

# Electricité solaire : des faits contre les idées reçues

par Daniel Rufer, Dr sc. techn. EPFZ, MBA, texte original en allemand.

Diverses opinions préconçues sur l'électricité photovoltaïque (PV) circulent en Suisse. Le présent document vise à rétablir la vérité sur ces allégations. Les références fournies permettent de vérifier les arguments en toute transparence.

## 1. Quel est le potentiel de l'énergie solaire en Suisse?

**Idée reçue:** «A l'inverse de l'Espagne ou de la Californie, une production photovoltaïque suisse est totalement insensée.»

**Réalité:**

- Des installations photovoltaïques performantes produisent annuellement environ 185 kWh/m<sup>2</sup> sur le Plateau suisse (Küsnacht ZH). La consommation annuelle d'énergie par habitant suisse se situe à 7400 kWh [2]. Une surface de modules photovoltaïques (PV) de 8 m<sup>2</sup> par personne serait donc nécessaire afin de couvrir 20% de ce besoin en électricité par le solaire. En Suisse, les toitures bien exposées permettraient à elles seules d'installer 20 m<sup>2</sup> de modules PV par personne [3].
- Dans les Alpes suisses, le rayonnement solaire et donc aussi la production de courant sont supérieurs de près de 40 % à ceux du Plateau suisse [4] et atteignent donc des valeurs équivalentes à celles du Sahara [4], [5]

## 2. Les installations PV sont-elles capables de compenser leur énergie grise?

**Idée reçue:** «L'énergie solaire en Suisse n'est pas durable, car l'énergie grise entrant dans la fabrication et la démolition des installations PV ne peut jamais être compensée.»

**Réalité:**

- L'énergie grise d'un produit correspond à l'énergie primaire non renouvelable (pétrole, gaz naturel, charbon, uranium) qui est nécessaire à sa fabrication et à son élimination [6].
- En cas de modules PV produits aux Philippines, la fabrication et l'élimination d'une installation PV (modules en silicium monocristallins, fixations, onduleur, installation électrique, part correspondante de l'infrastructure réseau et part des pertes d'énergie dans le réseau) consomment une énergie grise de 887 kWh/m<sup>2</sup>. L'énergie grise de modules fabriqués en Chine est de 1257 kWh/m<sup>2</sup>. Le calcul détaillé est exposé sous la référence [1].
- Chaque kWh produit en Suisse représente un kWh de moins importé de l'étranger. Nos centrales (hydrauliques, nucléaires) produisent en effet toujours à leur maximum ; elles ne réduisent pas leur production si de l'électricité PV est produite chez nous. L'électricité importée étant surtout à base thermique.
- Chaque kWh d'énergie solaire permet d'économiser 3,1 fois la quantité d'énergie primaire non renouvelable [7]. Ainsi, 1 m<sup>2</sup> de modules PV permet d'économiser 574 kWh d'énergie primaire non renouvelable.

- Il s'ensuit que l'énergie grise requise par l'installation PV est compensée au bout d'un an et demi déjà (= 887/574). Si les modules PV sont fabriqués en Chine, l'énergie grise de l'installation PV est amortie au bout de 2,2 ans (= 1257/574). Pendant sa durée de service minimale de 30 ans, une installation PV économise donc entre 14 et 20 fois sa propre énergie grise.
- Durant leur exploitation, les centrales à gaz, au charbon et nucléaires consomment en permanence plus d'énergie primaire non renouvelable qu'elles ne produisent d'électricité (cf. chiffre 3). C'est pourquoi elles ne peuvent jamais compenser l'énergie grise utilisée pour leur production et élimination.

### 3. Quel est le rendement des centrales électriques?

**Idée reçue:** «Par rapport aux centrales traditionnelles, le rendement du photovoltaïque est extrêmement faible.»

**Réalité:**

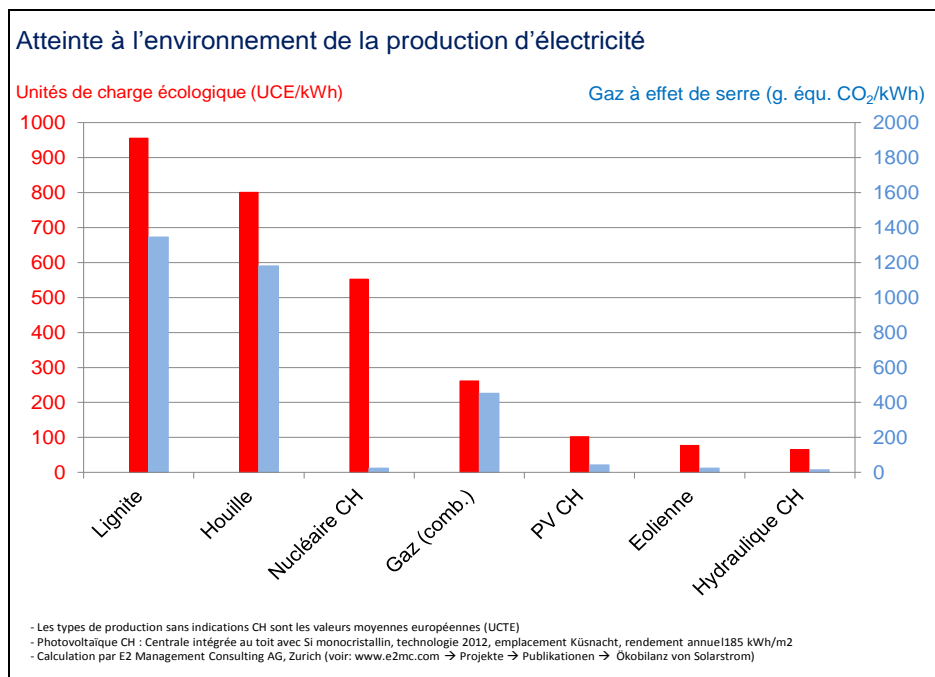
- Les modules PV efficaces affichent aujourd'hui un rendement de plus de 21%, ce qui signifie que 21% du rayonnement solaire (énergie primaire) sont convertis en électricité [8]. Ce rendement s'est sans cesse accru au cours des dernières années et continuera à augmenter [9].
- Les centrales nucléaires transforment l'énergie primaire disponible sous forme d'uranium en électricité avec un rendement inférieur à 25% (soit avec une perte de 75% de l'énergie primaire non renouvelable) [7].
- Ainsi, le rendement des modules PV et celui des centrales nucléaires sont presque identiques. Toutefois, l'énergie solaire est inépuisable et sans danger.

### 4. Quel est l'impact du solaire sur l'environnement?

**Idée reçue:** «En comparaison avec les autres centrales, le photovoltaïque exige une grande quantité de matériel et de maintenance. Les installations PV génèrent des émissions de CO<sub>2</sub> considérables et un grand volume de déchets spéciaux.»

**Réalité:**

- Pendant toute la durée de service (30 ans au minimum), les installations PV fonctionnent sans émission aucune et ne requièrent qu'une maintenance minimale. En fonction de leur emplacement, il est utile de procéder à un simple nettoyage des surfaces (à des intervalles de plusieurs années).
- Toute fabrication et élimination de produits génère des émissions et des déchets spéciaux, qu'il s'agisse de détergents, de téléphones portables ou de barres de combustible pour centrales nucléaires. Les facteurs pertinents sont la quantité et le type de charges écologiques produites. Les «unités de charge écologique» [10] sont un indicateur reconnu à cet égard. Le graphique ci-dessous montre que la charge écologique produite par l'énergie solaire compte clairement parmi les plus faibles (comme l'éolien et l'hydroélectricité).



- Les modules PV sont produits à partir de silicium, c'est-à-dire à base de sable quartzique, qui est très répandu. 85% des composants des modules sont recyclables [11].

## 5. Quel est le coût de l'énergie solaire?

**Idée reçue:** «Le prix de revient de l'énergie solaire est exorbitant, si bien que l'Etat doit y contribuer par des subventions extrêmement élevées.»

### Réalité:

- Le prix de revient de l'énergie solaire inclut les intérêts, l'amortissement et l'entretien des modules PV, leur montage, l'onduleur et l'installation électrique. En Allemagne, ce coût se situe aujourd'hui entre 10 et 17 centimes par kWh d'énergie solaire, en fonction de l'emplacement et des dimensions de l'installation PV (hors subventions, en comptant une durée d'amortissement de 25 ans, cf. l'étude [12]).
- En Suisse, le prix de revient du solaire, résultant des coûts plus élevés de montage, d'installation, d'entretien et du capital, se situe actuellement entre 15 et 21 centimes par kWh. Sur cette base, la rétribution à prix coûtant RPC s'élève à 17–26 centimes par kWh d'énergie solaire (puisque'elle n'est versée que sur une période de 20 ans au lieu de la durée d'amortissement complète de 25 ans) [13]. Cette rétribution est toutefois inférieure de 15 à 30% (net) pour les personnes privées, car elle doit être fiscalement imposée comme revenu supplémentaire.
- Mais eu égard à la stratégie énergétique 2050 en Suisse, c'est le coût de l'énergie solaire applicable dans 15 ou 20 ans qui doit être pris en compte. L'étude [12] prévoit une baisse du prix de revient du solaire à entre 7 et 11 centimes par kWh d'ici 2030.
- L'énergie produite par les nouvelles centrales à gaz coûte entre 9 et 12 centimes par kWh [12]. En Angleterre, l'électricité générée par les nouvelles centrales nucléaires revient à 13 centimes par kWh [14]; en incluant une assurance-risques, elle coûterait plus du double de ce prix.
- A l'avenir, les installations PV compteront donc parmi les technologies productrices d'électricité les plus économiques en Suisse.

## **6. Faudra-t-il stocker l'électricité et étendre le réseau à cause du solaire?**

**Idée reçue:** «L'énergie provenant du solaire et de l'éolien est imprévisible et ne peut pas être stockée. Elle n'est donc pas en mesure de remplacer la production constante assurée par les centrales nucléaires. En l'absence de vent et pendant la nuit, les lumières s'éteindront.»

### **Réalité:**

- Grâce à ses barrages existants et planifiés, la Suisse est dans une position optimale pour pouvoir remplacer le courant produit par ses cinq centrales nucléaires par du solaire et de l'éolien. C'est ce que démontrent des études indépendantes ([5], [15]).
- Pendant la journée, le solaire permettra de réduire considérablement la production d'énergie des barrages. Durant la nuit et les jours de brume, cette production pourra être accrue en conséquence. De même, les centrales hydrauliques sont en mesure de compenser sans perte les fluctuations de l'énergie éolienne, grâce au décalage de la production (sans accumulation par pompage).
- Les prévisions météorologiques permettent de planifier la production d'énergie solaire et éolienne plusieurs jours et heures à l'avance. Sur cette base, il est possible de contrôler l'intervention des centrales hydrauliques (et en partie aussi la consommation) de façon à ce que la production soit alignée à la consommation d'énergie à tout moment.
- Fin 2013, la part d'énergie solaire au mix énergétique suisse s'est élevée à 1% environ [16]. Ce n'est que dans quelques décennies, lorsque cette part se situera entre 20 et 30%, que la production d'énergie solaire pourra dépasser la consommation durant quelques jours d'été particulièrement ensoleillés. Dans ces cas, on pourra soit réduire la production à très court terme, soit exporter le surplus en énergie solaire, soit le stocker provisoirement dans des batteries décentralisées pendant quelques heures [15].
- Quant à l'extension du réseau suisse, elle est devenue nécessaire en raison du commerce d'énergie en forte croissance avec les pays voisins [2]. La future production amplifiée d'énergie solaire ne nécessitera un renforcement du réseau que dans des cas exceptionnels (par ex. les connexions aux fermes équipées de grandes installations PV). Globalement, l'alimentation décentralisée du réseau électrique diminue sa charge tout en réduisant les pertes des centrales électriques ([1], [17]).

## **7. Quel est le coût total de l'approvisionnement futur en électricité?**

**Idée reçue:** «En Allemagne, le tournant énergétique signifie anéantir une énorme quantité de valeurs économiques. Il n'est pas conseillé de l'imiter en Suisse.»

### **Réalité:**

- Au cours des six dernières années, l'Allemagne est parvenue à réduire sa part d'énergie nucléaire de 27% pour passer à 16% (mise hors service des centrales nucléaires aux plus hauts risques) et de la remplacer par de l'énergie issue d'installations éoliennes et PV [18]. L'électricité produite par les centrales à ressources fossiles a diminué de 2,6%. C'est grâce au tournant énergétique en Allemagne que les prix de l'énergie solaire ont fortement baissé, aussi en Suisse.

- Une alimentation en courant basée exclusivement sur les énergies renouvelables (hydraulique, solaire, éolien, biogaz, etc.) en Suisse ne coûte pas plus cher au total que l'utilisation de nouvelles centrales à gaz ou nucléaires [5]. Le prix de l'électricité se situe entre 16 et 18 centimes par kilowattheure dans tous les scénarios envisageables.

## Références et arguments

- [1] Rufer D., Braunschweig A. (2013) Ökobilanz von Solarstrom. [www.e2mc.com](http://www.e2mc.com) → Projekte → Publikationen → Ökobilanz von Solarstrom
- [2] Bundesamt für Energie BFE (2013) Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2012. BBL, Verkauf Bundespublikationen, Bern
- [3] International Energy Agency (2002) Potential of Building Integrated Photovoltaics; Report IEA - PVPS T7-4; [www.netenergy.ch/pdf/BipvPotentialSummary.pdf](http://www.netenergy.ch/pdf/BipvPotentialSummary.pdf)
- [4] Akademien der Wissenschaften Schweiz (2012) Zukunft Stromversorgung Schweiz; [www.akademien-schweiz.ch/index/Publikationen/Berichte.html](http://www.akademien-schweiz.ch/index/Publikationen/Berichte.html)
- [5] Gunzinger A. (2013) Kann sich die Schweiz mit Strom aus nur erneuerbaren Energie selbst versorgen? [www.electrosuisse.ch/de/verband/etg/etg-rueckblicke/131204-energieeffizienz.html](http://www.electrosuisse.ch/de/verband/etg/etg-rueckblicke/131204-energieeffizienz.html)
- [6] Merkblatt SIA 2032 (2009) Graue Energie im Fokus, SIA Verlag, Zürich
- [7] Itten R., Frischknecht R., Stucki M. (2013) Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid. ESU-services, Uster
- [8] Datenblätter Solar-Module von SunPower (2013). [www.sunpowercorp.de](http://www.sunpowercorp.de)
- [9] International Technology Roadmap for Photovoltaic, Results 2012. [www.itrpv.net](http://www.itrpv.net)
- [10] Frischknecht R., Steiner R., Jungbluth N. (2009) Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Bundesamt für Umwelt, Bern
- [11] PV Cycle (2013) Recycling of Silicon based PV. <http://www.pvcycle.org/pv-recycling/recycling-of-si/>
- [12] Fraunhofer ISE (2013) Stromgestehungskosten erneuerbare Energien. [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)
- [13] Energieverordnung EnV (Stand am 1. Januar 2014) Systematische Rechtssammlung SR 730.01, [www.admin.ch](http://www.admin.ch)
- [14] Rasonyi P. (24.10.2013) Hastige Renaissance der Kernenergie. NZZ Nr. 247, Seite 9
- [15] Andersson G., Boulouchos K., Bertschinger L. (2011) Energiezukunft Schweiz. Energy Science Center, ETH Zürich
- [16] Estimation provisoire de Swissolar, l'association suisse des professionnels de l'énergie solaire en date de mars 2014. La version définitive du « Recensement du marché de l'énergie solaire en 2013 » sera disponible en été 2014.
- [17] Bucher Ch. (2012) Auswirkungen eines hohen Photovoltaikanteils auf das Niederspannungsnetz. Nationale Photovoltaik-Tagung 2012, Baden
- [18] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2013) Energiedaten: Gesamtausgabe. [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

## **Auteur**

Daniel Rufer, Dr sc. techn. ETH, MBA

Etudes, doctorat et activité de chargé de cours à l'ETH Zurich. Activité d'ingénieur, puis diplôme MBA à l'INSEAD, Fontainebleau. Responsable de service à l'institution de formation BWI à Zurich, puis fondation et direction d'une entreprise de conseil stratégique. Mandats aux Conseils d'administration et de Direction et activité de conseiller et d'agréé en matière de stratégie, de gestion environnement, de bilans énergétiques et écologiques, de qualité et de communication.

Adresse: E2 Management Consulting AG, Wehntalerstrasse 3, 8032 Zürich  
E-mail: [drufer@e2mc.com](mailto:drufer@e2mc.com)

L'auteur recevra avec plaisir vos commentaires, questions, précisions ou mises à jour.

Version 26.05.2014