

LESO-PB

**Installation-pilote photovoltaïque sur toit
plat à base de nouveaux supports en
fibro-ciment**

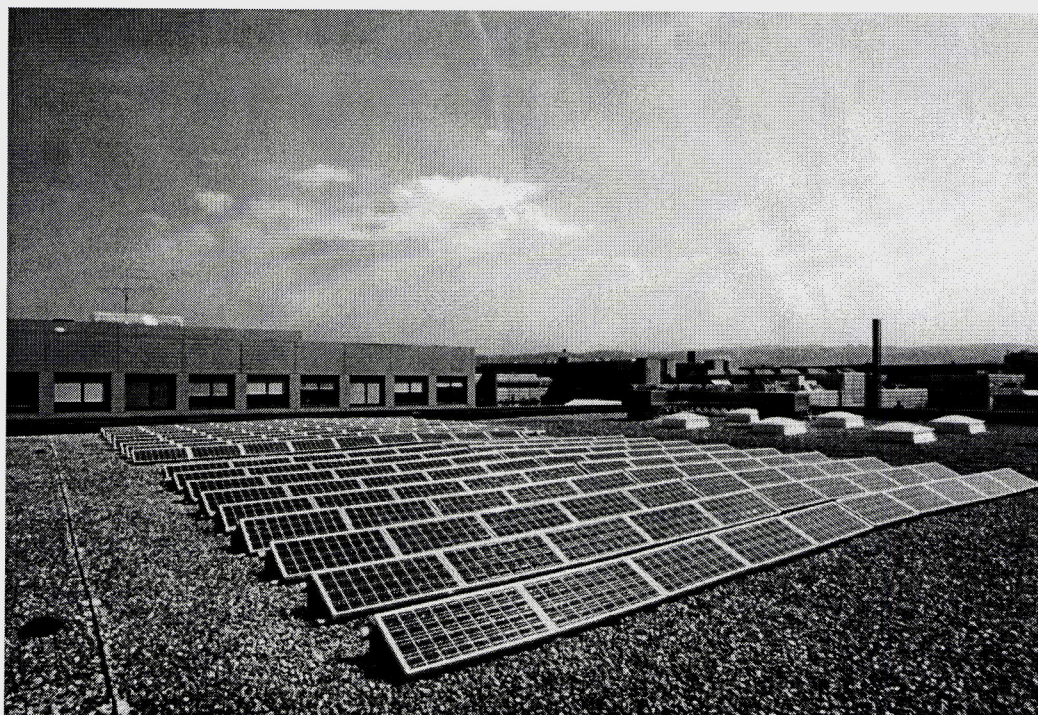
Roecker Ch.
Affolter P.
Bonvin J.
Muller A.N.

Rapport - mandat OFEN



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Installation-pilote photovoltaïque sur toit plat à base de nouveaux supports en fibro-ciment



Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment
LESO-PB / ITB-DA
Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie

Décembre 1998



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Installation-pilote photovoltaïque sur toit plat à base de nouveaux supports en fibro-ciment

Ce rapport a été rédigé par

C. Roecker, P. Affolter, J. Bonvin, A.N. Muller

Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment

LESO-PB / ITB-DA

Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie

Décembre 1998

Table des matières

	Page
Résumé	1
Abstract	1
1. Introduction	2
2. Le système utilisé	2
3. La procédure de montage	3
3.1 Mise en place des bacs	3
3.2 Montage des modules	3
4. Montage de l'installation	4
4.1 Personnel et situation de départ	4
4.2 Montage étape par étape	4
4.3 Analyse du montage	5
4.4 Conclusions, perspectives	6
5. Rapport de mesures	8
5.1 Caractéristiques techniques du système	8
5.2 Analyses des mesures	9
6. Remerciements	12
Annexe	13

Résumé

Une installation pilote de 9 kW a été réalisée sur un toit plat d'un bâtiment de l'EPFL, dans le but de tester un nouveau support pour panneaux PV et d'évaluer les gains de temps au montage qu'il permet.

Le système, appelé Solbac, comporte deux parties :

- un bac en fibro-ciment qui sert de support et
- un ensemble de crochets spécifiques, permettant de fixer les modules ou les lamifiés sur le bac.

Le montage consiste à installer les bacs en rangées, à les lester à l'aide de gravier présent sur le toit et à fixer les modules au moyen des crochets.

Le système a donné entière satisfaction, tant pour les modules à cadre que pour les lamifiés et l'installation a pu être réalisée par 4 personnes en 12 h.

Les mesures sur une année montrent un fonctionnement sans problème, avec un excellent "performance ratio" de plus de 77%.

Abstract

A 9 kW PV pilot plant has been set-up on an EPFL buildings flat roof, to test a new PV panels mounting system and evaluate the mounting time savings it should bring.

The system (named Solbac) has two parts:

- one fiber-cement container used as a base, and
- a set of special clamps holding either framed modules or laminates.

The mounting procedure is as follows:

- install the containers in rows, load them with the gravel already on the roof and attach the modules with the clamps.

The system has fulfilled all the expectations, as well for the mounting of framed modules as for the laminates, and the installation time has been reduced to 12 hours for 4 workers.

The measurements taken over one year has proven the plant as reliable and efficient, with a global performance ratio aver 77%.

1. Introduction

Dans le cadre de son travail sur l'intégration des éléments photovoltaïques au bâtiment, le LESO a fourni un effort particulier dans le domaine des toits plats. Cet effort a abouti au développement de plusieurs systèmes à base de socles en béton (DMX, Sofrel, ...) avec la collaboration de la société ENECOLO dans quelques cas.

Une autre direction a été également explorée, celle des systèmes basés sur le principe du "container", qui utilisent le gravier existant sur la plupart des toits plats comme lest, évitant ainsi une surcharge des structures porteuses du toit.

L'installation-pilote présentée ci-après utilise un système nommé Solbac, constitué de containers en Eternit et de crochets en acier inox. En particulier, le système de bacs longs, pouvant recevoir 2 modules, a été choisi.

L'un des buts de cette installation était de chiffrer le gain en temps réalisé au montage grâce à l'utilisation de ces éléments.

L'autre était de démontrer que l'aspect d'une telle installation la rendait acceptable pour la plupart des architectes et des propriétaires d'immeubles.

2. Le système utilisé

Le système Solbac (fig. 1 et 2) est décrit abondamment dans le rapport « PV sur Toits Plats, une nouvelle approche » (1998, disponible auprès de ENET).

Il comprend les éléments suivants :

- Un bac en Eternit, dont les dimensions varient en fonction du type de modules à installer et du nombre de modules par bac (entre 1 et 2.5)

- Un jeu de crochets pour fixer les modules au bac
 - 2 crochets par module pour les lamifiés
 - 4 crochets par module pour les éléments à cadre alu.

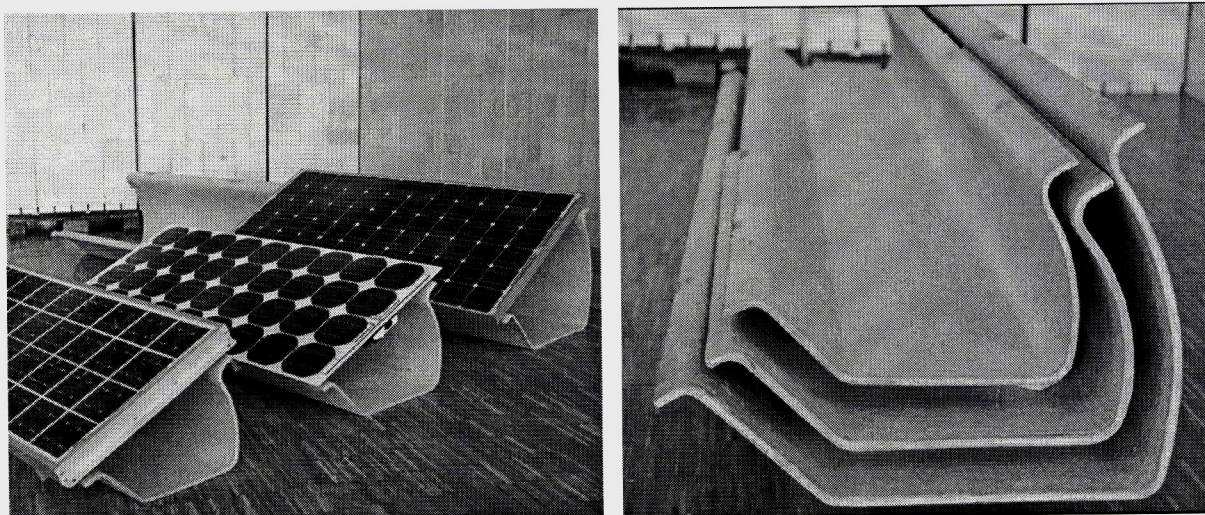


Fig. 1 et 2 : Famille Solbac

3. La procédure de montage

La procédure de montage est très simple et comprend 2 étapes principales :

- Mise en place des bacs
- Montage des modules.

3.1 Mise en place des bacs

- Selon le plan de mise en place préalablement établi, on procède au traçage des emplacements des rangées de Solbac. S'agissant de tracer sur du gravier, une bonne méthode consiste à utiliser un spray de peinture le long d'un cordeau.
- Pour chaque rangée, on doit évacuer le gravier qui se trouve à l'emplacement des bacs, et une fois ceux-ci en place, le remettre à l'intérieur. Un système efficace consiste à évacuer le gravier de la 1^{ère} rangée, installer les bacs, et remplir ceux-ci avec le gravier évacué pour la rangée suivante. Ce système permet de ne manipuler le gravier qu'une seule fois.
- Les bacs s'installent sans problème grâce au système de manchons aux extrémités qui permettent de les aligner.

3.2 Montage des modules

Cette étape est légèrement différente selon qu'il s'agit de modules lamifiés ou à cadres.

Dans tous les cas, on procède au câblage du module à installer, puis à son montage sur le bac.

Les 3 procédures sont détaillées sous forme de séquence photographique dans l'Annexe 1.

4. Montage de l'installation-pilote

4.1 Personnel et situation de départ

L'installation a eu lieu les 14 et 15 mai 1997. S'agissant d'une installation-pilote, plusieurs personnes ont participé aux travaux, à des taux divers. Il a été tenu un registre des temps de présence des différents collaborateurs sur le chantier, de façon à pouvoir chiffrer l'effort de travail en homme-heures.

Pour simplifier la présentation des résultats, on se référera à une équipe de travail "normalisée" de 4 personnes, à l'exception du marquage qui s'est effectué par 2 personnes seulement.

Les conditions de départ sont les suivantes :

- Les bacs sont stockés palettisés, à une extrémité du toit (env. 30 mètres du milieu du champ PV), déposés par un camion-grue de livraison.
- Les panneaux sont stockés dans le bâtiment attenant, à un demi niveau plus bas, et à une distance de 50 mètres. Ils sont dans les cartons d'origine, (non triés).
- Nous disposons de la liste de tous les panneaux (pour moitié des Kyocera, à cadres, pour moitié des Photowatt, lamifié) avec leurs courants STC respectifs. Une feuille Excel donne les groupements en strings par courant, avec les numéros du fabricant.

4.2 Montage étape par étape

Description	Pers.	Durée	Extras	Travail
Mercredi 14 mai 1997				
Marquage des lignes	2	20 min.		40 min.
Mise en place des bacs et du gravier	4	3 h		720 min.
Transport des panneaux sur le toit	4	40 min.		160 min.
Pose x-clip + agrafe Photowatt	4	25 min.		100 min.
Essais de technique rapide	2	30 min.	60 min.	
Câblage et pose des modules Kyocera	4	160 min.		640 min.
Préparation tubes acier câblage Photowatt	4	20 min.		80 min.
Rangement pour la nuit	4	15 min.	60 min.	
Le soir, tous les bacs sont en place, 7 rangées de modules Kyocera sur 9 sont prêtes.				

Description	Pers.	Durée	Extras	Travail
Jeudi 15 mai 1997				
Terminer les rangées Kyocera Câbler et poser Photowatt Mise à terre des Kyocera	4	140 min.		560 min.
Montage des supports	4	45 min.		180 min.
Rangement (cartons, etc.)	4	70 min.	280 min.	
			400 min.	2480 min.
Résumé :	Temps effectif de montage	2480 min.		41 h. 20 min.
	Rangement, essais	400 min.		6 h. 40 min.
	Total	2880 min.		48 h.

4.3 Analyse du montage

En l'absence de données chiffrées précise pour l'installation d'autres systèmes de montage, nous nous contenterons de donner une estimation chiffrée des coûts de montage possibles avec les socles Solbac.

Le temps total de montage correspond au travail de 4 personnes pendant un jour et demi. En prenant pour base un tarif de 60.- de l'heure, on obtient :

Prix du montage : $48 \times 60.- = 2880.-$
 Prix par Watt installé : $2880.- : 9.000 = 32 \text{ cts./W.}$

Il est à noter que le prix du Watt installé est relativement bas, malgré l'utilisation de panneaux de 50 W seulement.

En extrapolant les données ci-dessus à une réalisation semblable utilisant des panneaux standard de 85 Watt, et en conservant le même temps de montage (les éléments étant quasi identiques et le poids des Solbacs 20% supérieur), le prix du montage tombe à moins de 19 cts./W.

Même en tenant compte d'une demi-journée supplémentaire pour les déplacements et la livraison des modules sur le site, on conserve un prix de revient de la mise en place et du montage extrêmement avantageux.

La conclusion de cette partie est donc totalement positive, le système proposé étant à la fois léger, économiquement intéressant et, comme on peut le constater ci-dessous, esthétique.

4.4 Conclusions, perspectives

Le système tel qu'installé a donné entière satisfaction, et sa tenue aux conditions atmosphériques a été bonne :

- les crochets, en inox ou recouverts d'une couche plastifiée, n'ont montré aucune dégradation,
- les bacs en Eternit, conçus pour des panneaux de 50 W, donc de dimensions faibles, n'ont pratiquement pas variés sur cette installation.

Globalement toutefois, le système Solbac, qui comprend des modèles plus grands, a nécessité quelques modifications pour éviter une variation de forme qui pourrait poser problème sur le long terme.

Deux mesures ont été prises pour pallier cet inconvénient :

- la forme du bac en Eternit a été modifiée de façon à renforcer la tenue mécanique par l'adjonction de 2 plis de renfort,
- le système de crochet a évolué pour contribuer à maintenir la forme de base.

Le système Solbac est donc maintenant un produit mûr et commercialisé, présentant de nombreux avantages comme indiqués ci-dessus et uniquement pénalisé par un prix légèrement supérieur aux systèmes concurrents à base de socles en béton.



Fig. 3 : Situation des deux champs en cours de montage

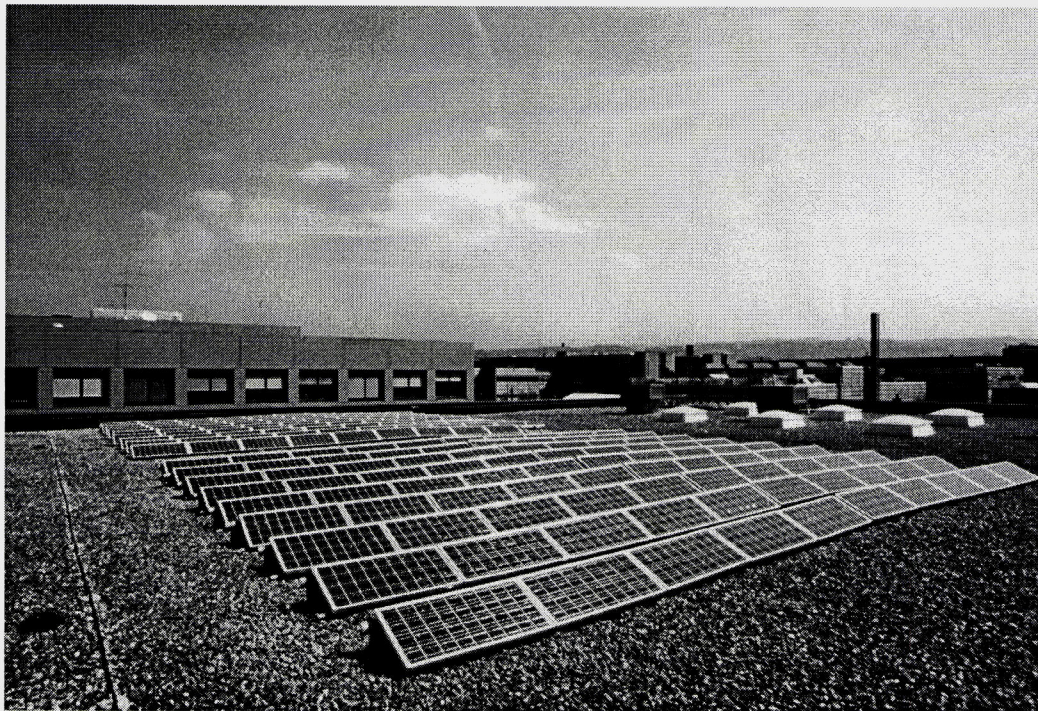


Fig. 4 : L'installation telle qu'elle se présente aujourd'hui

5. Rapport de mesures

5.1 Caractéristiques techniques du système

Du point de vue électrique, le système installé sur le bâtiment EL-H du Département d'Electricité à l'EPFL est composé de deux groupes de 5 kW. La figure de la page suivante présente le schéma synoptique de l'installation.

Le premier champ est équipé de 90 modules Photowatt, le second de 90 modules Kyocera. Les deux systèmes font appel à un convertisseur statique de 5kW de la marque Sunways. Les caractéristiques détaillées de l'installation sont présentées dans le tableau suivant :

	Groupe 1	Groupe 2	Total	
Module				
Marque	Kyocera	Photowatt		
Type	LA361K54	PWX500T		
	avec cadre	sans cadre		
Dimensions	1042x462	988 x 448		mm
Puissance nominale moyenne *	52.8	46.5		W S.T.C.
Tension nominale *	17.2	16.9		V S.T.C.
Courant nominale moyen *	3.1	2.8		A S.T.C.
Champ				
Nombre de modules en série	30	30		
Nombre de chaînes (strings)	3	3		
Nombre de modules total	90	90	180	
Puissance nominale *	4.75	4.18	8.93	
Tension de service	515	506		V S.T.C.
Orientation	plein sud (0°)	plein sud (0°)		
Inclinaison	24°	24°		
* selon mesures du fabricants				
Onduleur	Sunways	Sunways		
Puissance nominale	5.0	5.0		kW
Tension nominale	470	470		V
Plage MPP	350-650	350-650		V
Efficacité maximale	96.8	96.8		%
Efficacité selon moyenne européenne	96.1	96.1		%
Nombre de phases	monophasé	monophasé		
Transformateur	sans transfo.	sans transfo.		
Commande	autocommuté	autocommuté		
Technologie	IGBT	IGBT		

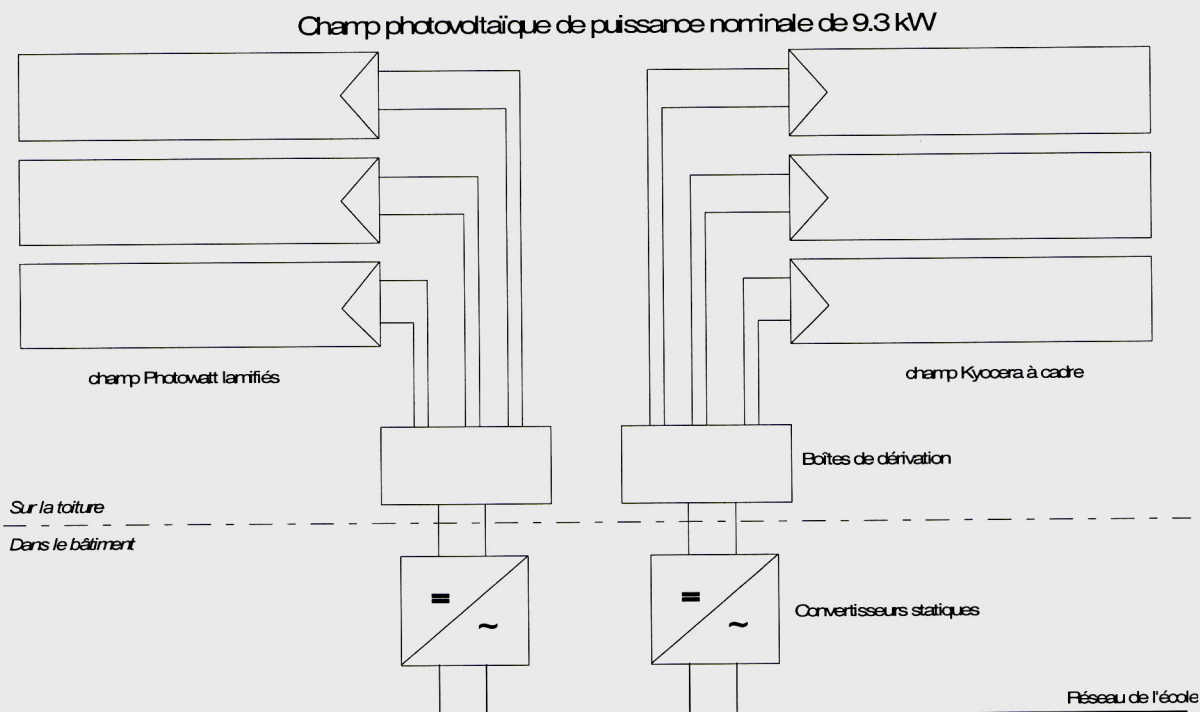


Fig. 5 : Schéma de principe de l'installation

5.2 Analyses des mesures

La campagne de mesures a été menée du 1.12.97 au 30.11.98, soit une année entière. Le cœur du système d'acquisition est un datalogger de la marque Campbell. Cet acquiesiteur de données est dépouillé automatiquement chaque jour. Chaque mois, une analyse des données est faite. Nous présentons ici la synthèse des ces 12 analyses. Celle-là est faite conformément aux directives de la direction de programme de promotion photovoltaïque. La récapitulation principale est la suivante :

	HI	EA	EIO	EIO/EA
	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh]	
déc.97	21	157	141	90%
janv.98	36	256	236	92%
févr.98	115	873	794	91%
mars.98	131	945	859	91%
avr.98	136	1035	960	93%
mai.98	203	1534	1401	91%
juin.98	140	1074	985	92%
juil.98	137	1026	940	92%
août.98	178	1333	1212	91%
sept.98	125	988	880	89%
oct.98	85	692	610	88%
nov.98	65	527	472	89%
1 an	1371	10441	9490	91%

Définition des grandeurs	Terminologie anglaise (selon JRC / Ispra)	Symbole	Unité
Irradiation dans le plan capteur	Irradiation, total (array plane)	GI	[kWh/m ²]
Production DC	Array output energy	EA	[kWh]
Production AC	AC-energy output from inverter	EIO	[kWh]
Efficacité de l'onduleur	Inverter efficiency	EIO/EA	

Tableau 1 : Valeurs mensuelles avec la terminologie correspondant à celle proposée par le Joint Research de la Communauté Européenne (Ispra/I)

Ces valeurs sont exprimées en terme de productivité dans le tableau suivant :

	Yr	YA	Yf	Ls	Lc	PR
	[kWh/(kWp*d)]	[kWh/(kWp*d)]	[kWh/(kWp*d)]	[kWh/(kWp*d)]	[kWh/(kWp*d)]	
déc.97	0.67	0.57	0.51	0.11	0.06	76%
janv.98	1.17	0.93	0.85	0.24	0.07	73%
févr.98	4.11	3.49	3.17	0.62	0.32	77%
mars.98	4.21	3.41	3.10	0.80	0.31	74%
avr.98	4.54	3.86	3.58	0.68	0.28	79%
mai.98	6.53	5.54	5.06	1.00	0.48	77%
juin.98	4.66	4.01	3.67	0.65	0.33	79%
juil.98	4.42	3.71	3.39	0.72	0.31	77%
août.98	5.74	4.81	4.38	0.93	0.43	76%
sept.98	4.17	3.69	3.28	0.49	0.41	79%
oct.98	2.74	2.50	2.20	0.24	0.30	81%
nov.98	2.17	1.97	1.76	0.21	0.21	81%
1 an	3.76	3.20	2.91	0.56	0.29	77%

Définition des grandeurs (selon Ispra)	Terminologie anglaise	Symbole	Unité
Productivité solaire de référence (plan capteur)	Reference yield	Yr	[kWh/(kWp*d)]
Productivité du champ des panneaux (énergie DC)	Array yield	YA	[kWh/(kWp*d)]
Productivité de l'installation (énergie AC)	Final yield	Yf	[kWh/(kWp*d)]
Pertes du système	System losses	Ls	[kWh/(kWp*d)]
Pertes de captage	Capture losses	Lc	[kWh/(kWp*d)]
Indice de performance	Performance ration	PR	[%]
			d = day ; jour

Tableau 2 : Productivités mensuelles comme définies par la Communauté Européenne (Joint Reserach Centre à Ispra/I)

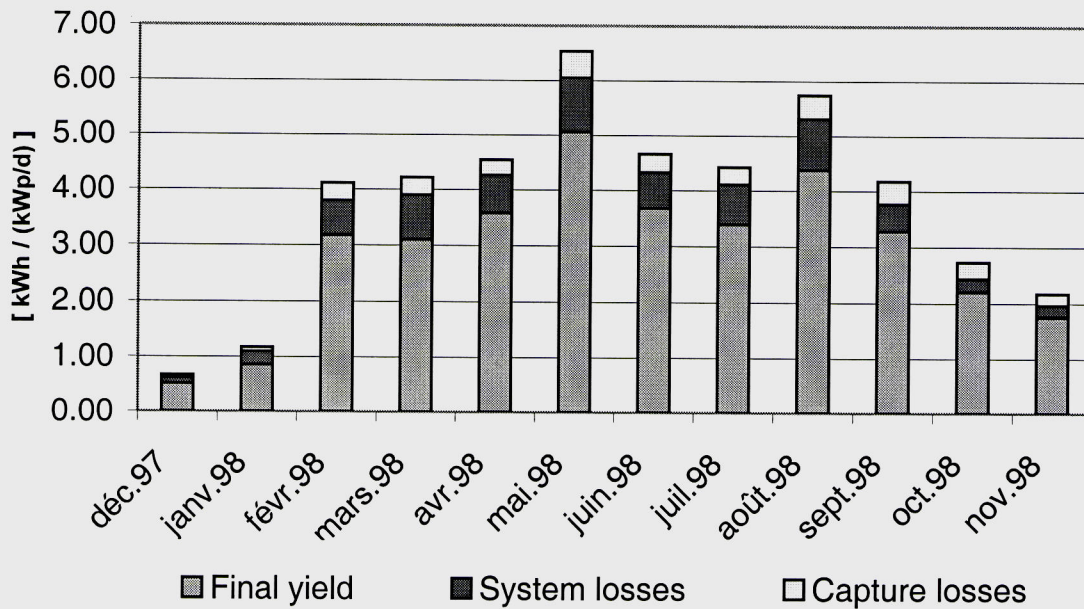


Fig. 6 : Productivités mensuelles

La figure suivante montre la valeur du PR en fonction de l'ensoleillement

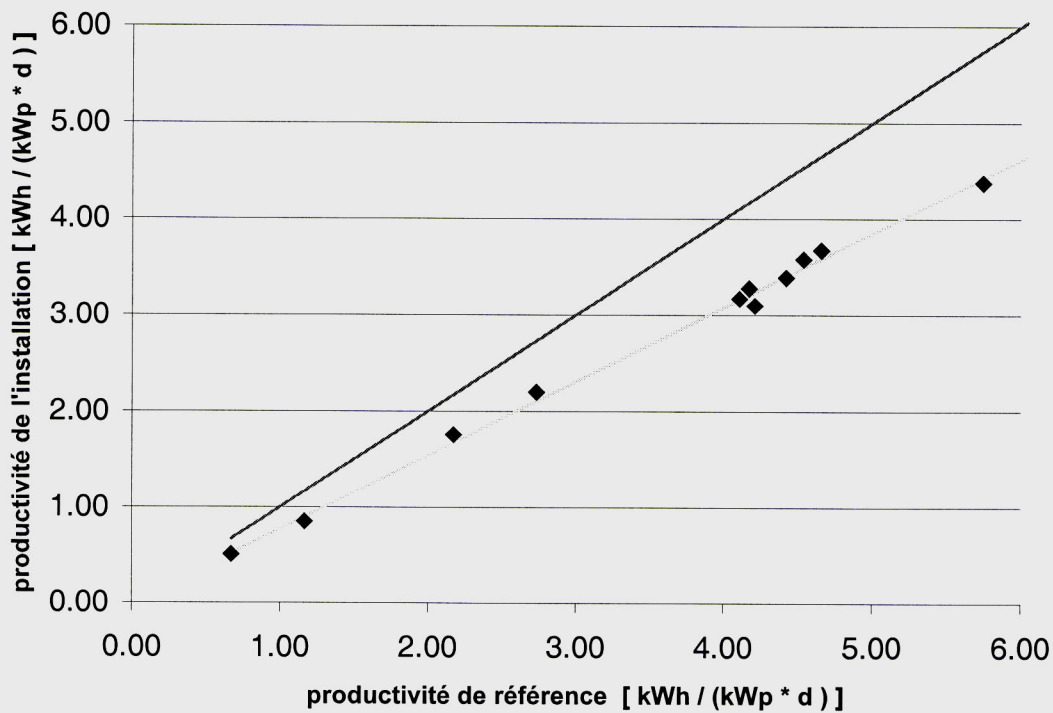


Fig. 7 : Productivités mensuelles en fonction de l'ensoleillement

Les différents tableaux et figures ci-dessus montre un fonctionnement irréprochable de l'installation. A part un petit problème de l'onduleur dont le système « Maximum Power Tracking » fonctionnait mal lors de la mise en service, le système donne entière satisfaction.

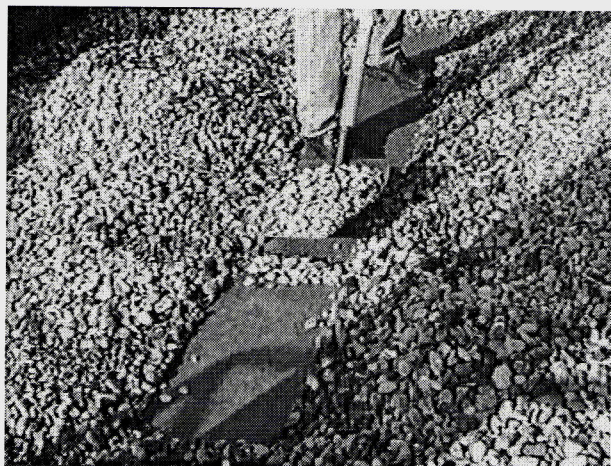
L'indice de performance est excellent (77%). Comme l'orientation du système n'est pas loin de l'optimum (Inclinaison de 24°, plein sud), la productivité par rapport à la puissance nominale est également excellente: 1062 kWh/kW.

6. Remerciements

Nous tenons à remercier L'Office Fédéral de l'Energie pour son soutien, le Service des Bâtiments et le Service Electrique de L'EPFL pour leur collaboration efficace et leur attitude positive face à nos demandes multiples.

Lausanne, le 15 décembre 1998/EPFL-LESO

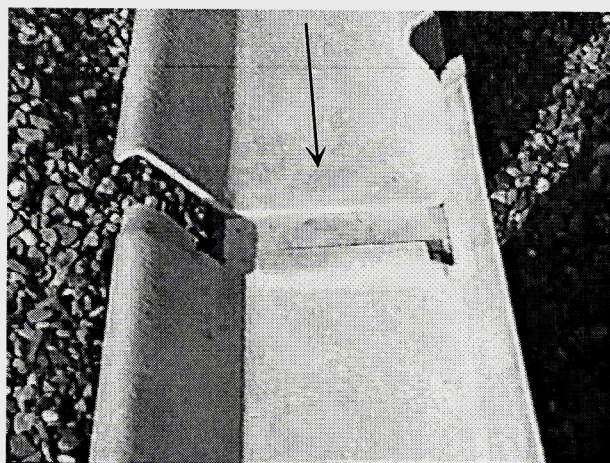
ANNEXE 1
Montage - 1 : L'élément SolBac



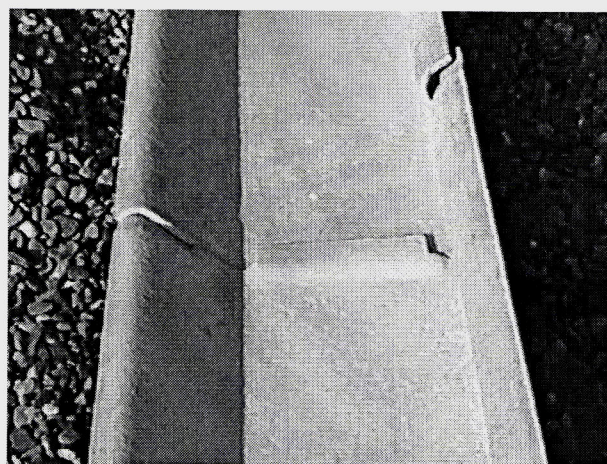
1. Déplacer le gravier



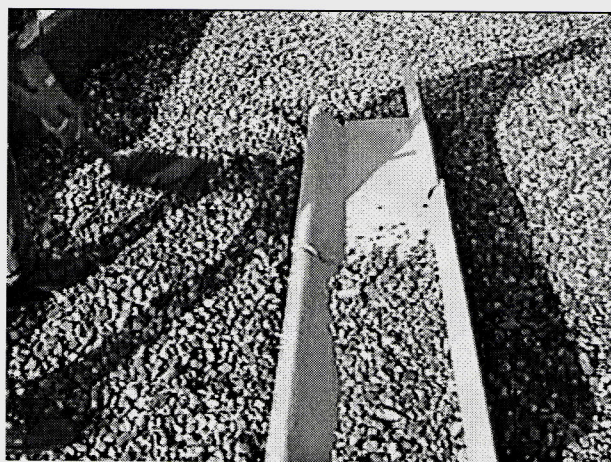
2. Renforcer éventuellement l'étanchéité (Roofmate ..)



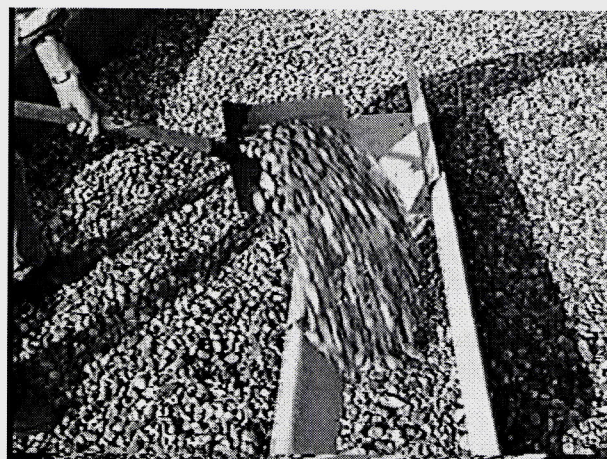
3. Placer les SolBac et les encaster



4. Les éléments sont solidairement tenus



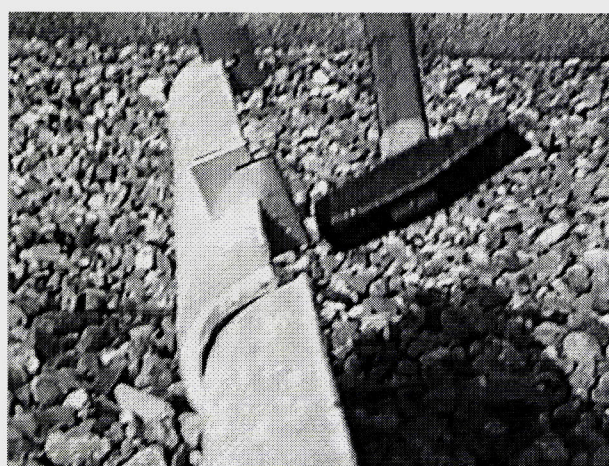
5. Remplir les SolBac de gravier



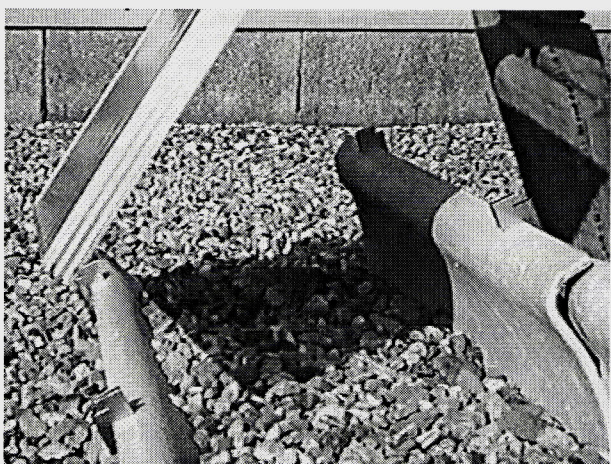
Montage - 2 : Modules à cadre



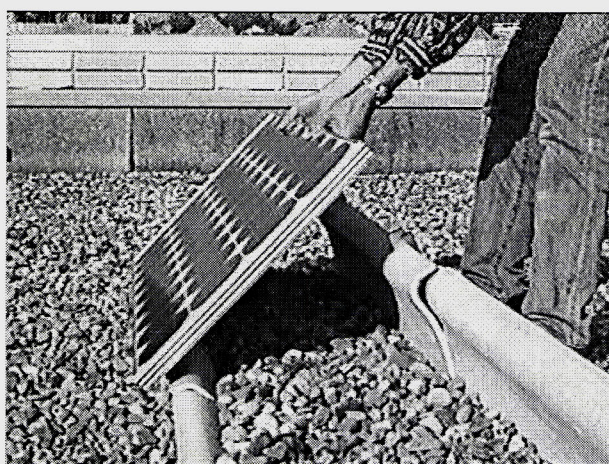
1. Présenter les crochets...



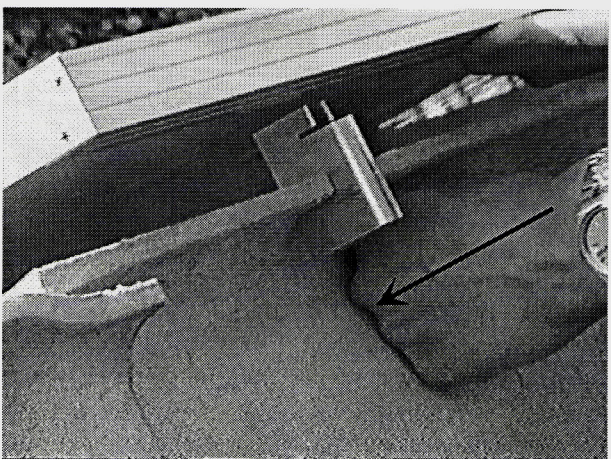
2. ...et les enficher à l'aide d'un marteau



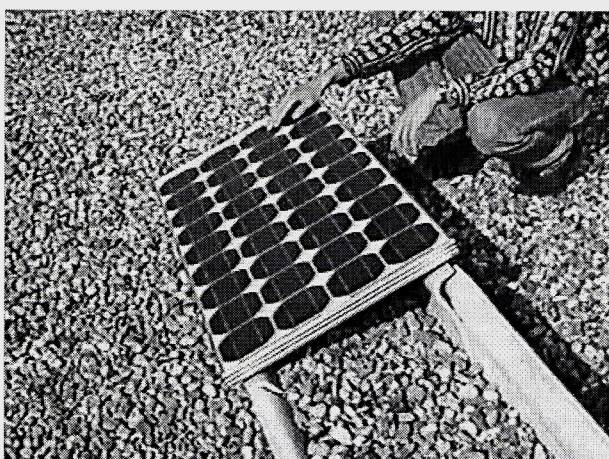
3. Déposer le module du bas ...



4. ...vers le haut



5. Placer le cadre dans le crochet par pression sur le SolBac



6. Le module est ainsi solidement fixé.

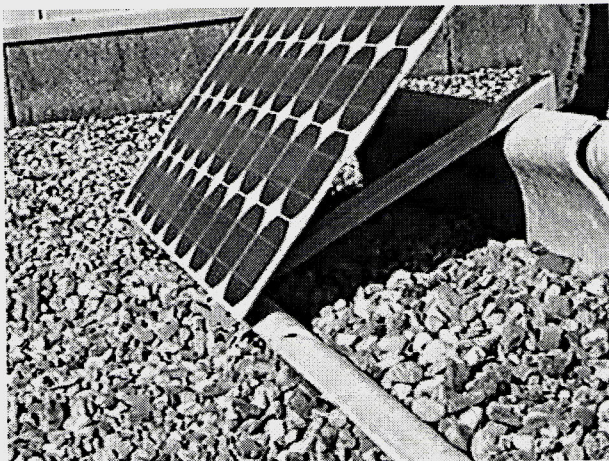
Montage - 3 : Lamifiés



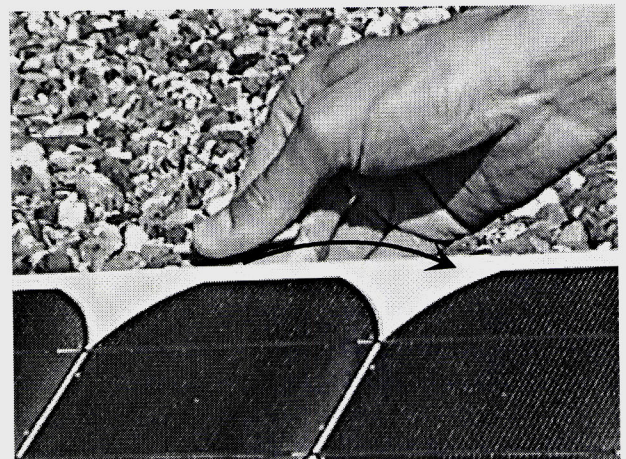
1. Fixer les agrafes du bas.



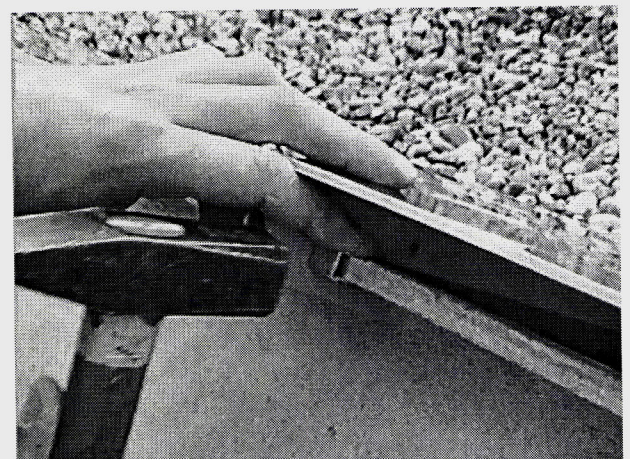
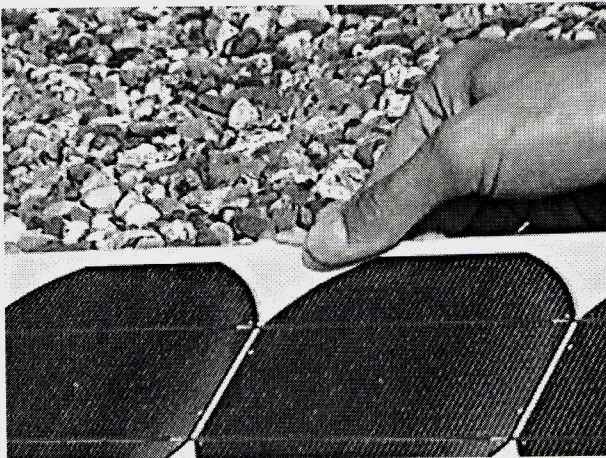
2. Placer les crochets en contraignant le SolBac.



3. Déposer le lamifié sur les crochets



4. Le fixer par rotation des crochets



5. Assurer la fixation à l'aide d'une agrafe.