

PHOSTER

PHOtovoltaic STEel Roof

Photovoltaic steel roof – Toiture en acier photovoltaïque **Layman's report – rapport Layman**

LIFE ENV/FR/000479
07/2013 – 12/2017

European Commission LIFE+ programme
<http://ec.europa.eu/environment/life/>

The European Commission has co-funded the PHOSTER project
La Commission européenne a cofinancé le projet PHOSTER







TABLE OF CONTENTS

1. Introduction	P.04
2. Environmental benefits	P.06
3. Solar cell	P.08
4. Photovoltaic system	P.09
5. Field tests	P.10
6. Impacts on EU policy and the everyday life of European citizens	P.11

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction	P.04
2. Avantages environnementaux	P.06
3. Cellule photovoltaïque	P.08
4. Système photovoltaïque	P.09
5. Chantiers tests	P.10
6. Impacts sur la politique de l'UE et la vie quotidienne des citoyens Européens	P.11

INTRODUCTION

PHOSTER – *Ready-to-plug-in building integrated photovoltaic (BIPV) roofing steel envelope based on green innovative technologies and processes*

The PHOSTER project consists of the development of highly efficient eco-designed building integrated photovoltaic roofing units using an innovative and greener manufacturing process. The project intends to contribute strongly to the expansion and promotion of solar energy and to address climate change.

A prototype of a new universal solar steel roof envelope was designed, manufactured, installed and its power production monitored during the project's 54-month timeframe.

Four partners were involved in the project:

- ArcelorMittal Maizières Research (AMMR): Responsible for sustainable development matters through life cycle analysis, recycling and eco-design
- ArcelorMittal Construction (AMC): Responsible for development of the industrial process for the module & implementation of the demonstrator
- Advanced Coatings & Construction Solutions (ACCS): Responsible for development of the industrial process for the solar cells
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) – French atomic and alternative energies commission: Technical assistance for CIGS solar cell expertise

Main project activities:

- Monitoring the environmental impact of the innovative solution and its manufacture.
- Development of high-efficiency solar cells on steel using innovative and optimised manufacturing processes.
- Prototyping new universal eco-designed roofing envelope and its innovative manufacturing processes.
- Implementing two demonstrators in two different locations with different exposure to the sun. This will enable assessment under different conditions of the efficiency of the innovative green energy generation concept

INTRODUCTION

PHOSTER – *Une enveloppe en acier pour toiture photovoltaïque intégrée au bâtiment (BIPV) prête à raccorder, basée sur des technologies et des procédés innovants verts.*

Le projet PHOSTER consiste en la mise au point d'un élément de toiture photovoltaïque intégré au bâtiment, à haut rendement, utilisant un procédé de fabrication innovant et plus écologique. Le projet a l'intention de contribuer fortement à l'expansion et la promotion de l'énergie solaire et de répondre au problème environnemental du changement climatique.

Un prototype d'une nouvelle enveloppe de toit en acier solaire universelle a été conçu, fabriqué, installé et sa production d'électricité suivie pendant les 54 mois du projet.

Quatre partenaires ont été impliqués dans le projet:

- ArcelorMittal Maizières Research (AMMR) : Responsable des questions de développement durable à travers l'analyse du cycle de vie, le recyclage et l'écoconception.
- ArcelorMittal Construction (AMC) : Responsable du module développement de procédés industriels et implémentation de démonstrateurs
- Advanced Coatings & Construction Solutions (ACCS) : Responsable du développement des procédés industriels cellules solaires
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) : Assistance technique pour l'expertise des cellules solaires CIGS

Principales activités du projet :

- Suivi de l'impact environnemental de la solution innovante et de sa fabrication.
- Développement de cellules solaires à haut rendement sur l'acier en utilisant des procédés de fabrication innovants et optimisés.
- Prototypage de la nouvelle enveloppe de toiture éco-conçue universelle et de ses procédés de fabrication innovants.
- Implantation de deux démonstrateurs dans deux endroits différents avec une exposition différente au soleil. Cela permettra d'évaluer l'efficacité du concept innovant pour produire de l'énergie verte dans différentes conditions

Environmental benefits:

- No use of cadmium (rare and hazardous material)

Avantages pour l'environnement :

- Aucune utilisation de cadmium (matériau rare et toxique)

Environmental benefits:

- Increase of the production of renewable energy thanks to a better affordability of the solar energy achieved through an enhanced energy pay back time of 0,6 Years
- Improved energy efficiency through an optimization of the different manufacturing stages: reduction of 50% energy consumption for the selenization process
- Reduction of 20% of material for the solar cells production

Avantages pour l'environnement :

- Compensation de l'énergie nécessaire à la production de la solution Phoster en 0,6 année de fonctionnement
- Participation à l'augmentation de la production d'énergie d'origine renouvelable grâce à la compétitivité économique associée
- Amélioration de l'efficacité énergétique grâce à l'optimisation des étapes de fabrication :
 - Réduction de 50% de la consommation d'énergie pour le procédé de sélénisation- Réduction de 20% des matériaux pour la fabrication de cellules solaires

Environmental benefits:

- No need of using additional construction materials and attachment materials for frame modules such as rail, clips, screws, etc
- Aesthetical improvement

Avantages pour l'environnement :

- Suppression de l'utilisation des matériaux de construction nécessaires aux modules cadrés : rail, fixation, connectique, clips... modules cadrés
- Amélioration esthétique



Raw materials for cells, modules and final steel roofing envelope

Matières premières pour les cellules, les modules et l'enveloppe finale de couverture métallique



CIGS solar cells manufacturing

- Optimized roll to roll process
- Use of high efficiency rotating magnetron cathodes

Fabrication des cellules solaires CIGS

- Procédé optimisé de dépôt en continu sur bobine
- Utilisation de cathodes rotatives magnétron à haute efficacité



BIPV module manufacturing

- Optimized roll to roll process
- Use of universal Steel roofing envelope in accordance with construction legislations
- Enhanced module durability > 25 years

Fabrication de modules BIPV

- Procédé optimisé de dépôt en continu sur bobine
- Utilisation de l'enveloppe de couverture métallique universelle conformément à la construction
- Longévité accrue des modules > 25 ans

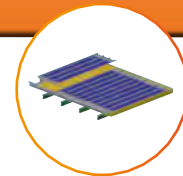


Integration in buildings (new construction or renovation market)

- No need of on-site installation of framed PV module
- Preservation of the thermal isolation of the building

Intégration dans les bâtiments (construction neuve ou rénovation)

- Pas besoin d'installation sur chantier de modules PV cadrés
- Préservation de l'isolation thermique du bâtiment



Manufacturing Process with an optimized production yield producing « ready to plug » PV steel roofing envelop

Procédé de fabrication à rendement optimisé pour la production d'enveloppes de couverture métallique PV « prêtes-à-brancher »

ENVIRONMENTAL BENEFITS

The aim of PHOSTER is to contribute to further limiting the environmental impacts of buildings and photovoltaic (PV) systems, reducing environmental impacts throughout the entire lifecycle. A product lifecycle starts with the extraction of natural resources to be used as raw materials and for energy generation. Materials and energy are then part of production, distribution, use, maintenance, and eventually reuse, recycling, recovery or final disposal.

The European Commission has estimated that more than 80% of the environmental impacts of a product are determined in the design phase; ecodesign is thus an effective tool for reducing a product's footprint. Ecodesign seeks to minimise the lifecycle environmental impacts of a product from the earliest stage of design by reducing: energy, material and water consumption; emissions to air, water and soil; use of hazardous materials; and waste generation. Within PHOSTER, these principles translated into maximising electricity production, avoiding the use of toxic cadmium, reducing use of resources by removing the aluminium frame, reducing energy consumption during manufacturing, and ensuring high recyclability.

Alternative materials were used in the photovoltaic cells, avoiding the use of cadmium. A 40% reduction of the carbon footprint and primary energy consumption for manufacturing the photovoltaic modules was achieved by employing innovative manufacturing practices. This, combined with direct integration of the module as a structural roofing component (eliminating the aluminium frame and reducing the thickness of the steel profile) enabled significant reduction of the material use, processing and installation stages, leading to a 50% reduction in CO₂ emissions compared to a conventional photovoltaic system. An 8.8% increase in the electricity produced in comparison to currently available building integrated photovoltaic modules on steel roofs was achieved by optimising the overall design of the photovoltaic module, hence reducing the shadow effect on the steel profile. Lastly, thanks to the magnetic property of steel, all steel components can be recovered and recycled, achieving a recycling rate in excess of 90%.

AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX

L'objectif de PHOSTER est de contribuer à réduire davantage les impacts environnementaux des bâtiments et des systèmes photovoltaïques (PV), en réduisant les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie. Un cycle de vie du produit commence par l'extraction des ressources naturelles à utiliser comme matières premières et pour la production d'énergie. Les matériaux et l'énergie font alors partie de la production, de la distribution, de l'utilisation, de la maintenance et, éventuellement, de la réutilisation, du recyclage, de la récupération ou de l'élimination finale.

La Commission européenne a estimé que plus de 80% des impacts environnementaux d'un produit sont déterminés lors de la phase de conception; L'écoconception est donc un outil efficace pour réduire l'empreinte d'un produit. L'écoconception vise à minimiser les impacts environnementaux du cycle de vie d'un produit dès le début de la conception en réduisant: la consommation d'énergie, de matériaux et d'eau; les émissions dans l'air, l'eau et le sol; l'utilisation de matières dangereuses; et la production de déchets. Au sein de PHOSTER, ces principes se sont traduits par la maximisation de la production d'électricité, en évitant l'utilisation de cadmium toxique, en réduisant l'utilisation des ressources par la suppression du cadre en aluminium, en réduisant la consommation d'énergie pendant la fabrication et en garantissant une recyclabilité élevée.

Des matériaux alternatifs ont été utilisés dans les cellules photovoltaïques, évitant l'utilisation de cadmium. Une réduction de 40% de l'empreinte carbone et de la consommation d'énergie primaire pour la fabrication des modules photovoltaïques a été réalisée grâce à des pratiques de fabrication innovantes. Ceci, combiné à l'intégration directe du module comme partie structurale de la toiture (suppression du cadre en aluminium et réduction de l'épaisseur du profilé en acier) a permis de réduire significativement les étapes d'utilisation, de traitement et d'installation des matériaux et de réduire les émissions de CO₂ par rapport à un système photovoltaïque conventionnel. Une augmentation de 8,8% de l'électricité produite par rapport aux modules photovoltaïques intégrés aux bâtiments actuellement disponibles sur les toitures en acier a été obtenue en optimisant la conception globale du module photovoltaïque, réduisant ainsi l'effet d'ombre sur le profilé en acier. Enfin, grâce à la propriété magnétique de l'acier, tous les composants en acier peuvent être récupérés et recyclés, atteignant un taux de recyclage supérieur à 90%.

LIFE CYCLE AND ACHIEVEMENTS

CYCLE DE VIE ET RÉSULTATS



SOLAR CELL

A solar cell is a diode that generates power when exposed to solar radiation; it is produced by creating a stack of layers of different materials. The layers' efficiency in absorbing the light is dependent on the photovoltaic technology, and the CIGS (Copper, Indium, Gallium and Selenium) technology chosen for the project has such good absorbent properties that only two micrometres (0.002 mm) can absorb most of the light, so that this very thin layer can be deposited on a very wide variety of substrates, including flexible ones. This is why this technology, already in industrial production using glass substrates, has been implemented on a functionalised steel substrate within the framework of the project.

The functionalisation of the steel substrate is undertaken using wet deposition techniques while the solar cells are produced by a succession of vacuum-based dry coatings. The completion of these coatings requires a high degree of cleanliness, because dust and particles in coatings can significantly degrade performance: to this end, we designed and built two "roll-to-roll" pilot lines (substrate is fed from and onto a roll or coil), dedicated to wet and dry coatings on steel coils, called wetcoater and tapecoater respectively, and installed them in a clean room environment.

These pilot lines exhibit similar features, making their combination quite unique:

- Ability to process steel coils up to 250 mm in width and with thicknesses ranging from 0.05 mm to 0.4 mm,
- Speeds ranging from a few mm per minute up to several metres per minute,
- Modularity in the process implementation, enabling deposition in any order.

These two pilot lines are combined with a third one known as the selenisation line, enabling thermal treatment of the deposited layers under a specific selenium atmosphere in order to convert them into a photoactive CIGS layer.

Significant achievements have been obtained on the pilot lines, such as the production of insulated coils and the manufacture of solar cells and mini-modules.

CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

Une cellule solaire est une diode générant une puissance lorsqu'elle est exposée aux rayons du soleil, composée d'un empilement de couches de matériaux différentes. Selon la technologie photovoltaïque, les couches absorbent plus ou moins bien la lumière solaire, et la technologie CIGS (pour Cuivre, Indium, Gallium et Sélénium) choisie dans le cadre du projet possède de telles propriétés d'absorption qu'une couche de deux micromètres (0,002 mm) peut absorber une très grande partie de la lumière, rendant cette couche très fine déposable sur une très large variété de substrats, y compris les substrats flexibles. C'est pourquoi cette technologie, déjà industrialisée sur support verre, a été implémentée sur acier fonctionnalisé dans le cadre du projet.

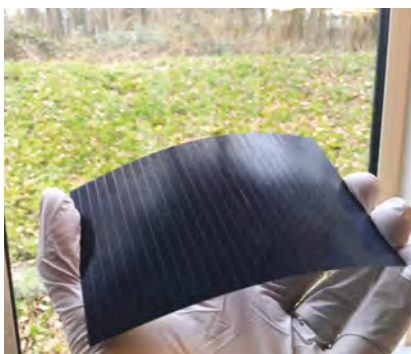
La fonctionnalisation du substrat acier pour son isolation électrique est réalisée dans un premier temps par voie humide et les cellules solaires sont réalisées par une succession de dépôts de couches réalisés sous vide. La réalisation de ces revêtements requiert un grand degré de propreté afin d'éviter l'incorporation de poussières ou particules au sein des dépôts, qui peuvent dégrader les performances de façon significative. A cette fin, nous avons conçu et réalisé deux lignes prototypes fonctionnant au défilé permettant de traiter des bobines d'acier par voie humide et sèche, appelées respectivement wetcoater et tapecoater, installées en salle blanche.

Ces prototypes présentent des similarités rendant leur combinaison unique :

- possibilité de traiter des bobines d'acier de 250 mm de largeur, et dans une gamme d'épaisseurs allant de 0.05 mm jusqu'à 0.4 mm
- vitesse de défilement pouvant aller de quelques mm par minute jusqu'à plusieurs mètres par minute,
- modularité dans l'implémentation des procédés de dépôt, rendant possible la réalisation de dépôts dans des ordres différents.

Ces deux prototypes sont combinés à un troisième prototype nommé ligne de sélénisation, permettant de traiter thermiquement les couches déposées, sous atmosphère sélénium, afin de les convertir en une couche CIGS photo active.

Ces lignes auront permis au cours du projet de réaliser plusieurs bobines d'acier fonctionnalisées et également de réaliser des cellules solaires et mini-modules.



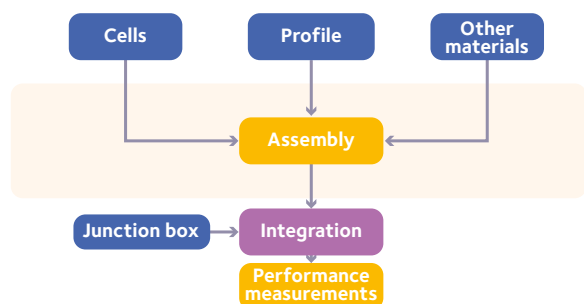


PHOTOVOLTAIC SYSTEM

The PHOSTER solar panel is a Building Integrated Photovoltaic (BIPV) module. This means that the photovoltaic module generates energy but is also a watertight roof component and as such has to resist wind, snow and thermal expansion as well as allowing water to drain.

The modules are simply plugged into each other. As a consequence, additional benefits compared to other current solutions are lower costs and ease of installation as well as improved integrity of the photovoltaic system.

The photovoltaic modules are manufactured on the PHOSTER pilot line based in ArcelorMittal Construction premises. This line comprises a workshop, an assembly table, a laminator and an inspection table.



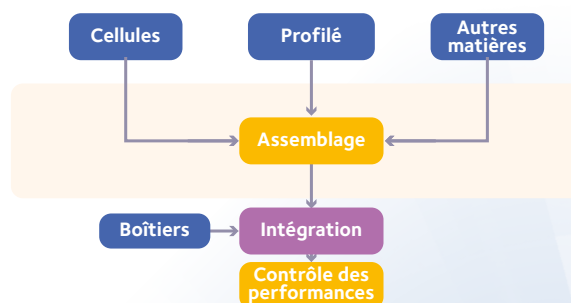
Significant improvements have been achieved over time to finally obtain Phoster modules produced with 13% efficient solar cells.

SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Le panneau solaire PHOSTER est un module photovoltaïque intégré au bâtiment (BIPV). Cela signifie que le module photovoltaïque doit générer de l'énergie mais qu'il est également un composant de toiture étanche et qu'il doit résister au vent, à la neige, à la dilatation thermique et être capable de drainer l'eau.

Les modules sont simplement branchés les uns aux autres. En conséquence, les avantages supplémentaires par rapport aux autres solutions actuelles sont des coûts plus bas et une facilité d'installation ainsi qu'une meilleure intégrité du système photovoltaïque.

Les modules photovoltaïque sont fabriqués sur la ligne pilote PHOSTER basée dans les locaux d'ArcelorMittal Construction. Cette ligne est constituée d'un atelier, d'une table de montage, d'une plastifieuse et d'une table d'inspection.



Des améliorations significatives ont été apportées au fil du temps pour finalement atteindre les modules Phoster réalisés avec des cellules solaires efficaces de 13%.

FIELD TESTS

In the framework of the PHOSTER project, 2 field tests were developed and monitored to evaluate the performance of the solar modules:

- 1 4 m² of Phoster modules are installed as part of a non-ventilated warm roof of an existing residential house in Liège, Belgium.
- 2 6 m² of Phoster modules are installed on a new ventilated cycle shelter in Haironville, France. These panels supply the energy for 2 electric bikes which are used daily.

LOCATION	INSTALLED POWER [W]
Liège	200
Haironville	300

The following parameters are measured:

- Current I, Voltage U, Power W
- Temperature of the modules, weather (temperature, humidity) and solar irradiation.

Data acquisition commenced in mid-July 2017 and will continue after the LIFE project in 2018. Initial analysis tends to demonstrate that PHOSTER modules respond correctly at low irradiation levels with a long generation time per day.



CHANTIERS TESTS

Dans le cadre du projet PHOSTER, 2 chantiers tests ont été développés et suivis pour évaluer les performances des modules solaires:

- 1 4 m² de modules Phoster sont installés au niveau d'un toit chaud non ventilé d'une maison d'habitation existante à Liège, Belgique.
- 2 6 m² de modules Phoster sont installés sur un nouvel abri à vélos ventilé à Haironville, France. Ces panneaux fournissent l'énergie pour 2 vélos électriques qui sont utilisés quotidiennement.

EMPLACEMENT	PUISSANCE INSTALLÉE [W]
Liège	200
Haironville	300

Les paramètres suivants sont mesurés:

- Courant I, Tension U, Puissance W
- Température des modules, conditions météorologiques (température, hygrométrie) et irradiation solaire.

L'acquisition des données a commencé à partir de la mi-juillet 2017 et se poursuivra après le projet LIFE en 2018. La première analyse tend à démontrer que les modules de PHOSTER répondent correctement aux faibles niveaux d'irradiation avec un temps de production important par jour.



IMPACTS ON EU POLICY AND THE EVERYDAY LIFE OF EUROPEAN CITIZENS

PHOSTER has the potential to provide a significant contribution to the European Union's 2020 and 2030 sustainable energy objectives. The achievement of its environmental targets is promoted through ecodesign, by employing Life Cycle Assessment from as early as the product development phase. PHOSTER strongly promotes solar energy and contributes to the European climate change policy aimed at increasing the use of renewable energy as well as energy efficiency in buildings. Lastly, it does not use cadmium, which is a rare and hazardous material currently used to produce solar cells. This reduces the environmental footprint, increases the product's end-of-life recyclability potential and contributes to the development of a European Circular Economy.

Our prototype demonstration is an important milestone towards mass production. The implementation of a ready-to-plug-in photovoltaic steel roofing envelope industrial production line could lead to the immediate creation of jobs, resulting in a positive economic impact. In addition, the replication of this new technology worldwide could generate further industrial activity and employment. Lastly, PHOSTER will bring added value to the construction and energy sectors by providing active roofs and, as such, will positively impact these strategic sectors for many European economies.



IMPACTS SUR LA POLITIQUE DE L'UE ET LA VIE QUOTIDIENNE DES CITOYENS EUROPEENS

PHOSTER a le potentiel d'apporter une forte contribution aux objectifs 2020 et 2030 de l'Union européenne en matière d'énergie durable. La réalisation de ses objectifs environnementaux est encouragée grâce à l'éco-conception, en utilisant l'évaluation du cycle de vie dès la phase de développement du produit. PHOSTER promeut fortement l'énergie solaire et contribue à la politique européenne de changement climatique visant à

augmenter l'utilisation des énergies renouvelables ainsi que l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Enfin, il n'utilise pas le cadmium, un matériau rare et dangereux actuellement utilisé pour produire des cellules solaires, ce qui réduit l'empreinte environnementale et augmente le potentiel de recyclage du produit en fin de vie, contribuant ainsi au développement d'une économie circulaire européenne.

Notre démonstration de prototype est une étape importante vers la production de masse. La mise en place d'une ligne de production

industrielle d'enveloppe de toiture en acier photovoltaïque prête à l'emploi pourrait conduire à la création immédiate d'emplois, ce qui se traduirait par un impact économique positif. En outre, la reproduction de cette nouvelle technologie à l'échelle mondiale pourrait générer davantage d'activité industrielle et d'emplois. Enfin, PHOSTER apportera une valeur ajoutée aux secteurs de la construction et de l'énergie en fournissant des toitures actives et, à ce titre, aura un impact positif sur ces secteurs stratégiques pour de nombreuses économies européennes.

Published 03/2018

Publié 03/2018

European Commission LIFE+ program

<http://ec.europa.eu/environment/life/>

The European Commission has co-funded the PHOSTER project
La Commission européenne a cofinancé le projet PHOSTER

Total budget: 5,062,824 €

EU contribution: 2,456,412 €

Coordinator: ArcelorMittal Maizières Research S.A (FR)

PARTNERS:



Advanced Coatings &
Construction Solutions SCRL (BE)



ArcelorMittal

ArcelorMittal Construction, France (FR)



Commissariat à l'Énergie Atomique
et aux Énergies Alternatives (FR)

www.life-phoster.eu - info@life-phoster.eu