



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des  
transports, de l'énergie et de la communication DETEC

**Office fédéral de l'énergie OFEN**  
Recherche énergétique

**Rapport final**

---

# Application de modules PV flexibles sur le site de production Flexcell

---





**Date: 2011**

**Lieu:** Yverdon-les-Bains

**Prestataire de subventions:**

Office fédéral de l'énergie OFEN  
Section Recherche énergétique et cleantech  
CH-3003 Berne  
[www.ofen.admin.ch](http://www.ofen.admin.ch)

**Bénéficiaires de la subvention :**

VHF Technologie SA  
Av. Edouard Verdan 2  
CH-1400 Yverdon-les-Bains  
[info@flexcell.com](mailto:info@flexcell.com), [www.flexcell.ch](http://www.flexcell.ch)

**Auteur(s):**

F. Galliano, D. Fischer

**Suivi du projet à l'OFEN:**

Yasmine Calisesi, [yasmine.calisesi@bfe.admin.ch](mailto:yasmine.calisesi@bfe.admin.ch)  
Stefan Oberholzer, [stefan.oberholzer@bfe.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)  
Stefan Nowak, [stefan.nowak@netenergy.ch](mailto:stefan.nowak@netenergy.ch)

**Numéro du contrat de l'OFEN:** SI/500399-01

**Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions du présent rapport.**



## Zusammenfassung

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung, Installation und Überwachung verschiedener gebäudeintegrierter PV-Produkte und Installationslösungen, die auf der Technologie von Flexcell basieren, auf den Gebäuden der Produktionsstätte von Flexcell in Yverdon. Die Art der Installation umfasst Anwendungen auf isolierten Metall-Sandwichpaneelen, auf korrodierten Metallblechen, auf kiesbedeckten Flachdächern, auf bituminösen Flachdächern und eine Anwendung als eigenständiges Dach.

Während des Berichtszeitraums wurde das große Dach mit 86,4 kWp, das auf die Sandwich-Paneele der Lagerhalle ("Lager"-Standort) aufgebracht wurde, im zweiten Betriebsjahr überwacht. Seit der Abschaltung eines Teils des Standorts im Juli 2010 aufgrund von Qualitätsproblemen produzierte die Anlage 1,5 Jahre lang entsprechend den erwarteten Simulationen.

Im Sommer 2010 wurden zwei neue Standorte eingerichtet, an denen eine wesentliche technologische Verbesserung eingeführt wurde, um ein wichtiges Zuverlässigkeitsproblem zu lösen: die Zuverlässigkeit der Kontaktfolie/Kupferband. Nach 1½ Jahren der Überwachung sind die Ergebnisse äußerst positiv, und mit der neuen Technologie gilt dieses Zuverlässigkeitsproblem als vollständig gelöst.

Darüber hinaus wurden im Laufe des Jahres 2011 zwei neue Anlagen hinzugefügt, die neue wichtige Meilensteine für die Entwicklung des Unternehmens setzten: der erste Prototyp der Solarmarkise und der erste Standort mit der Tandem a-Si/a-Si-Technologie.

## Résumé

Le but de ce projet est de développer, d'installer et de surveiller divers produits PV intégrés aux bâtiments et des solutions d'installation basées sur la technologie de Flexcell sur les bâtiments du site de production de Flexcell à Yverdon. Le type d'installation comprend des applications sur des panneaux sandwich métalliques isolés, sur des tôles métalliques corruguées, sur des toits plats recouverts de gravier, sur des toits plats bitumineux, et une application en tant que toit autonome.

Au cours de la période de référence, la grande toiture de 86,4 kWc appliquée sur les panneaux sandwich du hall de stockage (site "stock") a fait l'objet d'un suivi pour la deuxième année de fonctionnement. Depuis la fermeture d'une partie du site en juillet 2010 en raison de problèmes de qualité, l'installation a produit selon les simulations prévues pendant 1,5 an.

Deux nouveaux sites ont été installés à l'été 2010, où une amélioration technologique majeure a été introduite pour résoudre un problème de fiabilité important : la fiabilité du film de contact/ruban de cuivre. Après des années de suivi sur 1½, les résultats sont extrêmement positifs et, grâce à la nouvelle technologie, ce problème de fiabilité est considéré comme entièrement résolu.

En outre, en 2011, deux nouvelles installations ont été ajoutées qui ont posé de nouveaux jalons importants pour le développement de l'entreprise : le premier prototype d'auvent solaire et le premier site avec la technologie tandem a-Si/a-Si.



## Summary

The goal of this project is to develop, install and monitor various building integrated PV products and installation solutions based on Flexcell's technology on the buildings of Flexcell's production site in Yverdon. The type of installation includes applications on insulated metal sandwich panels, on corrugated metal sheets, on gravel covered flat roofs, on bituminous flat roofs, and an application as a stand-alone roof.

During the reporting period, the large 86.4kWp roof applied on the sandwich panels of the storage hall ("stock"-site) was monitored for the second year of operation. Since the shut down of a part the site in July 2010 due to quality problems, the installation produced according to the expected simulations for 1.5 years.

Two new sites were installed in summer 2010 where a main technological improvement was introduced to tackle an important reliability issue; the reliability of the contact film/copper ribbon. After 1½ years of monitoring the results are extremely positive and with the new technology this reliability issue is considered as completely solved.

Further, during 2011, two new installations were added that set new important milestones for the development of the company: the first prototype of solar awning and the first site with tandem a-Si/a-Si technology



# APPLICATION DE MODULES PV FLEXIBLES SUR LE SITE DE PRODUCTION

## Annual Report 2010

Author and Co-Authors	Michel Gander, Sandrine Curty, Diego Fischer
Institution / Company	VHF Technologie SA
Address	Av. Edouard Verdun 2, 1400 Yverdon-les-Bains
Telephone, E-mail, Homepage	024 423 08 90
Project- / Contract Number	103202 / 154220
Duration of the Project (from – to)	15 <sup>th</sup> may 2009 – 31 <sup>th</sup> december 2012
Date	07/12/2010

### ABSTRACT

The goal of this project is to develop, install and monitor various building integrated PV products and installation solutions based on Flexcell's technology on the buildings of Flexcell's production site in Yverdon. The type of installations include application on insulated metal sandwich panels, on corrugated metal sheets, on gravel covered flat roofs, on bituminous flat roofs, and an application as a stand-alone roof.

During the reporting period, the large 86.4kWp roof applied on the sandwich panels of the storage hall ("stock"-site) was monitored over a first full year of operation. In this initial installation, which was realized with production startup modules of 2008, a first batch of modules show still some quality problems, such that a section of this roof was shut down in order to monitor correctly the remaining part of this roof. As a result, this roof shows excellent performance ratios over the second semester of 2010.

Further, during 2010, 3 more installations were realized and connected to the grid, including an installation where MO-type modules were for the first time used to perform the actual water tightness of a roof ("cafeteria"-site).

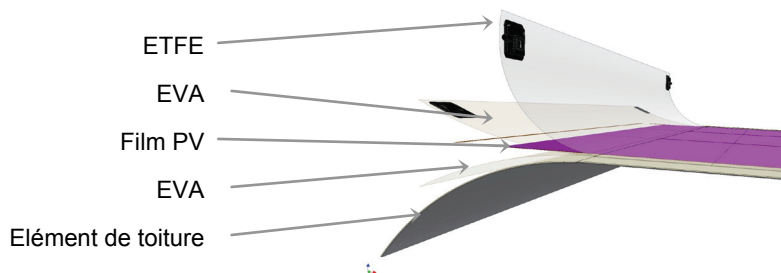
## Buts du projet

Sise à Yverdon-les-Bains, VHF-Technologies SA, développe, produit et commercialise des modules solaires flexibles connu sous la dénomination « Flexcell ». La technologie de déposition par plasma haute fréquence de silicium amorphe en couches minces sur substrat plastique initié à l'IMT de l'Université de Neuchâtel est unique au monde et s'adapte particulièrement bien à la production de module BIPV.

La diversité des toitures du site de production de l'usine Flexcell à Yverdon permet de réaliser différentes installations (de 1 à 85kWp) pour atteindre une puissance PV installée de 140kWp. Les modules Flexcell légers s'adaptent à de nombreuses nature de toiture: bac acier, panneaux sandwich, membrane bitumineuses et polymères. Ils sont installés sans nécessairement requérir de support spécifique, mais directement sur la toiture existante ou monté en remplacement de l'étanchéité.

Ce projet vise à caractériser les diverses modes d'installation et les différents type de modules photovoltaïques offert par cette technologie. Il s'agit plus précisément de :

1. Illustrer différentes nouvelles solutions BIPV
2. Etablir le détail des couts complets investis dans chaque toiture pv
3. Mesurer les productions d'énergie et calculer la performance de chaque site en fonction des particularités architecturales et des spécificités des modes d'installations
4. Disposer d'un site démonstratif fonctionnel



**FIGURE 1: DECOMPOSITION DE L'ENCAPSULATION D'UN MODULE FLEXCELL**

Les objectifs pour l'année 2010 consistaient à procéder à la réalisation de plusieurs installations, de tester différents types de fixation, de tester le fonctionnement d'une installation branchée sur un onduleur sans transformateur et d'assurer le suivi énergétique des installations réalisées précédemment.

## Brève description du projet

### 1. Abri cafétéria (#13)

Le site # 13 de « l'Abri cafétéria » est né d'une volonté d'intégration optimale de plusieurs sources solaires. En effet, l'objectif était de proposer une toiture à l'aspect uniforme pour une installation solaire thermique et photovoltaïque. La collaboration avec l'entreprise Energie Solaire SA a permis de développer un module de dimensions et de fixation identiques à celles de leurs modules thermiques.

Le développement du produit a été réalisé durant le premier trimestre 2010, le montage des modules a eu lieu en mai et l'installation a été mise en service en juin 2010.

### 2. Garages (#5)

Le site # 5 « Garages » a été réalisé dans le courant de l'année 2010. Selon les calculs, les cellules photovoltaïques à couche mince sur support flexible mince présentent une capacité plus importante que les cellules sur substrat de verre et considérée comme potentiellement dangereuse pour les personnes et les choses. Par conséquent, ce type d'installation doit être branché sur un onduleur avec transformateur interne. Ce qui permet une isolation galvanique entre la source photovoltaïque et le réseau de distribution. L'objectif de cette installation était donc de disposer d'une toiture de test pour y connecter des modules Flexcell sur un onduleur sans transformateur.

### 3. Chaufferie (#11)

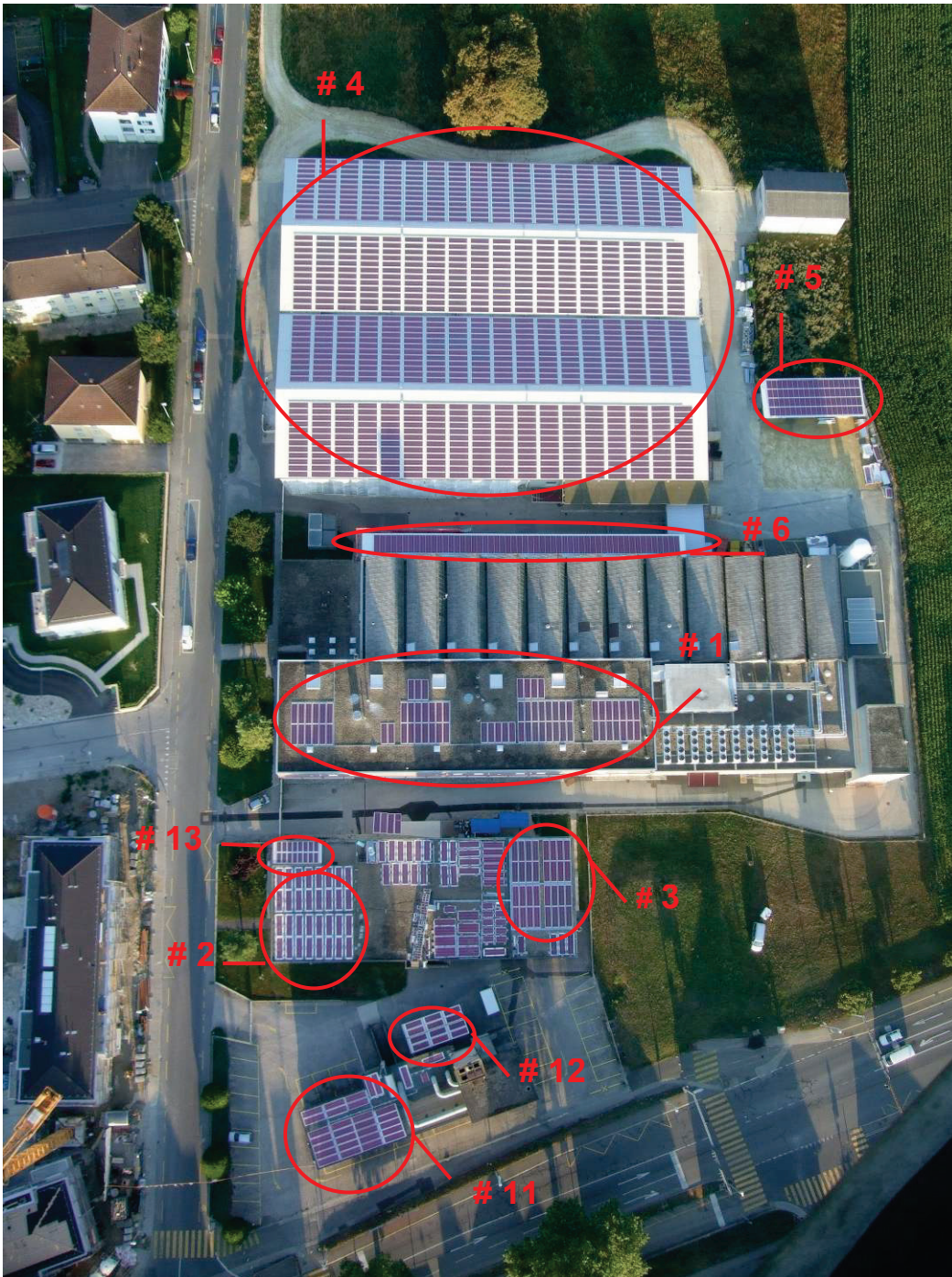
Le site # 11 de la « Chaufferie » est l'installation de test de colles sur une membrane d'étanchéité bitumineuse avec paillettes d'ardoise. 4 types de fixation ont été testés sur cette toiture : des modules laminés sur une membrane polyoléfine TPO bituminée et collée à chaud, des modules laminés sur plaques métalliques et collés avec colles froides ainsi que des modules laminés sur plaques métalliques fixés mécaniquement sur des plaquettes, elles-mêmes collées à chaud sur la membrane d'étanchéité de la toiture ainsi que des modules imprégnés de bitume puis collés à chaud en plein sur la membrane.

### 4. Stocks (#4)

L'installation # 4 du « Stock » a été mise en service l'année précédente (2009) et elle fait l'objet de suivi sur cette période d'évaluation (2010)



**FIG. 1: REALISATION DE L'ABRI CAFETERIA (SITE #13, HAUT A GAUCHE), DES GARAGES (SITE #5, HAUT A DROITE), DU PROTOTYPE TPO COLLE A CHAUD (SITE #11, BAS A GAUCHE) ET DES STOCKS (SITE #4, BAS A DROITE)**



**FIG. 2: PRISE DE VUE AIRIAINNE DU SITE FLEXCELL EN SEPTEMBRE 2010. PENDANT L'ANNEE 2010 ON A REALISEES LES INSTALLATIONS #5, #11, ET #13.**

## **Travaux effectués et résultats acquis**

### **1. Abri cafétéria**

Le principe de fixation des modules selon la structure créée par Energie Solaire SA est le suivant : il s'agit d'un rail en aluminium à fixer directement sur la charpente à l'aide de taquet. Dans le profil des rails, est posée la tôle ondulée. Des joints en caoutchouc EPDM sont glissés dans les rails latéraux du profilé en aluminium. Ensuite, il faut placer les modules, à ras du bord des « T ». On vient fixer le tout avec un joint en EPDM, qui assure à la fois l'étanchéité et la fixation. Un nouveau module 1.5S11P a été développé pour satisfaire aux contraintes spécifiques des dimensions de ce système.

La puissance installée est 800 Wp, 4 strings de 4 modules. L'onduleur utilisé est un Synny Boy 700 de SMA. Le site a été mis en service le 23 juin 2010. Depuis ce jour, l'installation a produit 476 kWh au 10.12.2010.

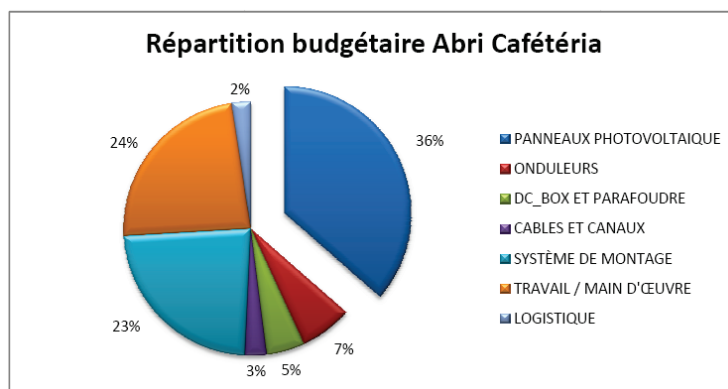
Le planning de ce site fut le suivant :

Tâche	Terminé le :
Conception nouveau panneau	Le Lun. 12 Avril (*)
Lancement Production du panneau	Le Jeu. 15 avril
Production des panneaux	Prêt le Lun. 10 mai
Préparation du stand d'essai	Le Ven. 12 mars
Calepinage, Analyse	Le Mer. 17 avril
Commande du matériel	Le Lun.10 mai
wPréparation du chantier	Le Ven. 14 mai
Réception des marchandises	Le Mar. 18 mai
Pose des panneaux	Le Mar.18 mai
Pose des appareils électriques	Le Mar. 15 juin (**)
Branchement réseau (etps ext.)	Le Mar. 15 juin
Mise en route	Le Mer. 23 juin



FIG 3 : ABRI CAFETERIA

Le budget total pour cette installation a été de 9058 CHF dont la répartition est la suivante : Tous les éléments de construction, des joints d'étanchéité à la colle, sont strictement identiques aux prescriptions de l'entreprise « Energie Solaire SA ». Seul un trou de 10 cm de diamètre dans le plexiglas ondulé diffère, afin d'y glisser le boîtier de jonction des modules PV. La toiture est parfaitement étanche et pourra être combinée avec aisance avec les capteurs thermiques de cette entreprise.



## 2. Garages



FIG 4 : GARAGES

Le site des garages a été sélectionné afin de tester un onduleur sans transformateur avec des modules photovoltaïques à couche mince. Une charpente en bois a été installée. Une toiture en bac acier trapézoïdal a été utilisée comme étanchéité. Celle-ci est reliée à la terre du réseau électrique. Des modules FLX-MO 1S11P ont été vissés sur cette toiture (de la même manière que le premier projet sur les toitures du Stock #4, cf le rapport annuel 2009). La puissance installée est de 4.86 kWp. Les

modules sont câblés de la manière suivante : 3 strings de 8 modules sur le SB 2500 de SMA et 6 strings de 8 modules sur le SB 3000TL de SMA. Cela correspond donc à une puissance de 1620 Wp sur le premier onduleur avec transformateur et une autre puissance de 3240 Wp sur l'onduleur sans transformateur. L'installation a été mise en service le 10 septembre 2010.

Le résultat est sans appel : le transformateur utilisé Sunny Boy 3000TL détecte immédiatement un courant de fuite à la terre ( $I > 30 \text{ mA}$ ) et déconnecte l'installation.

Depuis la date de mise en service, la partie de l'installation branchée sur l'onduleur avec transformateur a produit 271.8kWh au jour du 08 décembre 2010. La deuxième partie a été débranchée au vu de son non fonctionnement avec l'onduleur sans transformateur.

Ce résultat pratique valide le calcul de courant de fuite des cellules à couche mince et nous appuie dans le choix d'onduleurs avec transformateur.

### 3. Chaufferie

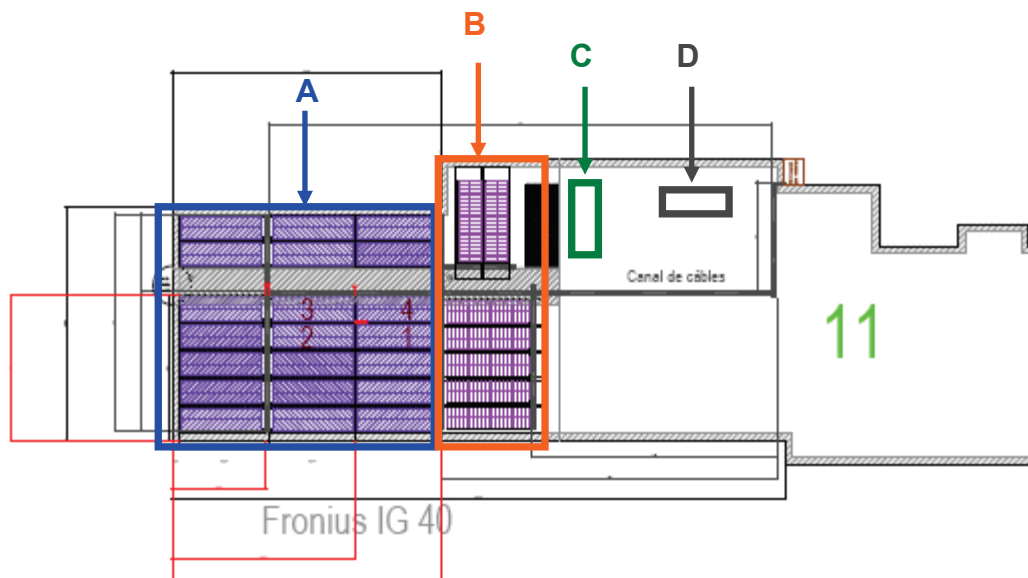
Le site de la chaufferie est une toiture plate dont l'étanchéité est une membrane bitumineuse pailletée. Les toitures à membrane d'étanchéité bitumineuse couvrent une grande majorité des toitures plates industrielles. Deux sortes de fixation de ces membranes existent : soit elles sont lestées par du gravier soit elles sont collées en plein et fixées mécaniquement sur la structure de la toiture.

Flexcell avait développé en 2009 des supports pour les toitures lestées. L'installation test était le site #2 Admin présenté dans le rapport 2009. Cette année 2010 a fait l'objet de tests sur les membranes collées en plein et fixée mécaniquement.

Le site de la chaufferie s'y prêtait donc bien. Quatre groupes de fixation ont été testés :

- Modules MO collés avec différents types de colles à froid
- Modules DG (substrat enduit de bitume) collés à froid
- Module TPO collé à chaud
- Module MO vissé sur plaquettes de bitume collées à chaud

Les zones A et B sont raccordées au réseau électrique de distribution, les modules C et D ont uniquement faits office de test d'adhérence. La puissance installée est de 3.8 kWp branchés en 4 strings de 7 modules. L'onduleur est un Fronius IG 40. L'installation a été mise en service le 24 juin 2010.



**FIG 5 : SITE DE LA CHAUFFERIE**

Sur la zone A, les colles Norco 604 et 60 ont été utilisées. Les modules ont été collés en plein. Le module a une surface totale de 4 m<sup>2</sup>. Il a été utilisé 6 kg de colle Norco 604 et 10 kg de colle Norco 60. La colle 604 collée en plein n'adhère pas sur l'ensemble de la surface du module. Ceci est dû aux différences de niveau de l'étanchéité de la toiture. La colle 60, par contre, adhère sur l'ensemble de la surface. Cependant la quantité utilisée fut de 10 kg pour 4 m<sup>2</sup>.

Colle 604 : 10.6 CHF/kg    Colle 60 : 11.75 CHF/kg

Sur la zone B, les modules ont été issus d'un développement conjoint entre Derbigum et Flexcell. La colle utilisée est la Derbibond. Les modules ont dans l'ensemble une bonne adhérence générale, cependant, quelques décollements ponctuels ont pu être observés. Son inconvénient principal, cependant, est son processus de fabrication ayant de multiples phases. Il est donc très coûteux et long à la fabrication.

Le module C est un module laminé avec du TPO. La colle utilisée est un mélange de bitume élastomère mélangé avec bitume oxydé (mélange 50/50). Le périmètre du module a été collé avec ce mélange de bitume à chaud. Lors du collage au bitume liquide des zones de débordement ponctuel ce son répartie à divers endroit sur le pourtour du module. Des tâches jaunâtres superficielles sont immédiatement apparues. Aucune adhérence ne se fait sur la membrane. Le décollement est immédiat.

Le module D sort du cadre de tests de colles sur bitume, mais reste dans le cadre de l'étude de fixation des modules sur membrane bitumineuse non lestée. Le principe ici est de fixer des plaquettes de bitume avec du bitume à chaud directement sur la membrane d'étanchéité. Ces plaquettes sont formées de deux couches de voile de polyester qui prennent une plaque de métal en sandwich. Une vis est fixée à cette plaquette.

Le module, pré-perforé, a ensuite été fixé avec des écrous sur les plaquettes.



**FIG 6 : COLLE NORCO (GAUCHE), TPO COLLÉ AU BITUME À CHAUD (CENTRE) MO VISSÉ SUR PLAQUETTES (DROITE)**

Les conclusions qui peuvent être tirées de ces essais sont les suivantes : la colle 604 ne permet pas une adhérence du module sur la membrane. La colle 60 a une bonne adhésion, son désavantage est son prix de 117 CHF par module. Le procédé des modules bituminés Derbigum-Flexcell reste intéressant du à sa facilité de pose, le procédé de fabrication est en cours d'étude pour le rendre viable. L'adhérence du collage avec du bitume à chaud sur du TPO n'est pas du tout satisfaisante, cette solution a été rejetée. Le module vissé sur des plaquettes a une très bonne adhérence sur le bitume. Celle-ci reste très bonne même lors de températures extérieures supérieures à 35°C Son inconvénient est la pré-perforation en usine des modules. De même, la pose, au moyen d'un cadre, est longue et donc coûteuse.

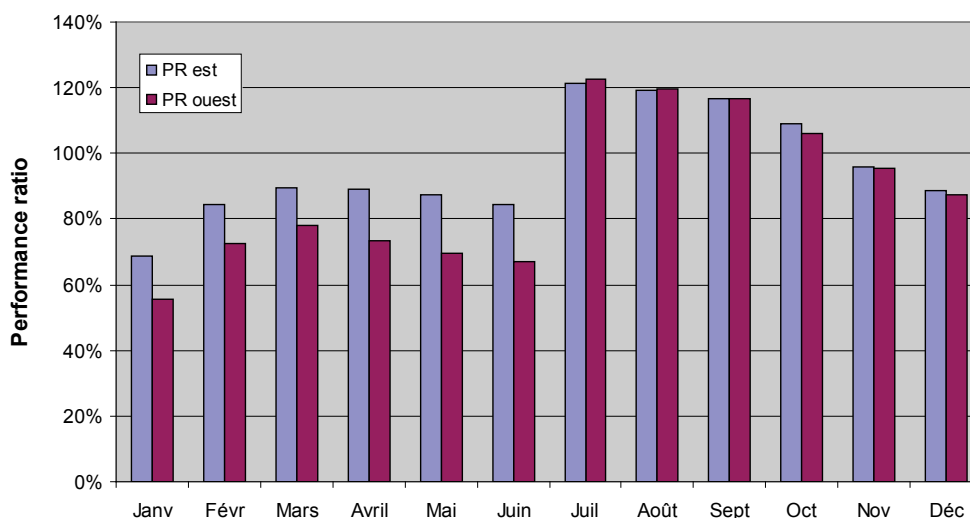
#### 4. Stocks

La toiture des stocks a été la première réalisation dans le cadre de ce projet, avec la construction en été 2009, et le branchement électrique en novembre 2009. Cette installation consiste de 864 modules de type MO de 100 Wp chacun, vissés sur éléments sandwich métalliques du toit du bâtiment des stocks. La puissance nominale est donc de 86.4 kWp. Comme le toit comporte deux orientations en quatre pans, deux onduleurs de 50 kW chacun groupent les strings est et les strings ouest (72 strings de 6 modules pour chaque orientation) (voir Figure 2, section #4).

Dans cette installation a montré un performance ratio (PR) de 90% dans les rares jours ensoleillés directement après le branchement en novembre 2009. Après, le PR le tombait rapidement en décembre et janvier, pour remonter en février et mars puis rechuter à partir du mois d'avril. Tandis que la chute hivernal du PR est normal pour une installation horizontale en silicium amorphe en Suisse, le ralentissement de la régénération (annealing saisonal) en mois d'avril et puis une rechute vers l'été n'est un aucun cas attendu. L'analyse des strings et puis des modules individuels a donnée comme résultat que les modules avec un premier layout des conducteurs de cuivre, qui était utilisé pendant le démarrage de l'usine, on augmenté leur résistance sérielle de façon à perdre pratiquement tout leur puissance. Après 6 mois d'opération, ce problème avait déjà touché au moins 20% des modules, et a

donné comme résultat que pratiquement tous les strings équipés avec ce premier type de modules ont perdu au moins un des modules par string de 6, et n'arrivaient donc plus à injecter de la puissance à la tension de travail de 280 volt. Il a donc été décidé de déconnecter à la fin du mois de juin toutes les strings basées sur ce type de modules potentiellement défectueux, cad 64 strings de 600 Wp sur un total de 144 strings). La puissance DC connecté de l'installation a été donc réduite de 86.4 kWp à 48 kWp. Dans cette nouvelle configuration, comprenant uniquement les panneaux produits une fois le défaut de cuivre éliminé, un excellent PR est observé sur le deuxième semestre 2010. Les valeurs de 120% atteints en été donnent raison à dire que les modules ont en effet été sous-spécifié, et que leur puissance nominales situerait plutôt vers 120 Wp (à comparé avec leur valeur nominale de 100 Wp).

Sur toute l'année 2010, l'installation a injecté 70453 kWh dans le réseau en 2010 (1.1.-15.12.), ce qui revient à 815 kWh/kWp (à base de 86.4kWp installés). Si on prends le deuxième semestre avec une production de 30500 kWh et une puissance de 48kWp installé, ca donne 635 kWh/kWp par semestre, voir, en extrapolant, potentiellement 1270 kWh/kWp par année (NB : ceci en prenant toujours une puissance nominale de 100 Wp par module).



**FIGURE 7 : PR DE L'INSTALLATION « STOCKS » EN 2010 : PUISSANCE CONNECTÉ JANV-JUIN : 86.4 KWP, JUILLET-DÉC 48 KWP. EXPLICATIONS : VOIR TEXTE CI-DESSUS**

## Évaluation de l'année 2010 et perspectives pour 2011

L'année 2010 a permis de réaliser de réaliser trois installation supplémentaires : une installation comme étanchéité métallique, une installation sur bac acier horizontal avec des onduleurs avec et sans transformateur, ainsi que diverses solutions sur toit plat bituminé. Par ceci, toutes les solutions et systèmes Flexcell, sauf la membrane d'étanchéité TPO, sont maintenant installés et connectés sur le site Flexcell à Yverdon. Ceci permet à Flexcell d'analyser leur comportement, et aussi d'utiliser ces installations comme vitrine pour des clients et d'autres intéressés dans la technologie BIPV de couche mince flexible.

L'année 2011 sera axée sur la réalisation d'une dernière installation en TPO comme couche d'étanchéité, ainsi que sur des analyses de production plus approfondies de toutes les installations connectées.

## Références

[1] Site internet FLEXCELL (VHF-Technologies SA), [www.flexcell.ch](http://www.flexcell.ch)



# APPLICATION DE MODULES PV FLEXIBLES SUR LE SITE DE PRODUCTION FLEXCELL

## Annual Report 2011

Author and Co-Authors	F. Galliano, D. Fischer
Institution / Company	VHF Technologie SA
Address	Av. Edouard Verdan 2, 1400 Yverdon-les-Bains
Telephone, E-mail, Homepage	024 423 08 90, info@flexcell.com, www.flexcell.ch
Project- / Contract Number	103202 / 154220
Duration of the Project (from – to)	15.05.2009 – 31.12.2012
Date	07.12.2011

### ABSTRACT

The goal of this project is to develop, install and monitor various building integrated PV products and installation solutions based on Flexcell's technology on the buildings of Flexcell's production site in Yverdon. The type of installation includes applications on insulated metal sandwich panels, on corrugated metal sheets, on gravel covered flat roofs, on bituminous flat roofs, and an application as a stand-alone roof.

During the reporting period, the large 86.4kWp roof applied on the sandwich panels of the storage hall ("stock"-site) was monitored for the second year of operation. Since the shut down of a part the site in July 2010 due to quality problems, the installation produced according to the expected simulations for 1.5 years.

Two new sites were installed in summer 2010 where a main technological improvement was introduced to tackle an important reliability issue; the reliability of the contact film/copper ribbon. After 1½ years of monitoring the results are extremely positive and with the new technology this reliability issue is considered as completely solved.

Further, during 2011, two new installations were added that set new important milestones for the development of the company: the first prototype of solar awning and the first site with tandem a-Si/a-Si technology.

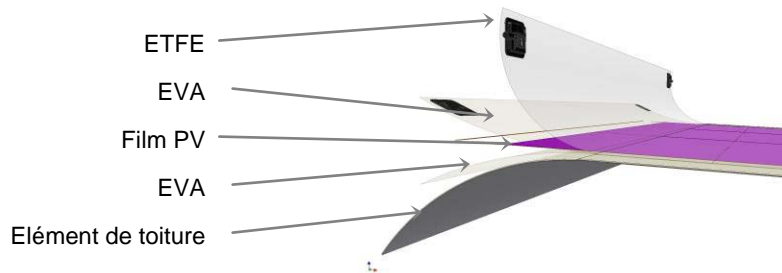
## Buts du projet

Sise à Yverdon-les-Bains, VHF-Technologies SA, développe, produit et commercialise des modules solaires flexibles connu sous la dénomination « Flexcell ». La technologie de déposition par plasma haute fréquence de silicium amorphe en couches minces sur substrat plastique initié à l'IMT de l'Université de Neuchâtel est unique au monde et s'adapte particulièrement bien à la production de module BIPV.

La diversité des toitures du site de production de l'usine Flexcell à Yverdon permet de réaliser différentes installations (de 1 à 85kWp) pour atteindre une puissance PV installée de 132kWp. Les modules Flexcell légers s'adaptent à de nombreuses nature de toiture: bac acier, panneaux sandwich, membrane bitumineuses et polymères. Ils sont installés sans nécessairement requérir de support spécifique, mais directement sur la toiture existante ou monté en remplacement de l'étanchéité.

Ce projet vise à caractériser les diverses modes d'installation et les différents type de modules photovoltaïques offert par cette technologie. Il s'agit plus précisément de :

1. Illustrer différentes nouvelles solutions BIPV
2. Etablir le détail des couts complets investis dans chaque toiture pv
3. Mesurer les productions d'énergie et calculer la performance de chaque site en fonction des particularités architecturales et des spécificités des modes d'installations
4. Disposer d'un site démonstratif fonctionnel



**Figure 1:** décomposition de l'encapsulation d'un module Flexcell

En fonction du type de matériau ou d'élément de toiture utilisé à l'arrière (backsheet) on parle de produits du type :

- TO : backsheet (1.8 mm en membrane base polyoléfinés - TPO)
- MO : backsheet en Metal-TPO (0.6 mm en tôle zinguée + 0.6 mm de TPO)
- EE: backsheet (0.1 mm en ETFE)

Les objectifs pour l'année 2011 du projet OFEN consistaient à procéder à la réalisation de plusieurs installations, de tester différents types de produits et de technologie, à assurer le suivi énergétique des installations réalisées précédemment et à évaluer le rendement énergétique.

## **Brève description des sites installés dans le cadre du projet OFEN**

### **#1. Front End**

Site de 9.45 kWp de MO sur toiture gravier. Installé en 2010 mais pas connecté pour raison liées à l'exploitation du bâtiment du FE

### **#2. Admin 1 – Admin 2010**

Site de 4.3 kWp de TO posés sur toiture gravier. Installé en aout 2010, injection dans le réseau et monitoring.

→ Nouvelle technologie de contact film/cuivre testée dans cette installation.

### **#3. Admin 2 – Admin 2010**

Site de 4.3 kWp de TO posés sur toiture gravier. Installé en aout 2010 injection dans le réseau et monitoring.

→ Nouvelle technologie de contact film/cuivre et nouvelle pâte base Ag testée dans cette installation.

### **#4. Stock**

Site de 86.4 kWp de MO vissés sur toiture en métal. Installé en 2009, reconfiguré après de problèmes de qualité en juillet 2010, injection dans le réseau et monitoring.

### **#5. Garages**

Site de 4.7 kWp de MO vissés sur toiture en métal. Installé en 2009, injection dans le réseau mais sans monitoring.

→ Test d'onduleurs sans transformateurs avec la société Sputnik

### **#6. Poutrelles**

Site de 7.3 kWp de MO vissés sur avant toit en métal. Installé en 2009, injection dans le réseau mais sans monitoring.

### **#7. Bureau ingénieurs**

Site de 2.4 kWp de TO posés sur toiture gravier. Installé en septembre 2010, injection dans le réseau mais sans monitoring.

→ Nouvelle technologie de contact film/cuivre.

### **#8. Stand démo**

Pas réalisé

### **#9. Bunker**

Pas réalisé

### **#10. Halle prod**

Pas réalisé

### #11. Chaufferie

Site de 3.8 kWp de TO posés sur toiture bitume. Installé en 2010 et déconnecté en janvier 2011 pour de problèmes de connectique film/cuivre

### #12. Garage vélo

Site de 1.6 kWp de MO vissés sur toiture métal. Installé en 2009, injection dans le réseau mais sans monitoring

### #13. Abri cafétéria

Site de 0.7 kWp de MO vissés sur toiture métal. Installé en juin 2010, injection dans le réseau mais sans monitoring

### #14. Store aile 18

Site de 0.3 kWp de EE soudés et intégrés à un store. Installé en mai 2011, injection dans le réseau et monitoring

→ Nouveau produit (store solaire) né du développement Flexcell

### #15. Atelier méca 1 – Admin 2011 TO

Site de 4.3 kWp de TO soudés sur toiture TO. Installé en septembre 2011, injection dans le réseau et monitoring

→ Nouvelle technologie tandem a-Si/a-Si

### #16. Atelier méca 2 – Admin 2011 EE

Pas réalisé

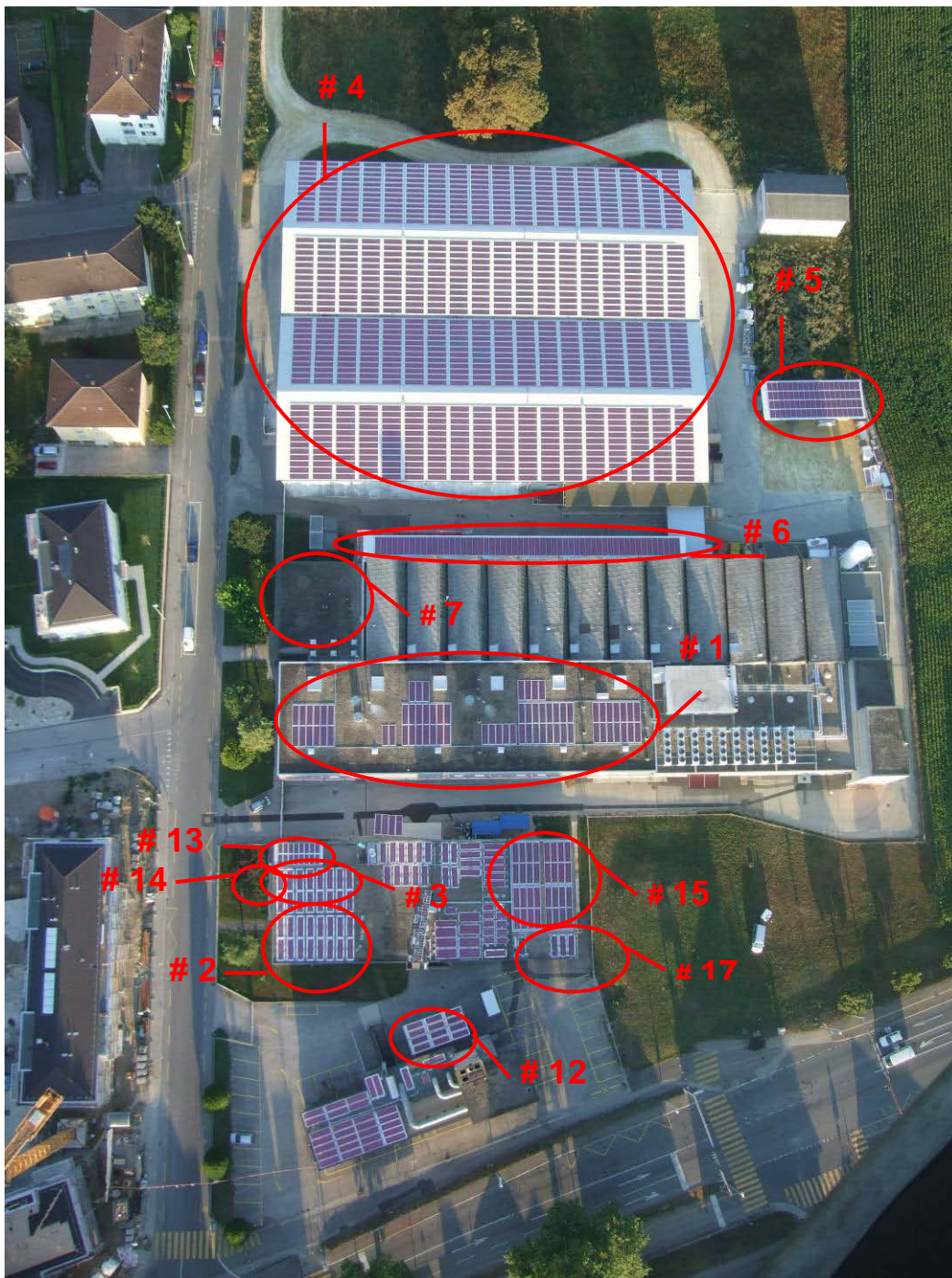
### #17. Atelier méca -3 – Shading tandem/single

Site de 1.2 kWp de TO soudés sur toiture TO. Installé en novembre 2011, injection dans le réseau et monitoring. Site destiné à de test d'ombrage partiel en 2012

→ Nouvelle technologie tandem a-Si/a-Si

Inst. n°	Description	Nom VHF	Puissance (kWp)	Phase	Onduleur	Fonction
1	Front End		9.45	tri	Fronius IG plus 120-3	non
2	Admin 1	Admin 2010	4.3	mono	SMC4600A	oui
3	Admin 2	Admin 2010	4.3	mono	2x SB2500	oui
4	Stock		86.4	tri	2 x IG500	oui
5	Garage		4.7	mono	IG50plus	oui
6	Poutrelles		7.3	mono	3 x SB2500	oui
7	Bureau Ing.		2.4	tri	Fronius IG plus 120-3	oui
8	Stand démo.					non
9	Bunker					non
10	Halle prod.					non
11	Chaufferie		3.8	mono	FRONUS IG40	non
12	Garage vélo		1.6	mono	2 x SMA SB700	oui
13	Abri cafétéria		0.7	mono	SMA SB700	oui
14	Store aile 18			mono	DMI250/22	oui
15	Atelier Méca 1	Admin 2011 TO	4.3	mono	SMA SB 2500	oui
16	Atelier Méca 2	Admin 2011 EE	1.8	mono	Fronius IG 15	non
17	Atelier Méca 3	Shading tandem/single	1.2	mono	2 x SB700	oui

**Figure 2:** réalisation de l'abri cafeteria (site #13, haut à gauche), des garages (site #5, haut à droite), du prototype TPO colle à chaud (site #11, bas à gauche) et des stocks (site #4, bas à droite)



**Figure 3:** prise de vue aérienne du site Flexcell en septembre 2010 (pas de photo actualisée en 2011). Les installations #14, #15, et #17 ont été réalisées pendant l'année 2011.

## Travaux effectués et résultats acquis

### Stocks

La toiture des stocks a été la première réalisation dans le cadre de ce projet, avec la construction en été 2009, et le branchement électrique en novembre 2009. Cette installation consiste de 864 modules de type MO avec une puissance nominale de 100 Wp par module, vissés sur éléments sandwich métalliques du toit du bâtiment des stocks. La puissance nominale est donc de 86.4 kWp. Comme le toit comporte deux orientations en quatre pans, deux onduleurs de 50 kW chacun regroupent les strings est et les strings ouest (72 strings de 6 modules pour chaque orientation) (voir Figure 2, section #4).

Suite à problème de fiabilité du contact cuivre/film du à un composant pas adapté, une partie de l'installation a du être déconnectée (voir rapport OFEN 2010) pour arriver à 480 panneaux connectés. La puissance DC connectée de l'installation a été donc réduite. Pour évaluer correctement la puissance restante il faut considérer que la technologie Flexcell a suivi dans le temps une augmentation de la puissance: les modules produits en 2009 étaient classés à 100 W (pour la taille 2s22p). En début 2010 ils sont passés à 135 Wp pour monter encore en fin 2010 à 150Wp. Très prochainement (début 2012) ils devraient passer à 160W. Ceci dit les panneaux qui sont installés sur le stock ont été produits juste avant la transition de 100Wp à 135Wp et présentent une puissance réelle plus proche de 135W que de 100W. Pour cette raison, après déconnection de la partie plus ancienne de la toiture, on peut considérer une puissance moyenne par panneaux de 135 Wp (à la place de 100 Wp) et par conséquent une puissance totale de 64.8 kWp (480 x 135 Wp).

Sur toute l'année 2011, l'installation a injecté dans le réseau 66843 kWh (contre 70705 kWh en 2010) (actualisé au 1.1.-15.12.), ce qui revient à un rendement énergétique de 1031 kWh/kWp (avec puissance de 135Wp/mod) ou 1160 kWh/kWp (avec une puissance de 120 Wp).

Si on tient compte de la simulation effectuée avec des modules de 135 Wp avec le logiciel PVSOL, nous nous serions attendus à une production de 59994 kWh et un rendement énergétique de 927 kWh/kWp.

L'installation a produit donc en 2011 environ 11% de plus de la simulation et il est à noter qu'à nos latitudes un rendement énergétique de 1031 kWh/kWp sur toiture pratiquement horizontale représente un excellent résultat

Le PR se maintient à des excellentes valeurs en 2011 comme en 2010, avec env. 90% en été à env. 60 % en hiver.

### Admin 2010

La toiture ADMIN 2010 a été conçue pour :

- prouver que le problème de fiabilité du contact cuivre/film avait été réglé aussi pour les produits TO ;
- valider une nouvelle pâte d'Ag avec performances accrues.

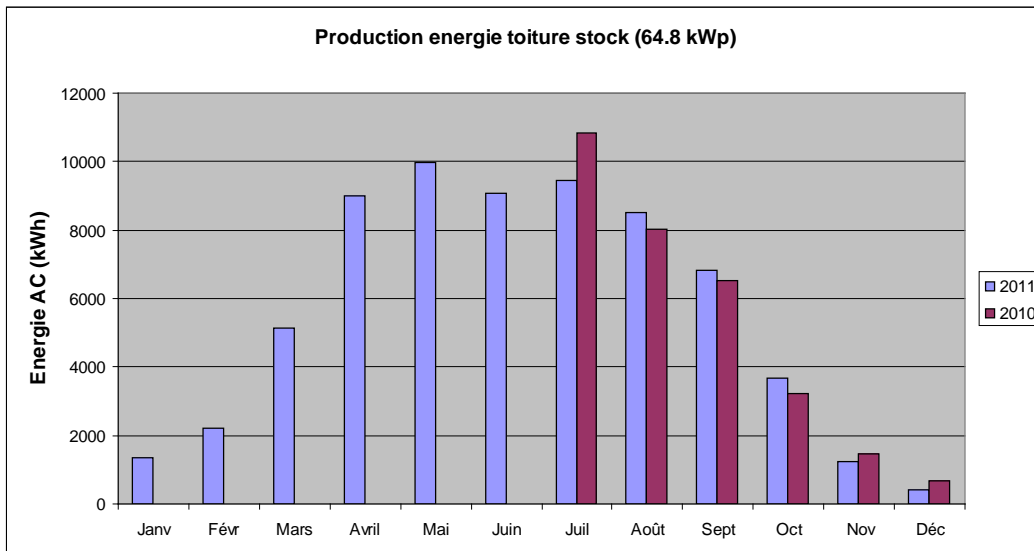
Au total 64 modules TO 2s22p ont été posés à plat sur une toiture gravier.

Ces produits, à vue de l'important coefficient de dilatation thermique du substrat (k d'une membrane TPO est d'env. 100  $\mu\text{m}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ ) présentent des contraintes sur le contact beaucoup plus accentuées que les produits MO. Les efforts de cisaillement au niveau du contact film/cuivre risquent de provoquer la perte du contact électrique. Ce problème a été étudié en profondeur et un nouveau composant a été validé qui permet de supporter ces contraintes sans aucune perte de contact.

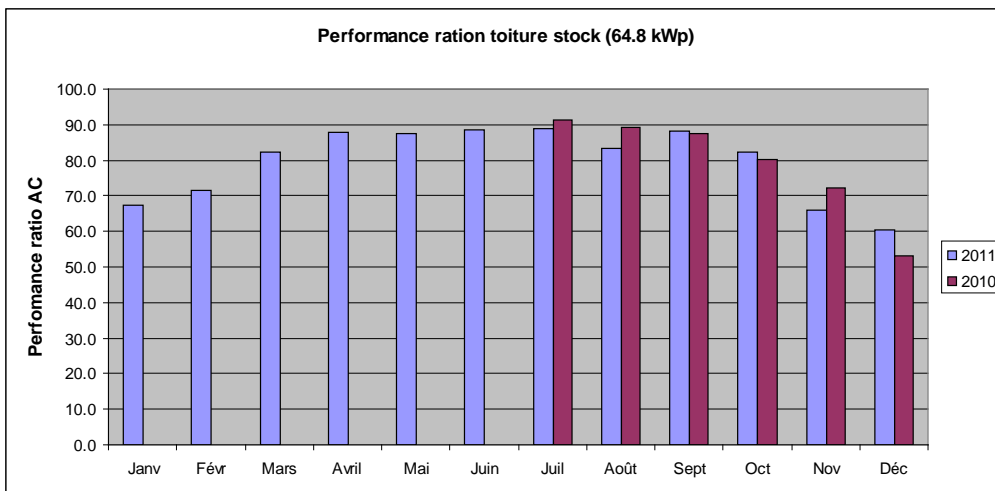
Après une année la toiture ADMIN 2010 a donné des résultats satisfaisants avec 8368 kWh produits sur 12 mois (août 2010-juillet 2011), qui correspond à 972 kWh/kWp. Les valeurs de PR sont d'env. 85-88 % en été.

Aucun problème de perte de contact n'a été observé et cette technologie a été depuis implémentée en production. Du même la nouvelle pâte d'Ag a donné des résultats satisfaisants et a été, elle aussi, implémentée en production.

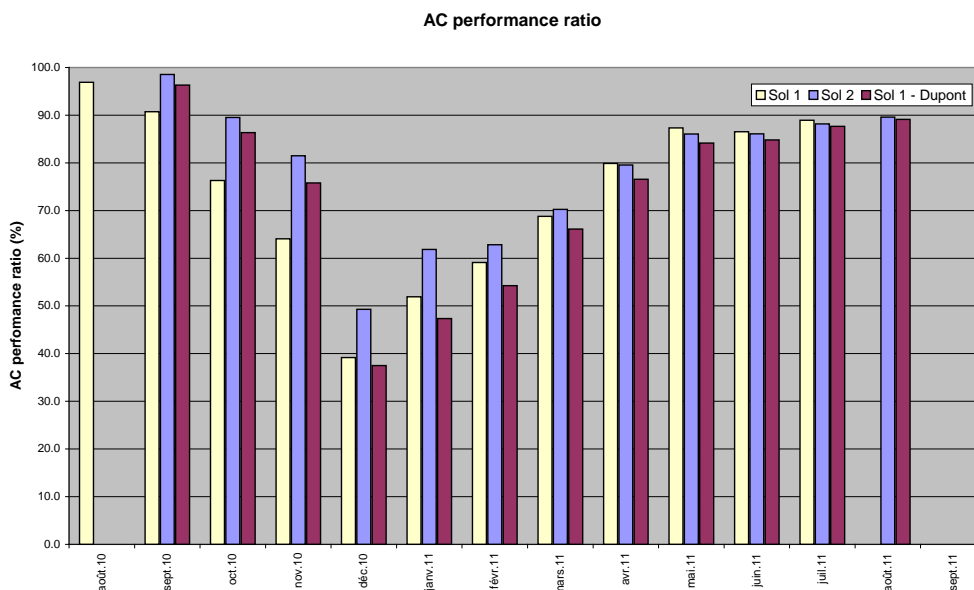
Cette toiture a été démontée en sept 2011 pour analyses et seulement une petite partie (16 modules sur 64) a été réinstallée et injectée à nouveau.



**Figure 4 :** énergie produite de l'installation « stock » en 2011 et 2010 jusqu'au 15.12.2011 (à partir du 07.11 puissance connectée = 64.8 kWp).



**Figure 5 :** PR de l'installation « stock » en 2011 et 2010 jusqu'au 15.12.2011 (à partir du 07.11 puissance connectée = 64.8 kWp)



**Figure 6 :** PR de l'installation « ADMIN 2010 » sur 12 mois

## Store aile 18

Un nouveau produit a été développé sur la base d'un module très souple (type EE) avec une construction symétrique basée sur l'ETFE en 0.1 mm comme couche externe à l'avant et à l'arrière du module. Grâce à la souplesse de cette construction un tel module est enroulable sur de diamètres > 5 cm sans aucune perte de fonctionnalité. Un procédé de soudure thermique a été optimisé pour pouvoir relier ensemble plusieurs produits du type EE 1s16p et l'élément obtenu a été intégré à un store commercial. Les modules 1s16p ont été tous connectés en parallèle ensemble, pour pouvoir garder la tension en dessous de 50V. Au final un store avec une surface de 2.5 x 3 m<sup>2</sup> et 320 Wp a été installé devant le bureau coté S de l'aile 18.

Depuis sa mise en service le 25.05.2011 le store a été sorti et rentré tous les jours ouvrables de beau temps (environ 100 jours) et a produit 92.6 kWh ce qui correspond à 289 Wh/Wp. Les valeurs de PR sont très variables avec beaucoup de journée avec plus de 90%.

De tests effectués sur un store de test on permis de démontrer que après plus de 600 cycles de ouverture/fermeture du store (qui correspond à deux ans de fonctionnement normale) la perte de puissance mesurée ne dépasse pas le 14% attendu et qui dérive purement de la dégradation du silicium amorphe. Aucun dégât supplémentaire a été causé par l'enroulement /déroutement



Figure 7: store solaire

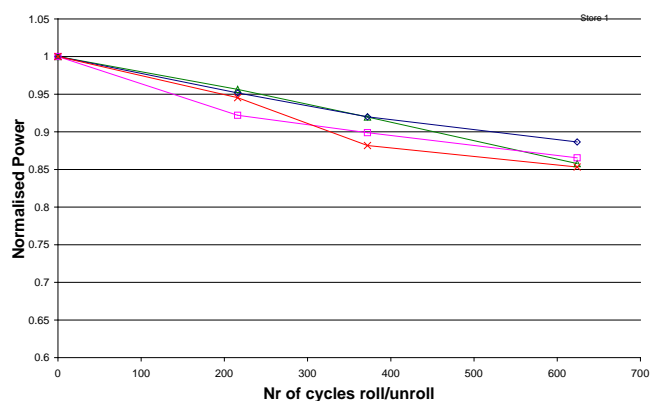


Figure 8: évolution de la puissance avec le cyclage d'un store

## Admin 2011 TO

L'installation de 16 modules TO avec technologie tandem a-Si/a-Si (2.4 kWp) et de 16 modules TO avec technologie single a-Si (2.4 kWp) a été complétée en sept 2011 et connecté en oct 2011. Le système de monitoring a été finalisé en nov 2011. A présent il est trop tôt pour évaluer les différences entre les deux technologies.

## Évaluation de l'année 2011 et perspective pour 2012

L'année 2011 a permis de réaliser trois installations supplémentaires : un novateur store solaire et deux installations TO de comparaison de technologie single et tandem. Maintenant tous les types de module Flexcell (MO, TO et EE) sont installés et connectés sur le site Flexcell à Yverdon. Le rendement énergétique a été évalué sur plus d'un an avec des valeurs supérieures d'env. 10% aux simulations pour les modules MO et en ligne avec les simulations pour les TO sans aucun problème de fiabilité. Ceci permet à Flexcell d'utiliser ces installations comme vitrine pour des clients et d'autres intéressés dans la technologie BIPV de couche mince flexible.

L'année 2012 sera axée sur les analyses de production plus approfondies de toutes les installations connectées.