzel rencontra le spécialiste des colloïdes Brian O'Regan et que celui-ci s'intéressa à la cellule lausannoise: O'Regan vint dans le canton de Vaud et coula sur du verre des couches d'oxyde de titane extrêmement fines et donc transparentes: la partie inférieure du sandwich était réalisée. Au four, chauffé à 450 °C, l'oxyde colloïdal de titane se lie en un réseau tridimensionnel dont la surface «interne» est au total près de 800 fois plus grande que la surface géométrique apparente. Le sensibilisateur se répartit également sur cette grande surface et peut capter considérablement plus de lumière qu'auparavant sur la tôle lisse. Avec pour conséquence une augmentation radicale du rendement à environ 6%.

Cependant, la pose de cet enduit restait un procédé assez complexe, nécessitant plusieurs opérations; de plus, la reproductibilité des résultats laissait à désirer. C'est alors qu'un étudiant, Andreas Kray, proposa de mélanger à la solution colloïdale d'oxyde de titane un plastique qui ferait simultanément office de solvant: l'oxyde de titane se répartit désormais de façon si uniforme qu'une seule couche suffit (comme on l'a décrit au début) et que la reproductibilité des résultats est parfaite.

## Objectif: fabrication en série

Bien sûr, aussi simple que soit aujourd'hui la fabrication du sandwich, le gros de la recherche a porté sur ses «ingrédients» (dont le choix et la com-



Figure 5  
Le professeur Michael Grätzel est très demandé

position sont également le résultat des longues recherches sur la photolyse de l'eau). Par exemple, les Lausannois ont découvert, au bout de fastidieuses expériences, que les particules d'oxyde de titane devraient avoir un diamètre de 15 milliardièmes de millimètre: plus grands, ils ne donneraient pas une surface «interne» assez grande, plus petits, ils ne permettraient pas à la solution d'iodure de recouvrir entièrement cette surface.

Le but de la solution d'iodure est, au demeurant, de retransférer au sensibilisateur les électrons que celui-ci restitue au circuit électrique via l'oxyde de titane (les molécules d'iode prennent un électron sur la surface supérieure du verre, le transportent au sensibilisateur, le lui donnent et recommencent le cycle). Ce processus régénère le sensibilisateur qui, sinon, serait très vite inutilisable. Mais la solution d'iodure n'est qu'un parmi les nombreux électrolytes qui entrent en ligne de compte pour une telle réaction d'oxydoréduction.

En 1989 déjà s'était instaurée une collaboration entre le groupe chimique bâlois Sandoz et l'institut du professeur Grätzel. Les spécialistes des colorants de Sandoz avaient tout d'abord mis à disposition un grand nombre de colorants différents. A partir des résultats expérimentaux obtenus, ils découvrirent des relations entre leur structure et leur efficacité en tant que sensibilisateurs. Sur cette base, ils développèrent et synthétisèrent de nouvelles substances, meilleures. Avec succès: début 1992, on mesura des rendements de 10% sur la cellule la plus récente; obtenir des valeurs encore plus élevées n'est désormais plus qu'une question de temps. Mais, tandis que Grätzel ne doute pas que les colorants puissent rester sta-

bles pendant plusieurs années, Roland Entschel du centre de recherche de Sandoz met en garde contre un optimisme excessif: la stabilité aux intempéries, à la chaleur et, bien sûr, à la lumière, mais aussi les problèmes d'étanchéité des cellules, de résistance chimique du système en solution et d'autres questions encore n'ont pas été étudiés en détail et pourraient réservé de mauvaises surprises.

Mais en admettant que tous ces problèmes trouvent une solution, la cellule à base de colorant a-t-elle une chance réelle face aux cellules solaires au silicium classiques et aux autres semi-conducteurs solides? La réponse se situe probablement dans son seul prix, puisque les rendements sont comparables. Si l'on compare les composants très avantageux de la première (l'oxyde de titane, par exemple, coûte environ Fr. 1.50 le kilogramme) au silicium; très cher parce que d'un degré de pureté élevé (ou à d'autres matériaux appropriés), les espoirs du professeur Grätzel – il estime que sa cellule une fois fabriquée en série ne coûtera que le dixième de la cellule au silicium – ne relèvent pas de l'utopie.

## Questions de prix

Seulement, il ne faut pas perdre de vue que le prix de la cellule n'est pas le seul élément déterminant le coût de production du kilowattheure d'électricité. Les structures porteuses sur lesquelles les cellules sont montées, de même que les raccordements électriques et en particulier les onduleurs, qui transforment le courant continu produit par les cellules en courant alternatif, entrent pour une large part dans ce prix. Toutefois,

de nombreux éléments vont subir des diminutions de prix massives, par exemple, le montage de modules de cellules finis en lieu et place des tuiles ou des vitrages de fenêtres. Et comme la cellule à base de colorant semble prédestinée pour cette dernière application, elle pourrait provoquer sur le plan pratique une révolution qui ramènerait le prix du kilowattheure d'un à deux francs actuellement à quelques fractions de celui-ci, et pourrait le mettre en concurrence directe avec la production des centrales classiques.

Le groupe ABB se penche déjà sur les questions techniques et économiques de la fabrication en série des cellules de Grätzel. De l'avis de Roland Entschel, les travaux nécessaires réclameront encore beaucoup de temps et d'investissements matériels. «Mais la tâche est fascinante et tous les partenaires font tout leur possible pour aider cette technologie prometteuse à percer.» Reste à espérer que sa fabrication et sa commercialisation ne seront pas prises en main par un groupe énergétique dont la direction n'assumera ces tâches qu'à contre-cœur afin de ne pas concurrencer la marche de ses affaires avec les centrales classiques issues de ses propres chaînes de production.

Pendant ce temps, le professeur Grätzel et son équipe se consacrent à d'autres travaux de recherche fondamentale, par exemple au remplacement des électrolytes liquides par des électrolytes solides. Grätzel voit également une tâche importante dans l'amélioration des propriétés absorbantes des sensibilisateurs afin d'approcher encore un peu du rendement maximal possible de 33%. Mais en même temps, il se tourne à nouveau davantage vers son sujet initial, la dissociation de l'eau.