**Évaluation de l’impact environnemental lié à la production d'électricité d’origine photovoltaïque par analyse du cycle de vie**

**S. Gerbinet, S. Belboom, A. Léonard**

*Laboratoire de Génie Chimique – Procédés et Développement durable, Université de Liège, Belgique*

**saicha.gerbinet@.ac.be; sbelboom@ulg.ac.be; a.leonard@ulg.ac.be**

Pour évaluer l’impact environnemental des panneaux photovoltaïques, la méthodologie d’analyse du cycle de vie a été appliquée. L’Analyse du Cycle de Vie (ACV) ou Life Cycle Assessment (LCA) traite les aspects et les impacts environnementaux potentiels tout au long du cycle de vie d’un produit, de l’acquisition des matières premières à sa production, son utilisation et son traitement en fin de vie. Le but de la méthodologie ACV est de rassembler et d’analyser tous les intrants et sortants pertinents pour évaluer les impacts potentiels de ceux-ci, sur l’environnement et la santé humaine. Il s’agit également d’un outil de comparaison qui permet d’évaluer la charge environnementale de plusieurs produits ou procédés. La méthodologie ACV comprend quatre phases interdépendantes définies par les normes ISO 14040 et 14044 [[3](#_ENREF_3); [4](#_ENREF_4)]: la définition des objectifs et du champ de l’étude, la réalisation de l’inventaire, l’évaluation de l’impact environnemental, l’interprétation des résultats.

L’impact environnemental de l’alimentation électrique annuelle d’un ménager belge, soit 3650 kWh, via des panneaux photovoltaïques a été calculé. Ensuite, il a été comparé à celui de l’électricité disponible sur le réseau. Un panneau réalisé en silicium multicristallin a été choisi. En effet, actuellement, les panneaux en silicium représentent plus de 90 % du marché. Ceux basés sur le silicium multicristallin, vis-à-vis des panneaux réalisés en silicium monocristallin, présentent un rendement plus faible mais un coût de fabrication moins important [[10](#_ENREF_10)]. Le panneau sélectionné possède une efficacité de 14% et un coefficient de performance de 75%, ce dernier permettant de prendre en compte les pertes entre la cellule et l’utilisation du courant. Implanté en Belgique, ce panneau produit 102,6 kWh par an et par mètre carré de surface. Pour assurer l’alimentation annuelle d’un ménage belge, une surface de 35,5 m2 est nécessaire. L’entièreté de son cycle de vie a été envisagée excepter sa fin de vie qui n’a pas pu être prise en compte vu le manque de donnée à ce sujet [[1](#_ENREF_1); [6](#_ENREF_6); [8](#_ENREF_8)].



Figure 1: scores caractérisés en pourcentages relatifs

L’analyse du cycle de vie du panneau photovoltaïque a été conduite en EndPoint en utilisant la méthode ReCiPe [[2](#_ENREF_2)]. La caractérisation (voir Figure 1) permet de conclure que l’étape la plus pénalisante d’un point de vue environnemental est la production de silicium de pureté suffisante. L’onduleur et le câblage électrique induisent également des impacts importants. La catégorie d’impact concernant la diminution des ressources en combustibles fossiles est prépondérante. Viennent ensuite, par ordre décroissant, l’impact du changement climatique sur la santé humaine, la toxicité humaine et la formation de particules.

Les analyses de sensibilité permettent notamment de mettre en avant le rôle important joué par le système de raccordement constitué d’un onduleur et du câblage électrique qui sont pourtant négligés dans de nombreux articles. Ceci est surtout vrai dans la catégorie concernant la diminution des ressources minérales mais dans une moindre mesure également dans les catégories liées à la toxicité humaine, à l’eutrophisation d’eau douce et à l’écotoxicité d’eau douce et marine. Globalement, négliger le système de raccordement peut conduire à sous-estimer de manière importante l’impact environnemental des panneaux photovoltaïques.

Les analyses de sensibilité permettent également de mettre en évidence que l’impact du choix de la méthode de purification pour la production du silicium est non négligeable. En effet, deux stratégies sont envisageables : d’une part, l’utilisation des rejets de l’industrie électronique qui a besoin de silicium d’une pureté supérieure à celle nécessaire pour les panneaux photovoltaïques, ou, d’autre part, la réalisation de silicium d’une pureté moindre mais suffisante pour des applications photovoltaïques, appelé alors silicium de grade solaire. Dans le cas de base, ce dernier a été considéré [[5](#_ENREF_5); [7](#_ENREF_7); [9](#_ENREF_9)]. En analyse de sensibilité, l’utilisation de silicium de grade électronique est également envisagée. Dans ce cas, l’impact environnemental global est quatre fois plus important. Les catégories d’impact pour lesquelles cette modification a le plus d’importance sont l’impact du changement climatique sur la santé humaine et sur les écosystèmes, la diminution des ressources en combustibles fossiles, la formation d’oxydants photochimiques et l’acidification terrestre.

L’analyse de sensibilité sur la méthode montre que lorsqu’une méthode MidPoint est utilisée, les conclusions sont les mêmes ce qui tend à prouver la robustesse de la méthode.

Le temps de retour énergétique a également été calculé. Il varie entre 5 et 11 ans en fonction du mix énergétique choisi pour la production du panneau. Ce temps est dans tous les cas inférieur à la durée de vie du panneau, soit 20 à 30 ans, ce qui tend à démontrer son intérêt environnemental.

L’analyse d’incertitude a été réalisée en utilisant les valeurs disponibles dans la base de données EcoInvent. Les incertitudes obtenues sont très élevées surtout dans la catégorie de la toxicité humaine (plus de 250 %) mais également dans les catégories eutrophisation d’eau douce (240 %), écotoxicité d’eau douce (190 %), écotoxicité marine (180 %) et écotoxicité terrestre (140 %). Dans les autres catégories, les incertitudes sont proches de 110%.

Ensuite, l’électricité produite par les panneaux photovoltaïques est comparée d’un point de vue environnemental avec l’électricité provenant du réseau. Cependant, cette comparaison ne tient pas compte de l’intermittence de la production électrique d’un panneau photovoltaïque. Dans le cas du mix énergétique belge ou allemand, l’utilisation des panneaux photovoltaïques permet un bénéfice environnemental important surtout pour les catégories diminution des ressources en combustibles fossiles, impact du changement climatique sur la santé humaine et la formation de particules. Par contre, le mix énergétique utilisé pour produire l’électricité en Suisse est plus avantageux que l’utilisation de panneaux photovoltaïques. Afin de réaliser ce classement, le score unique a été utilisé. Malgré les incertitudes élevées, ce classement n’est pas modifié. Vu la forte interconnexion qui règne sur le réseau électrique européen, l’implémentation de panneaux photovoltaïques semble néanmoins avantageuse d’un point de vue environnemental.

**Environmental impact of photovoltaic power by Life Cycle Assessment**

**S. Gerbinet, S. Belboom, A. Léonard**

*Laboratoire de Génie Chimique – Procédés et Développement durable, Université de Liège, Belgium*

**saicha.gerbinet@.ac.be; sbelboom@ulg.ac.be; a.leonard@ulg.ac.be**

Life Cycle Assessment (LCA) methodology has been used to determine the environmental impact of electricity produced from photovoltaics. LCA deals with the environmental aspects and potential impacts associated with all the stages of a product's life from raw material extraction through materials processing, manufacture, distribution, use, repair and maintenance, and ending by disposal or recycling. In this type of environmental assessment the energy and material flows for the entire life-cycle are surveyed and analysed with special attention to possible environmental hazard or human health problems. LCA also can be used to compare the environmental impact of different products or processes. A LCA consists of four interdependent steps defined by the norms ISO 14040 and 14044 [[3](#_ENREF_3); [4](#_ENREF_4)]: goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment and interpretation.

The environmental impact of the yearly electrical power usage of an average Belgian household, i.e. 3650 kWh, from photovoltaics has been calculated, and compared with the environmental impact of the electricity from the grid. For this analysis, a multicrystalline silicon solar cell module was chosen. Currently, the market share of the silicon modules is almost 90%. Multicrystalline silicon solar cells have a poorer yield but a lower production cost [[10](#_ENREF_10)]. The selected module has an efficiency of 14 % and a performance ratio of 75 % which shows the proportion of the energy that is actually available for export to the grid or house use after deduction of energy loss (e.g. due to thermal losses and conduction losses). In Belgium, this module produces 102.6 kWh per year and per square metre. The entirety of its life cycle has been examined, except for its end of life because of the lack of knowledge in this field [[1](#_ENREF_1); [6](#_ENREF_6); [8](#_ENREF_8)].



Figure 1: Characterization in relative percentages.

The LCA of the panel has been performed in EndPoint using the ReCiPe method [[2](#_ENREF_2)]. The characterisation shows the most penalising step is the production of silicon with high purity (figure 1). The Balance-Of-System (BOS) components, i.e. inverter and electrical conductor, have also a significant impact. The impact category concerning fossil depletion is predominant. Afterwards there are, in decreasing order, the impacts of climate change on human health, human toxicity and particulate matter formation.

The sensitivity checks show the importance of the BOS components that are nevertheless often neglected in many studies. This is, above all, true in the categories concerning mineral depletion and, to a lesser extent, human toxicity, freshwater eutrophication and marine and terrestrial ecotoxicity.

The sensitivity checks also show the impact of the technology used for silicon purification. Indeed, two technologies are available: the first uses scrap materials from the electronic industry because the degree of purity needed for silicon solar cells is somewhat lower than for integrated circuits. The second produces silicon exclusively for solar cell production, the so-called Solar Grade silicon (sog-Si). In the base case, the sog-Si has been considered [[5](#_ENREF_5); [7](#_ENREF_7); [9](#_ENREF_9)]. In the sensitivity check, the use of scrap materials from the electronic industry has been studied. Using electronic grade silicon, the global environmental impact is four times stronger. The impact categories in which this has the greatest influence are the impact of climate change on human health, the fossil depletion, the photochemical oxidant formation and the terrestrial acidification. The allocation rules used also have an important effect.

The sensibility check on the method shows that even when a Midpoint method is used for the analysis, the results are the same, which shows the robustness of the method.

The Energy PayBack Time has also been calculated. It varies between 5 and 11 years according to the origin of the electricity grid chosen for the production of the panels. In any case, it is smaller than the life span of the panels, i.e. 30 years, which explains the environmental interest of photovoltaics.

The uncertainty analysis used values from the SimpaPro software. The uncertainties are mainly very high in the categories of freshwater eutrophication (240 %), freshwater ecotoxicity (190 %), marine ecotoxicity (180 %) and terrestrial ecotoxicity (140 %). In the other categories, the uncertainties are close to 110 %.

Finally, the electricity produced from photovoltaics is compared with the electricity from the grid, from an environmental point of view. However, this comparison does not take into account the intermittence of the electrical production from photovoltaics. In the case of Belgian or German electricity mix, the use of photovoltaic modules allows a reduction of the environmental impact mainly in fossils depletion, impact of climate change on human health and particulate matter formation. However, Swiss electricity has a smaller environmental impact than the photovoltaic electricity. This comparison was done with the Unique Score. Despite the high uncertainties, this ranking does not change. Nevertheless, since the European grid is extremely interlinked, the use of photovoltaic modules seems favourable from an environmental point of view.

**Bibliography:**

[1].Alsema, E., D. Fraile, et al. (2009). Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity. Photovoltaic Power Systems Programme. I. I. E. Agency**:** 16.

[2].Goedkoop, M., R. Heijungs, et al. (2009). ReCiPe 2008 : A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level R. O. e. M. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimte en Milei. **Report I - Characterisation:** 132.

[3].ISO (2006). ISO 14040 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre. ISO.

[4].ISO (2006). ISO 14044 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices. ISO.

[5].Jungbluth, N., C. Bauer, et al. (2005). "Life Cycle Assessment for Emerging Technologies: Case Studies for Photovoltaic and Wind Power." International Journal of Life Cycle Assessment **10**.

[6].Laleman, R., J. Albrecht, et al. (2010). "Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovollaic systems in regions with a low solar irradiation." Renewable and Sustainable Energy Reviews **15**.

[7].Phylispen, G. J. M. and E. A. Alsema (1995) "Environmental life-cycle assesment of multicrystalline silicon solar cell modules."

[8].Simus, P., Y. Marenne, et al. (2011). Bilan energétique de la Wallonie en 2009 - Bilan de production et transformation. S. P. d. Wallonie, ICEDD asbl. **version 2:** 132.

[9].Stoppato, A. (2008). "Life Cycle Assesment of photovoltaic electricity generation." Energy **33**.

[10].Thibert, T. (2011). Le Photovoltaïque : etat de l'art et perscpectives. Production decentralisée d'énergie. Liège.