



Bundesamt für Energiewirtschaft
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Uffizi federal d'energia



EPFL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE



Programme de recherche photovoltaïque

PHOTOVOLTAÏQUE SUR TOITS PLATS

Une nouvelle approche



Rapport final

Projet OFEN 14869/54392

Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie



Bundesamt für Energiewirtschaft
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Uffizi federal d'energia



Programme de recherche photovoltaïque

PHOTOVOLTAÏQUE SUR TOITS PLATS

Une nouvelle approche

Rapport final

Projet OFEN 14869/54392

Ce rapport a été rédigé par

C. Roecker, J. Bonvin, A.N. Muller, Z. Zaerpour

ont également participé

P. Loesch, S. L'Eplattenier, S. Renfer, B. Smith

Ce projet a bénéficié de la collaboration de

Peter Toggweiler
Daniel Ruoss
Enecolo AG – Mönchaltorf
Markus Haab
Eternit AG

Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie

Table des matières

Résumé	5
Summary	5
1. Introduction.....	6
Organisation du rapport	6
2. Typologie des toitures plates	7
2.1 Introduction	7
2.2 Définition et typologie	7
2.2.1 Toiture froide.....	8
2.2.2 Toiture chaude.....	9
2.2.3 Toit plat à étanchéité non protégée.....	13
2.2.4 Toiture verte.....	14
2.3 Description et caractéristiques des matériaux.....	15
2.3.1 Support	15
2.3.2 Couche de séparation et de glissement	16
2.3.3 Barrière de vapeur	16
2.3.4 Isolation thermique.....	17
2.3.5 Couche d'étanchéité	17
2.3.6 Couche d'utilisation et de protection	19
2.4 Entretien et défauts.....	20
3. Développement de nouveaux systèmes : systèmes à base de béton	21
3.1 Expériences préalables.....	21
3.2 Développement des socles	23
3.2.1 Technologie béton	23
3.2.2 Solution "à cheval"	23
3.2.3 Sofrel "Wave"	24
3.2.4 Sofrel "fermé"	26
3.2.5 Sofrel "nu"	28
3.2.6 Sofrel "ouvert"	29
3.2.7 Sofrel 98 ou Pégase	30
3.3 Conclusions	33
4. Développement de nouveaux systèmes : systèmes fibro-ciment	34
4.1 Le système SolBac	34
4.2 Le nouveau système SolBac.....	43
5. Développement de nouveaux systèmes : systèmes pour toitures vertes	45
5.1 La solution SolGreen "petites installations"	47
5.2 Le système SolGreen "grandes installations"	50
6. Autres voies explorées	54
6.1 Métal déployé.....	54
6.2 Polyéthylène recyclé	56
7. Conclusions et remerciements	58
8. Bibliographie.....	60
9. Annexes.....	61

Résumé

Le toit plat est un support de choix pour intégrer une installation photovoltaïque au bâtiment. Toutefois, les solutions classiques utilisées jusqu'au milieu des années 90 sont peu satisfaisantes, tant du point de vue prix, esthétique que facilité d'entretien.

Ce rapport présente, après une étude typologique des différentes sortes de toits plats, une série de solutions nouvelles et originales, développées et testées.

Trois groupes de systèmes principaux sont décrits, différenciés avant tout par le type de lestage des panneaux PV qu'ils utilisent :

Famille SOFREL,	lestage par plots de ciment
Famille SOLBAC,	lestage par ballast existant sur le toit
Famille SOLGREEN,	lestage par gravier et couche d'humus.

De plus, quelques solutions non finalisées sont discutées indiquant des pistes à suivre pour de futurs développements.

En conclusion, le projet a permis de développer 3 familles de systèmes, tous trois commercialisés ou en cours de commercialisation, qui permettent de monter des panneaux PV de façon simple et rapide sur tout type de toit plat.

Summary

Flat roofs are among the best choices to mount photovoltaics on buildings.

Nevertheless, standard solutions in use till mid-nineties were quite poor, as far as price, aesthetics and ease of maintenance were concerned.

This report presents, following a comprehensive typology study of flat roofs, a series of new and innovative solutions, fully developed and tested.

There are three main system groups, differing essentially by the ballasting method used to keep the panels on the roof.

SOFREL family :	concrete blocs weighting
SOLBAC family :	existing ballast use weighting
SOLGREEN family :	ballast and earth weighting.

Some more systems, not finalised, are also described, giving some hints for possible new developments.

To conclude, this project has brought three main systems, all three already or soon commercially available, allowing a simple and easy mounting of PV panels on any flat roof type.

1. Introduction

Parmi les différentes surfaces disponibles pour le PV sur les bâtiments, les toits plats constituent un cas particulier. Contrairement aux façades ou aux toits inclinés, ils ne bénéficient généralement que de peu d'attention de la part de l'architecte et sont considérés très souvent comme une extension sauvage des locaux techniques. Il en découle une organisation très précaire de la surface, avec de nombreux obstacles distribués aléatoirement en fonction uniquement d'impératifs technico-économiques (cheminées aérations, écoulements, ascenseurs, etc.).

Cet environnement a permis l'acceptation sans problèmes majeurs de centrales photovoltaïques faites de béton, profilés métalliques, câbles apparents dont l'aspect s'accordait à celui des installations environnantes mais dont la souplesse de montage comme l'esthétique laissaient à désirer.

L'attention portée aux toits plats actuellement est en train de changer, notamment avec l'arrivée des toitures végétalisées, mais également en fonction des nouvelles connaissances concernant leur entretien. Les systèmes PV traditionnels sont en effet prévus pour n'être installés qu'une fois, et ne permettent que difficilement le démontage et remontage après 10 - 15 ans, pour l'entretien périodique du toit.

Pour les photovoltaïciens, il existe donc un challenge qui consiste à augmenter les possibilités d'utilisation de cet important potentiel de surfaces (env. 22% des toitures en Suisse), en proposant des systèmes de montage qui répondent mieux aux exigences actuelles, que les procédés habituels. C'est à cette tâche que nous avons consacré le travail dont les résultats sont exposés ci-après.

Organisation du rapport

Pour permettre de saisir les contraintes propres à l'utilisation des toits plats comme supports d'éléments PV, il était nécessaire de connaître leur composition habituelle, les matériaux communément utilisés et les problèmes typiques associés. Le chapitre 2 traite donc de la typologie des toits plats, essentiellement en Suisse, et sert de référence pour le travail de développement ultérieur.

Les trois chapitres suivants décrivent les phases de développement de 3 systèmes, adaptés spécifiquement à des types de toitures différents. L'accent a été mis sur les résultats finaux de chaque filière, mais avec un aperçu des autres options abandonnées en cours de projet, pour permettre une meilleure appréhension des investigations réalisées.

Enfin un chapitre est consacré aux voies non encore ou partiellement explorées mais qui paraissent intéressantes pour l'avenir. Comme nous avons pu le constater lors de ce travail, ce sont souvent les systèmes les plus simples au final qui ont demandé le plus de travail et d'ingéniosité, nous ne sommes donc pas encore au bout du chemin!

2. Typologie des toitures plates

2.1 Introduction

La toiture plate est une couverture presque horizontale que l'on peut utiliser de diverses manières:

- en toitures nues
- en toitures non accessibles
- en toitures praticables (toit-terrasse)
- en toitures carrossables
- en toitures avec végétation (toiture-jardin).

Les toitures plates doivent protéger les bâtiments des éléments naturels, supporter la circulation accidentelle ou permanente, et séparer l'atmosphère extérieure de l'air intérieur. Elles doivent donc être :

- isolante contre la chaleur et le froid,
- résistante à l'action mécanique (vent, neige,...),
- imperméable à l'eau et résistante au gel,
- durable (couverture et support),
- résistante aux rayonnements solaires,
- résistante au choc (travaux, pas,...),
- résistante à l'action chimique,
- calculée pour le retrait et la dilatation.

En Suisse, les constructions avec toits plats représentent une surface de près de 90 km². Tous les 25 ans environ, une rénovation de la couche étanche est nécessaire et ce sont donc de nombreux m² de toitures plates qui sont renouvelées annuellement. Ainsi, de part leur nombre et leur situation, les toits plats conviennent idéalement à l'installation de modules photovoltaïques.

2.2 Définition et typologie

La toiture plate est une construction composée de plusieurs éléments - difficile à contrôler dans chacune de ses couches, que sont : le support porteur, la barrière de vapeur, l'isolation thermique, l'étanchéité et la protection de l'étanchéité.

On classe généralement les toitures plates en trois grands groupes :

2.2.1 Toiture froide

La **toiture froide sans isolation thermique** qui convient pour des constructions pour lesquelles aucune isolation thermique n'est nécessaire. L'étanchéité est posée directement sur le support; elle est généralement collée en plein; des ruptures de la couche étanche peuvent être occasionnées par des mouvements et des dilatations du support.

La composition des couches de bas vers le haut d'une toiture froide sans isolation est la suivante:

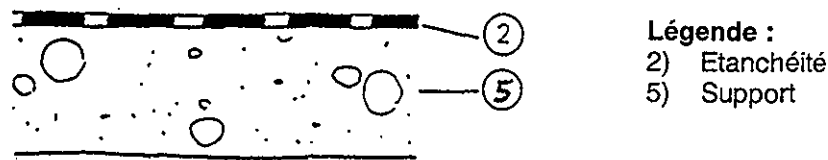


Figure 1 : Toiture froide

La **toiture froide avec isolation thermique intérieure**, où l'isolation thermique est placée sous le support statique. La structure est donc soumise aux variations des températures extérieures et elle subit des mouvements et des dilatations; il faut donc prévoir une barrière vapeur très efficace. On recourt à ce type de toiture lorsque l'on désire améliorer l'isolation thermique d'un toit existant ou d'une dalle carrossable.

La composition des couches de bas vers le haut d'une toiture froide avec isolation thermique intérieure est la suivante:

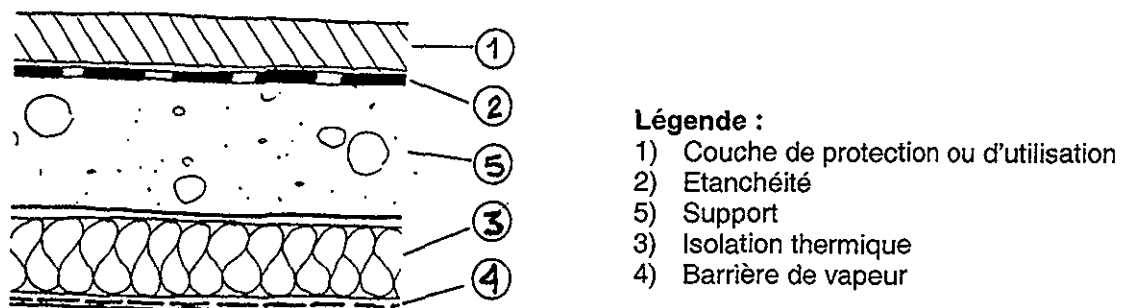
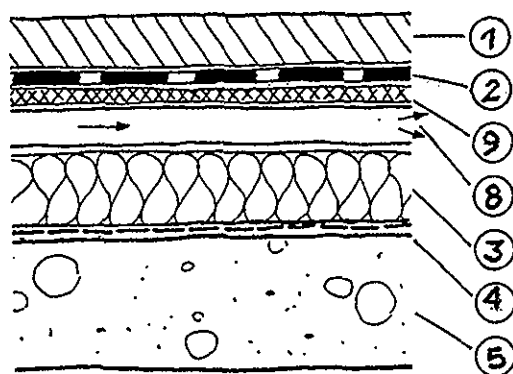


Figure 2 : Toiture froide avec isolation thermique intérieure

La **toiture froide ventilée**, comporte une structure intérieure qui forme l'enveloppe des locaux et une structure extérieure qui reçoit l'étanchéité. Entre ces deux structures un espace libre est créé qui assure une ventilation depuis l'extérieur. Du fait de sa double structure, ce type de toiture est onéreux à réaliser et donc peu courant; elle est principalement utilisée pour les charpentes métalliques ou en bois. L'avantage de la toiture froide ventilée est, qu'en cas de fuites légères, la ventilation assure le séchage de la construction alors que pour la plupart des autres types de toitures, il faut généralement remplacer l'isolation thermique.



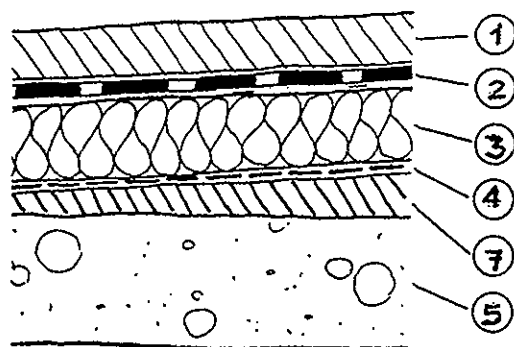
Légende :

- 1) Couche de protection ou d'utilisation
- 2) Etanchéité
- 3) Support rapporté
- 8) Vide de construction ventilé
- 3) Isolation thermique
- 4) Barrière de vapeur
- 5) Support

Figure 3 : Toiture froide ventilée

2.2.2 Toiture chaude

La **toiture chaude traditionnelle** est un système de toiture pourvu d'une étanchéité appliquée directement sur l'isolation thermique, sans couche d'air intermédiaire. L'étanchéité se trouve ainsi sur la couche d'isolation thermique et elle peut donc la protéger. C'est le système le plus couramment utilisé en Suisse, car sa pose est simple, se fait sur tous types de support, et le rapport coût/performance est très intéressant.



Légende :

- 1) Couche de protection
- 2) Etanchéité
- 3) Isolation thermique
- 4) Barrière de vapeur
- 7) Forme de pente ou de réglage
- 5) Support

Figure 4 : Toiture chaude traditionnelle

Lors de la mise en oeuvre d'une toiture chaude traditionnelle, un compartimentage doit impérativement être prévu; sinon, en cas d'infiltration, on aura des difficultés à localiser les défauts d'étanchéité.

La **toiture inversée** a en revanche l'isolation thermique placée au-dessus de l'étanchéité, collée directement au support. La couche isolante, totalement hydrophobe, protège ainsi la couche étanche des influences climatiques et mécaniques; les infiltrations d'eau sont difficilement possible. Les avantages, comparativement au toit plat massif habituel (toiture chaude), sont les suivants :

- Une meilleure protection de l'étanchéité contre les variations de température et les chocs thermiques.

- Une protection de l'étanchéité contre les agressions mécaniques.
- Une facilité à localiser d'éventuelles infiltrations.
- Une absence de formation de cloques de vapeur d'eau dues à l'action de l'humidité sur la couche d'isolation.
- Le gain de la couche pare-vapeur. La couche d'étanchéité tient lieu de pare-vapeur. De plus, du fait de l'emploi d'un isolant thermique hydrophobe, les conditions météorologiques sont sans incidence sur la pose. La couche d'isolation thermique peut être posée même par temps humide, sans conséquences fâcheuses pour la durée de vie du toit.
- Une réutilisation des plaques d'isolation et de la couche de protection. Ceux-ci sont réutilisables en cas de rehaussement ultérieur de l'édifice.

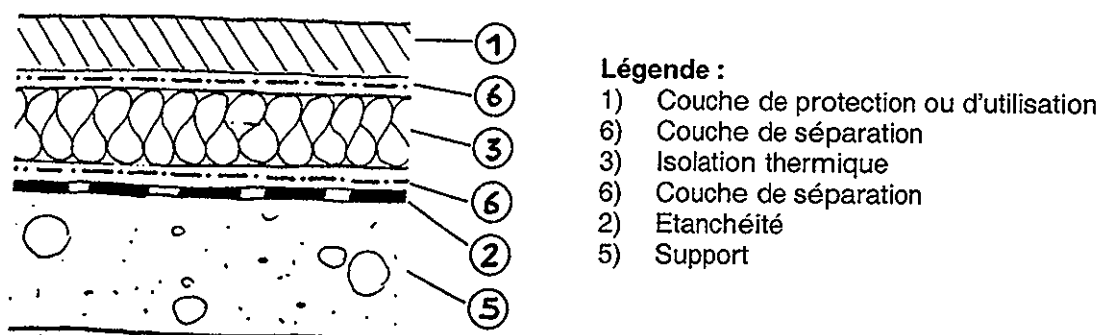
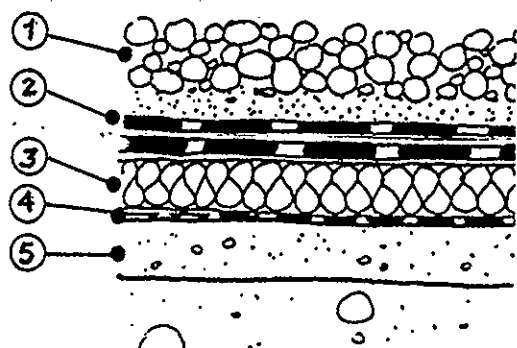


Figure 5 : Toiture inversée

On constate, suivant les matériaux utilisés, de fortes pertes thermiques dues à la charge en vapeur d'eau - donc en eau - de l'isolant (circulation d'eau entre les plaques et absorption d'eau par le matériau lui-même). De plus, si l'étanchéité est posée librement -sans compartimentage de contrôle- toutes réparations ou recherches de fuites vont s'avérer délicates et nécessiter la dépose partielle du revêtement supérieur.

Les **toitures à système compact** sont des toitures chaudes dans lesquelles toutes les couches, couche de protection ou revêtement praticable mis à part, sont liées à pleine surface, entre elles et avec le support. Celui-ci est réalisé en béton armé coulé sur place et il doit présenter une surface plane. Les constructions par éléments autonomes (béton cellulaire, tôle profilée, etc.) n'entrent donc pas en ligne de compte comme support.

Comme isolant thermique, on utilise des panneaux de verre cellulaire imperméable à la vapeur en combinaison avec du bitume à chaud; la barrière de vapeur n'est donc pas nécessaire. L'étanchéité est ensuite collée à pleine surface sur les panneaux en verre cellulaire.



Légende :

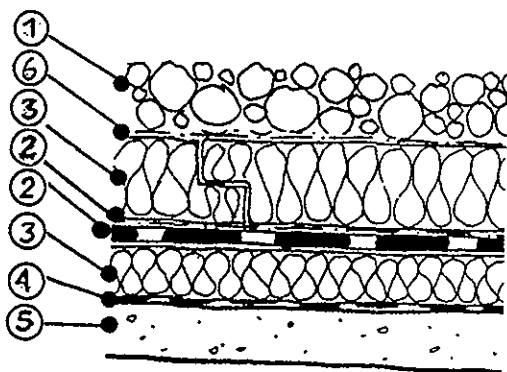
- 1) Couche de protection ou d'utilisation
- 2) Etanchéité
- 3) Isolation thermique
- 4) Barrière de vapeur
- 5) Support

Figure 6 : Toiture à système compact

Du fait de l'emploi du verre cellulaire, aucune propagation d'eau ou de feu n'est possible; par ailleurs le verre cellulaire est totalement étanche (à l'eau et à la vapeur d'eau), incompressible, et incombustible. Il a pour inconvénient d'être relativement fragile lors de mise en oeuvre de faible épaisseur, d'être onéreux à l'achat, et de nécessiter un apport de bitume important.

Les **toits plats de type duo** - comportant une couche d'isolation thermique sous l'étanchéité et une autre au-dessus - ne sont plus beaucoup employés actuellement pour les nouveaux ouvrages.

Pourtant, en cas de couches d'isolation très épaisses (courantes aujourd'hui en raison des normes sur l'isolation thermique), la toiture duo constitue une solution technique judicieuse. En effet, l'épaisseur d'isolation requise est obtenue en superposant une toiture inversée sur une toiture plate massive habituelle et non aérée, combinant ainsi les avantages des ces deux types de toiture.



Légende :

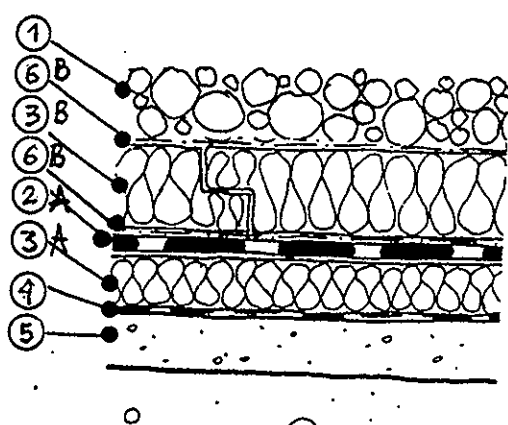
- 1) Couche de protection ou d'utilisation
- 6) Couche de séparation
- 3) Isolation thermique
- 2) Etanchéité
- 2) Etanchéité
- 3) Isolation thermique
- 4) Barrière de vapeur
- 5) Support

Figure 7 : Toiture de type duo

La couche de gravier peut être mince, en fonction de l'épaisseur des plaques, mais suffisante afin d'éviter que les couches inférieures ne flottent. Contre les appels d'air dus au vent, suivant la configuration de la toiture, il faut également alourdir le bord du toit (au moyen, par exemple, de bacs en béton pour plantes).

D'une façon générale, une couche pare-vapeur n'est pas nécessaire si les conditions climatiques extérieures et ambiantes sont normales et si la résistance thermique des couches situées sous la couverture représente tout au plus 30% de la résistance thermique totale. Pour chaque cas, il convient de prouver mathématiquement l'absence d'eau de condensation sous la couche d'étanchéité et l'absence de glace sous la couche d'isolation de la toiture inversée (SIA 271, art. 3. 22. 12).

La **toiture double** est fréquemment utilisée lors de rénovation de toiture dont la couche étanche est encore dans un état satisfaisant. Ce système consiste à renforcer l'étanchéité existante en y posant directement dessus une isolation thermique complémentaire et une nouvelle étanchéité. Il est ainsi possible d'adapter le pouvoir calorifuge aux exigences actuellement en vigueur et de choisir la nouvelle couche étanche (y compris les couches de protection) en fonction des utilisations envisagées.

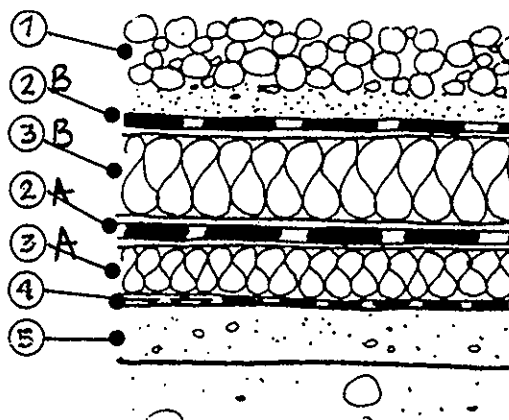


Légende :

- 1) Couche de protection ou d'utilisation
 - 6) Couche de séparation
 - 3) Isolation thermique
 - 6) Couche de séparation
 - 2) Etanchéité
 - 3) Isolation thermique
 - 4) Barrière de vapeur
 - 5) Support
- A = existante, B = nouvelle

Figure 8 : Toiture double

La **toiture à système amélioré** est aussi un type de toiture chaude utilisée lors de rénovation. L'isolation thermique est améliorée par l'adjonction d'une isolation thermique supplémentaire sur l'étanchéité selon le mode de la toiture inversée.



Légende :

- 1) Couche de protection ou d'utilisation
 - 2) Etanchéité
 - 3) Isolation thermique
 - 2) Etanchéité
 - 3) Isolation thermique
 - 4) Barrière de vapeur
 - 5) Support
- A = existante, B = nouvelle

Figure 9 : Toiture à système amélioré

Conformément à la Recommandation SIA 180 (édition 1988), on ne doit pas dépasser le coefficient de transmission thermique $k = 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (la Recommandation SIA 271 «Toits plats» indique également les valeurs k maximales autorisées en fonction de la nature de l'infrastructure et de l'altitude). Pour les toitures plates existantes, la valeur k étant généralement plus élevée, la pose de plaques d'isolation sera la meilleure manière de réduire la valeur k à condition que l'étanchéité du toit soit encore impeccable. Si ce n'est pas le cas, il convient tout d'abord de rétablir l'étanchéité, par exemple au moyen d'une couche étanche appliquée à chaud. Par ailleurs, on veillera à ce que la structure soit à même de supporter le poids de gravier supplémentaire qui sera éventuellement ajouté.

2.2.3 Toit plat à étanchéité non protégée

Les **toits plats à étanchéité non protégée** (toiture chaude ou froide) - peu fréquents en Suisse - ne comportent ni couche de protection, ni revêtement praticable; l'ensemble du revêtement est collé en plein ou fixé mécaniquement sur la structure. L'absence de protection pose des exigences considérables, en particulier en raison de l'exposition aux intempéries.

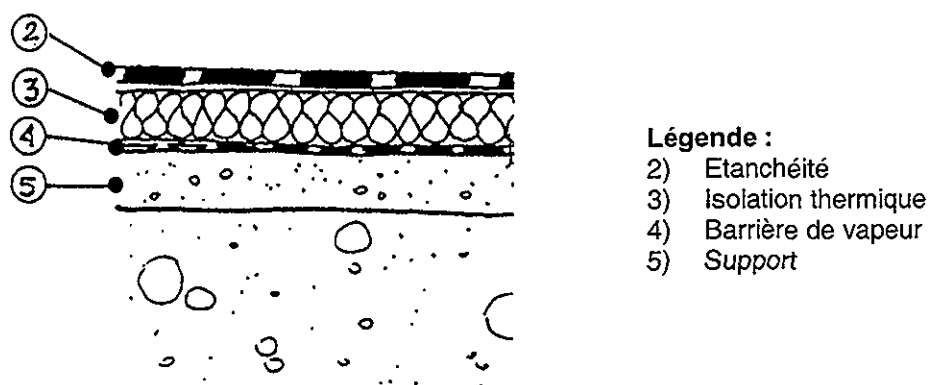


Figure 10 : Toiture à étanchéité protégée

Trois variantes de ce type de toiture sont pratiquées :

1. Toutes les couches sont collées en plein entre elles.
2. L'isolation thermique est fixée mécaniquement et l'étanchéité est collée en plein.
3. Toutes les couches sont fixées entre elles et à la structure.

Bien évidemment, l'étanchéité et ses fixations ne doivent pas subir de déformation permanente sous l'influence des charges de service et elles sont choisies pour résister aux agressions climatiques.

2.2.4 Toiture verte

C'est un système de toiture ayant un revêtement d'étanchéité et un complexe d'isolation thermique particulièrement résistants destinés à recevoir un aménagement paysager constitué par des couches de filtration et de drainage, du terreau ou de la terre, un engazonnement ou/et des plantations.

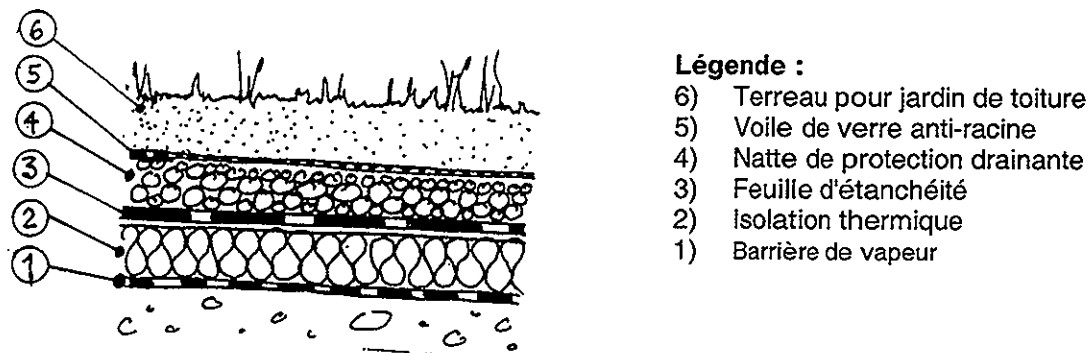


Figure 11 : Toiture verte

Les toitures vertes présentent comme avantage principal l'amélioration du climat intérieur du bâtiment. En effet, de par leur épaisseur et leur humidité, les couches de terre et de drainage augmentent l'inertie du complexe de toiture, égalisant ainsi les températures diurne et nocturne.

Par ailleurs, la végétation présente en toiture dans les centres urbains capte les poussières en suspension et recycle en partie le CO₂, diminuant ainsi la pollution. Pour cette raison, en Allemagne et en Suisse, de plus en plus de communautés ont rendu obligatoire la pose de toiture verte sur les toits plats construits ou rénovés des centres villes.

Le système de **toiture plate à végétation extensive** ne demande que peu de soins; grâce aux 6 centimètres de terreau spécial posé, la végétation requiert seulement 1 à 2 tontes par an et un arrachage des sauvageons d'arbre tous les deux ans. La végétation est composée généralement de fleurs sauvages (type *Cedum* ou *Orpin*) résistant à des conditions climatiques extrêmes.

Le système de **toiture plate à végétation intensive** permet de réaliser des jardins suspendus sur n'importe quel type de toiture. En fonction des végétaux que l'on désire acclimater, on choisira l'épaisseur et le mélange de terre adéquat. Selon le type de jardin choisi, le drainage et la protection anti-racine doivent être particulièrement étudiés.

2.3 Description et caractéristiques des matériaux

Dans cette partie, nous détaillons et présentons les caractéristiques des différentes couches constituant une toiture plate : support structural, couche de séparation et de glissement, barrière de vapeur, isolation thermique, étanchéité, couche d'utilisation et de protection.

2.3.1 Support

Il existe différents types de supports, tel le béton armé, les hourdis de béton ou de terre cuite, les tôles profilées, les planchers en bois, certains éléments d'isolation thermique autoportants, etc.

Evidemment, tous ces éléments ont pour fonction première de porter les charges et matériaux au-dessus d'eux. De plus, suivant leurs types de support, ils peuvent aussi jouer le rôle d'isolant thermique ou acoustique. Lors de la mise en œuvre, on veillera à ce que l'évacuation des eaux se fasse vers les orifices prévus à cet effet.

Support Réf.[1]

Support	Exemples	Utilisations possibles	Précaution à prendre
Béton armé banché Béton préfabriqué	- dalles pleines ou nervées en béton armé - dalles alvéolées avec hourdis - dalles sur coffrages perdus en acier - éléments porteurs en béton préfabriqué	- toiture nue - toiture non accessible - toiture praticable piétonne - toiture carrossable - toiture sous terre	- siccité - état de surface - pente à donner - flèche et déformation - liaison des éléments (préfabriqués) - imperméabilité à l'air impérative
Tôle profilée	- tôle nervurée - bacs autoporteurs	- toiture nue - toiture non accessible - toiture praticable	- avec isolation combustible - largeur du vide des nervures - flèches et déformations - corrosion éventuelle
Bois naturel, croisé ou aggloméré, panneaux de particules	- lambrissage - panneaux ligneux - panneaux de particules	- toiture nue - toiture non accessible - toiture praticable piétonne	- fixation et assemblage (rainé-crêté) - flèches et déformations - ventilation en sous-face indispensable
Eléments isolants porteurs	- béton cellulaire armé - béton de copeaux de bois armé - béton d'argile expansé	- toiture nue - toiture non accessible - toiture praticable piétonne - toiture carrossable - toiture sous terre pas conseillé avec toitures carrossable et sous terre	- flèches et déformations - étude conduction thermique et de vapeur - isolation thermique à compléter

2.3.2 Couche de séparation et de glissement

Lorsque deux couches voisines ne sont pas chimiquement compatibles, on intercale une couche de séparation entre elles; de même, on dispose une couche de glissement lorsqu'il faut permettre certains mouvements différentiels (dû principalement à des actions de dilatation entre l'isolation et l'étanchéité). Par ailleurs, cette couche de glissement/séparation peut servir aussi de protection contre la perforation ou la détérioration mécanique.

Plusieurs types de couche de séparation/glissement sont présents sur le marché de la construction : le carton bitumé renforcé par des fibres de verre avec granulés de liège collés à la face intérieure, les voiles de verre, le Sarnafelt, etc.

2.3.3 Barrière de vapeur

De basses températures extérieures provoquent une différence de pression de vapeur à travers les éléments de construction; il en résulte une diffusion de vapeur d'eau à travers les différentes couches composant la toiture. Cette formation d'humidité peut être particulièrement dommageable à la toiture lors de l'emploi d'isolation non imperméable. Les barrières de vapeur permettent d'éviter ce type de dégâts, leur perméabilité à la vapeur d'eau ne devant pas dépasser 0,005 mg/m² (correspondant à la perméabilité d'une couche d'air d'environ 130 mètres).

Données techniques des barrières de vapeur Réf. [2]

Caractéristiques	Epaisseur mm	Poids kg/m ²	Allongement à la rupture %	Résistance à la chaleur °C	Perméabilité à la vapeur u.d m	Exemple de marques et de produits
Voile de verre bitumé (V60)	2	2.4	2	70	150	AEZ Vaparoid/ Verbia
Feuille aluminium bitumée 2 faces (Alu 10 B)	2	2.4	2	60	>500	Veralu
Feuille aluminium gaufre et voile de verre bitumés	3 3.5	4.0 4.0	5	60	>500	Sopravap Bituflex
Feuille aluminium gaufre bitumée	4	4.4	2	60	1603	Vaprolene EA 4
Feuille de polyéthylène	1.6 1.6	0.3 0.4	700 900	70 70	270	Sarnavap
Asphalte coulé	20	48	-	-	880	
Copolymère d'éthylène, bitume et aluminium	1.1	1.270	800	70	>500	Gofil D 2.2

2.3.4 Isolation thermique

En premier lieu, l'isolation thermique doit assurer le confort thermique et économiser de l'énergie de chauffage; elle réduit donc les variations de température dans les couches inférieures de la construction. De plus, selon sa nature, elle peut aussi empêcher la formation de condensation, améliorer l'acoustique du bâtiment et, selon sa position par rapport à l'étanchéité, protéger la couche étanche des grandes influences climatiques et mécaniques.

D'après leur origine, on distingue trois grands groupes de matières isolantes:

- les matériaux d'origine végétale : liège, fibres de coco, laine de bois, etc. (à structure fibreuse ou capillaire),
- les matériaux d'origine minérale, céramique: laine de verre, laine de pierre, verre cellulaire, etc. (à structure fibreuse ou capillaire),
- les matériaux d'origine polymérique : mousses de polystyrène, polyuréthane, etc.

Les isolants sont livrés en panneaux ou rouleaux nus et peuvent être munis, sur une face, d'un revêtement souple ayant des propriétés pare-vapeur.

Les **panneaux** offrent généralement une rigidité leur permettant de ne pas s'affaisser sous leur propre poids. Ils sont réalisés à partir de tous les types d'isolations : minérale, végétale ou hydrocarbonée, à l'exception cependant des mousses d'urée formol. Leurs dimensions sont très variables selon les produits et les fabricants.

Les **rouleaux** sont exclusivement en laine de verre, de roche ou de laitiers, leurs dimensions varient selon le fabricant et le produit. Ils sont généralement revêtus d'un parement souple faisant office de pare-vapeur. Celui-ci est réalisé soit avec un papier kraft goudronné, soit avec un film polyéthylène ou aluminium, soit est composé des deux précédents. Ce revêtement présente parfois un double débord latéral permettant la fixation du rouleau sur des montants (par agrafage ou clouage) et permet la continuité du pare-vapeur.

Plusieurs tableaux détaillant les caractéristiques des principaux isolants sont présentés dans l'annexe A.

2.3.5 Couche d'étanchéité

C'est la couche de protection de la toiture contre les infiltrations d'eau; cette couche doit tout à la fois rendre étanche la toiture à l'eau, protéger des intempéries l'isolation thermique et préserver la toiture contre les influences mécaniques. Lors du chantier, cette couche sert aussi comme couche de protection et d'utilisation.

Les **étanchéités à base de bitume** résistent à l'eau et à la plupart des acides et bases, mais pas aux huiles et graisses. Les propriétés principales du bitume sont :

- son imperméabilité
- sa durabilité
- son pouvoir adhésif

- sa résistance à l'attaque chimique
- sa compatibilité avec presque tous les matériaux de construction.

Les lés **d'étanchéité bitumés** nécessitent une armature sur laquelle le bitume peut être appliqué en donnant au lé toute la résistance nécessaire au déchirement et au poinçonnement.

Les lés à base de **bitume-APP-plastomère** offrent une bonne résistance au vieillissement (par thermo-oxydation) et aux rayons UV, ont une bonne souplesse au froid et une bonne résistance au poinçonnement et au déchirement. Ils ont comme inconvénient de ne pouvoir être collés au bitume; ils doivent être soudés au chalumeau ce qui provoque une certaine plus-value dans le travail de pose. En général, ces lés sont posés en mono ou en bi-couches.

Les lés à base de **bitume-SBS-élastomère** ont comme avantage sur les précédents - du fait de leur bon comportement élastique - d'offrir une meilleure résistance aux mouvements d'éventuelles fissures du support.

L'asphalte coulé est un mélange homogène d'asphalte naturel et de bitume de distillation, additionné de sable et de gravillons appropriés; il se répand sur la partie à étancher à raison de 500 à plus de 1000 m² par jour. L'utilisation de la toiture est immédiate : circulation, entreposage, pose de revêtements de protection sont déjà possibles une heure après la pose. Il résiste à des conditions extrêmes et les raccords lors de réparation sont facilement exécutés. Lors de forte chaleur, il y a un risque de poinçonnement.

Les **lés d'étanchéité en matière synthétique** sont des lés souples, posés en semi-indépendance avec une fixation mécanique selon des méthodes simples de pose normalisée. Ce revêtement étant souvent posé en apparent, les entretiens et les réparations se trouvent facilités. Leur durabilité et leur résistance aux agents extérieurs sont inconnues dans les cas extrêmes.

L'étanchéité avec matière synthétique liquide ne s'utilise que pour les toitures inversées ou les toitures sans isolation thermique. Le produit adhère parfaitement à la surface du béton sain et permet le pontage des fissures de petite et moyenne importance (Efkaprene par exemple). La mise en œuvre des soudures et raccords est primordiale. Les raccords de bordures sont longs et délicats à réaliser avec des plaques de collage en ferblanterie.

Les toitures à placage métallique sont réalisées à partir de 5% de pente. Du fait de très forts coefficients de dilatation, la pose doit se faire flottante, posée sur la sous-construction. Pour les couvertures métalliques, on emploie surtout cinq matériaux :

- Le cuivre qui offre une résistance exceptionnelle aux influences extérieures a, de ce fait, un domaine d'application très étendu. Le cuivre est facile et simple à mettre en œuvre.
- L'aluminium qui possède une forte résistance aux influences atmosphériques; en effet, il se forme superficiellement une pellicule d'oxyde sur la face extérieure de la feuille qui protège l'aluminium contre la corrosion.

- Le zinc qui présente une bonne résistance à la corrosion atmosphérique. Soumis à l'humidité, le zinc se recouvre d'une couche d'hydrocarbonate imperméable et insoluble dans l'eau. Les couvertures en zinc ont donc une longue durée de vie sans nécessiter, en général, une peinture de protection.
- L'acier galvanisé. La galvanisation protège parfaitement l'acier contre la corrosion et doit être considérée comme une protection idéale contre la rouille.
- L'acier inoxydable, qui grâce à son excellente durabilité et sa haute résistance mécanique, peut être employé en faible épaisseur. Le bas coefficient de dilatation de l'acier inoxydable, inférieur aux autres matériaux métalliques de couverture, permet de l'utiliser en longues feuilles.

En annexe B, plusieurs tableaux détaillent les avantages et inconvénients des divers matériaux d'étanchéité.

2.3.6 Couche d'utilisation et de protection

C'est la couche supérieure du toit, qui permet une utilisation de la surface et protège les couches inférieures des influences mécaniques, de la succion du vent, du feu, etc. Dans le cas des toitures vertes, la couche de protection empêchera les racines d'attaquer les couches inférieures. L'annexe C présente de manière approfondie les diverses couches de protection.

En fonction du type de toiture, divers types de protection sont possibles :

Pour les **toitures nues** : les paillettes minérales, les gravillons agglomérés à la résine synthétique, l'aluminium ou cuivre gaufré, l'autoprotection (dans le cas de l'asphalte coulé et des lés de matière synthétique).

Pour les **toitures non accessibles** : le voile de polyester avec couche de gravier rond, la couche de sable et de gravier rond, l'asphalte coulé.

Pour les **toitures praticables (piétonne/toits-terrasse)** : les dalles préfabriquées en mortier de ciment ou de résines synthétiques, les pavés béton à emboîtement, les chapes, les couches drainantes avec microbéton et carrelage ou revêtement en pierre naturelle, l'asphalte coulé et le béton lavé.

Pour les **toitures carrossables** : les dallages de roulement en béton armé, de l'asphalte coulé, l'enrobé bitumineux, les pierres naturelles ou les pavés en béton.

Pour les **toitures avec végétation (toiture-jardin)** : les chapes en microbéton, les nattes en caoutchouc aggloméré, les lés ou plaques synthétiques (anti-racine et rétention d'eau) avec joints soudés, ou de l'asphalte coulé.

2.4 Entretien et défauts

Il est important, pour la bonne conservation d'un revêtement de toit plat, d'entretenir et de contrôler périodiquement l'état des raccords, des fermetures de bords et de l'étanchéité; et de réparer à temps les éventuels dommages. Pour les toitures sans couche de protection, ces contrôles doivent se faire au moins tous les deux ans. Il est devenu usuel que, tous les 7 ans ½ en moyenne, une toiture plate fasse l'objet d'un contrôle approfondi de son étanchéité. L'annexe D détaille avec précision le contrôle et l'entretien nécessaires.

On veillera, lors de la conception et la mise en œuvre d'une installation photovoltaïque sur une toiture plate, à ce que les points énumérés ci-dessous soient respectés :

- Les installations PV sont à disposer de telle sorte qu'aucun dommage ne puisse se produire à la suite de reflux d'eau des canalisations.
- La hauteur de retenue maximale des eaux pluviales doit toujours se situer en dessous des installations électriques.
- Les naissances d'eau pluviale doivent toujours rester dégagées.
- Lors de construction sur des toitures terrasses accessibles, prévoir des protections complètes des circuits électriques près des circulation .

En plus du contrôle usuel d'une installation photovoltaïque, il faudra prévoir les charges d'entretien suivante :

- Contrôler annuellement la propreté des naissances d'eaux pluviales.
- Désherber et ratisser la toiture, enlever les feuilles mortes et les débris.
- Contrôler le maintien à leur emplacement primitif des protections de toiture (sable et gravier, etc.), ainsi que le lestage ou/et la fixation des modules PV.
- Pour les toitures terrasses accessibles, exécuter des nettoyages complets des parties courantes du revêtement de circulation.

Par ailleurs, des ponts thermiques créés, des infiltrations d'eau pluviale au travers de percements, ou des forces s'exerçant sur des parois non destinées à les supporter peuvent engendrer de multiples effets sur une toiture. Il faut donc, lors de la conception et construction d'une installation PV, être très attentif aux différents points énumérés ci-dessus. Et ne pas oublier que si en moyenne le coût de l'étanchéité du bâtiment n'entre que pour 1,5% environ du coût total des travaux, ce prix peut rapidement augmenter si des manques graves se font sentir!

3. Développement de nouveaux systèmes : systèmes à base de béton

3.1 Expériences préalables

Lors de la collaboration précédente avec ENECOLO / (ex PMS), deux socles différents avaient été développés, qui fournissaient une base en forme de caisson fermé aux panneaux PV. Il s'agissait des deux systèmes présentés ci-dessous, le modèle DMX, coulé d'un bloc (fig. 12 et 13), et le modèle « Wattwil » dont les quatre parties étaient vissées ensemble (fig. 14). Malheureusement l'avantage d'avoir des connexions entièrement protégées des UV et des agressions mécaniques était contrebalancé par un prix trop élevé.

Les deux systèmes nommés ci-dessus ont également permis de mieux évaluer les possibilités de fixer les panneaux sur le socle par collage. Dans le cas du DMX, le collage a été réalisé à l'aide de bandes souples double-face 3M, sur un crochet en acier inox ou sur du béton un enduit de primer. Les 2 solutions ont été satisfaisantes, avec toutefois une préférence pour l'acier inox qui permet de s'affranchir des contraintes météorologiques (pluie, neige, humidité).

Pour l'installation de Wattwil, un premier essai à l'aide des bandes 3M n'a pas donné satisfaction (béton encore trop humide lors du collage), mais une fixation directe sur le béton à l'aide de silicone a été concluante. Dans les travaux de cette étude, les deux options de fixation principales seront donc le clipsage mécanique traditionnel et le collage au dos avec une préférence pour le collage sur une surface "sûre" (Acier inox, Aluminium) plutôt que le béton.

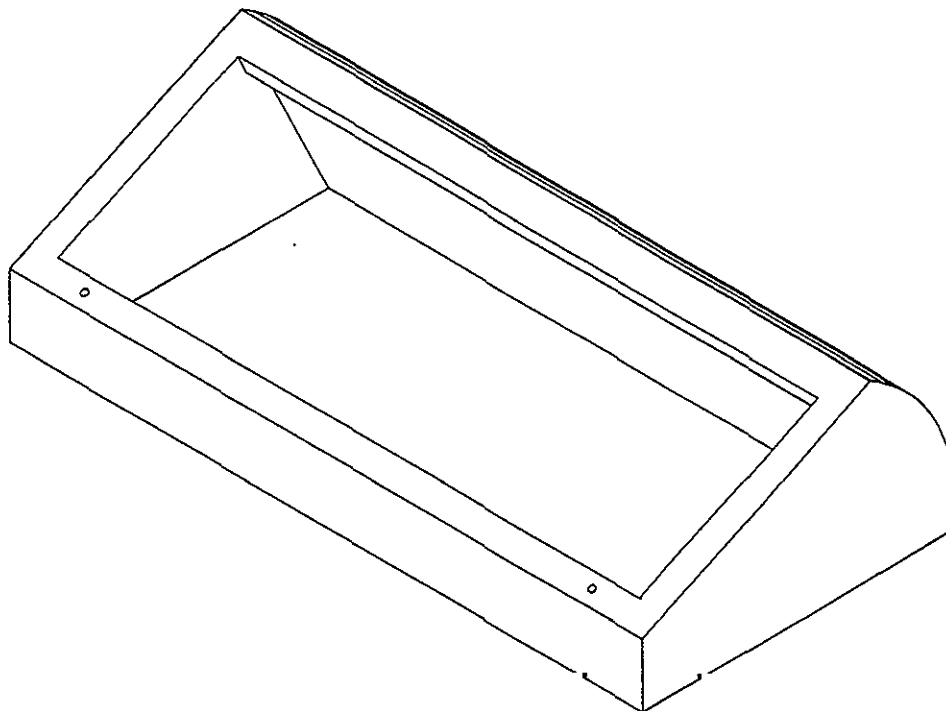


Figure 12 : Sofrel DMX

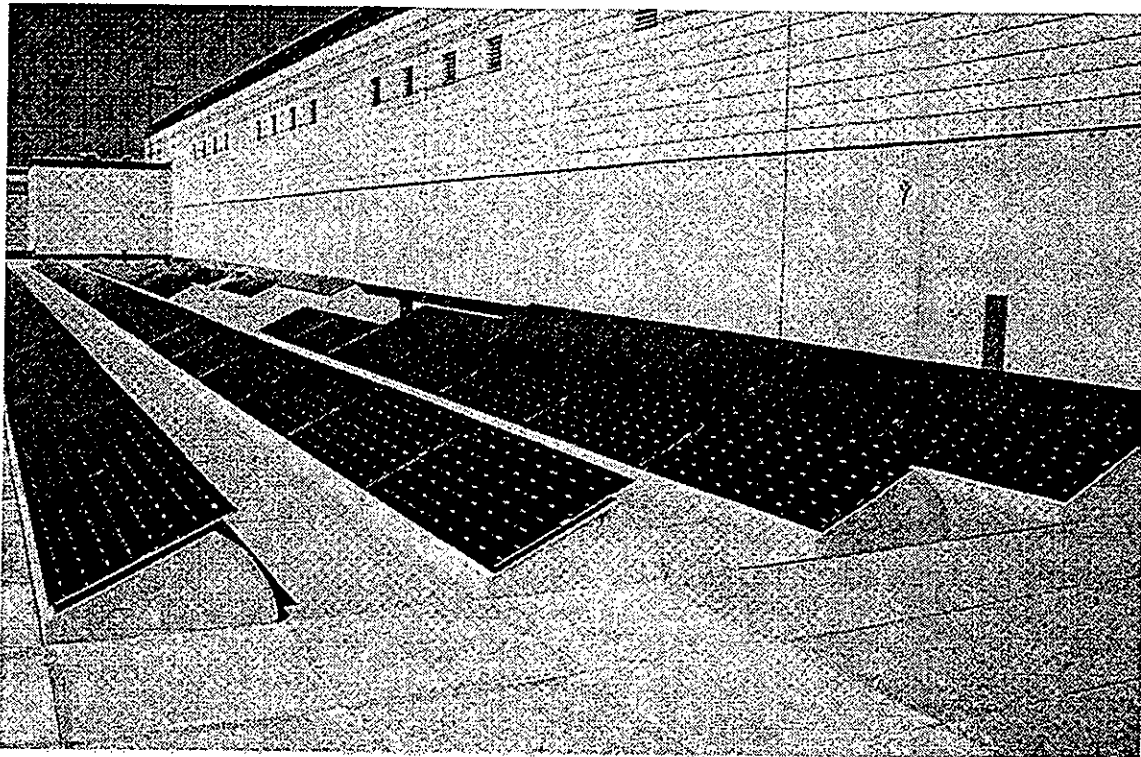


Figure 13 : Installation-pilote DMX, 5 kW

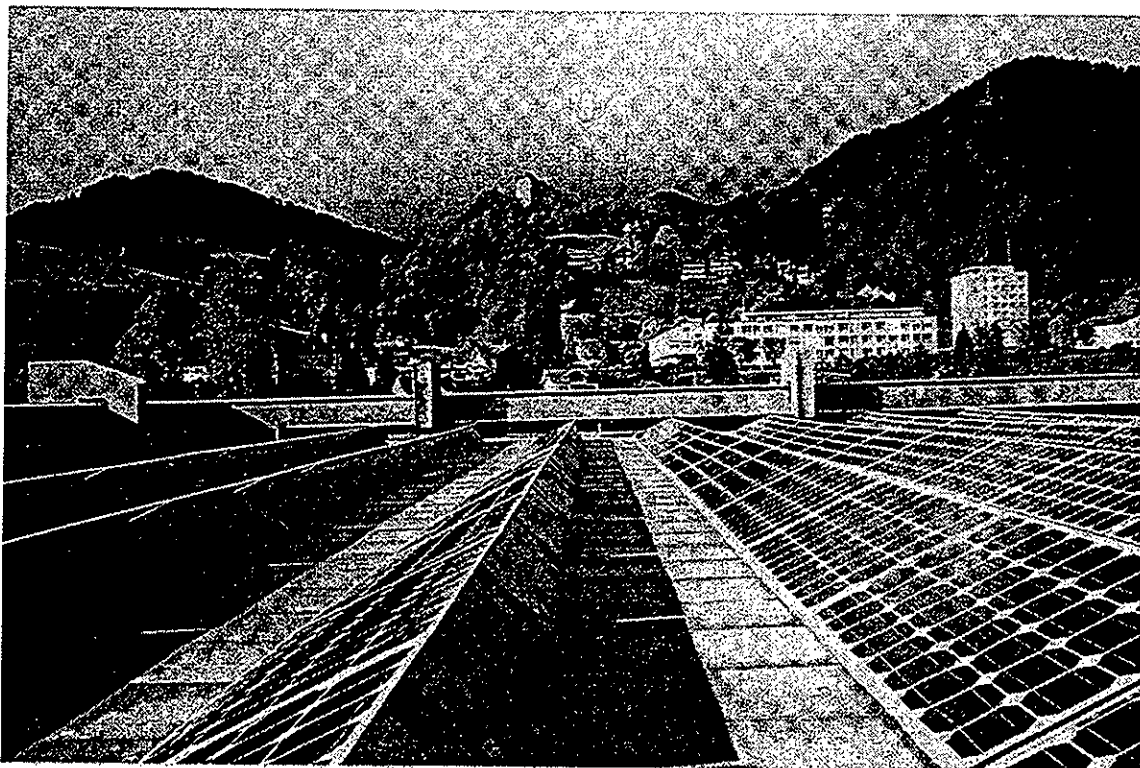


Figure 14 : Installation-pilote Wattwil

3.2 Développement des socles

Suite aux expériences précédentes, le prix de revient du système est devenu une contrainte importante dans ce projet, en particulier en fonction de la première application prévue, une installation de 100 kW à Suglio (Ti) pour le compte de l'UBS, dont le prix du kWh devrait être de 80 cts. Cette contrainte extérieure a conditionné de façon continue les choix opérés lors du développement, dès lors orienté "produit" plutôt que concept.

3.2.1 Technologie béton

Les éléments en béton préfabriqués sont bon marché, pour autant qu'ils puissent être produits automatiquement, à l'aide d'une machine spécialisée. Dans notre cas, cela implique entre autres :

- les éléments sont de forme 2D extrudée, c'est-à-dire comme découpée pour un "cookie cutter"
- ils ne comportent pas d'armature
- ils ne comportent pas de goujons sertis
- ils ont une épaisseur d'au moins 6 cm (résistance).

Par ailleurs, le moule coûtant entre 10 et 20 kFr, une nette préférence ira à une solution n'utilisant qu'une sorte d'élément (1 seul moule).

3.2.2 Solution "à cheval"

Le système décrit à la figure (fig. 15) comporte trois éléments, dont deux identiques, le troisième venant "à cheval" assurer la liaison mécanique entre les deux autres.

Avantages :

- limite les contraintes dans le panneau PV, les deux socles reposant à terre étant positionnés l'un par rapport à l'autre indépendamment du verre.

Inconvénients :

- 2 moules nécessaires
- fragile (l'élément 3 travaille parfois en traction)
- trop lourd (épaisseur min. des parois)
- ouvert, pas de protection mécanique et UV.

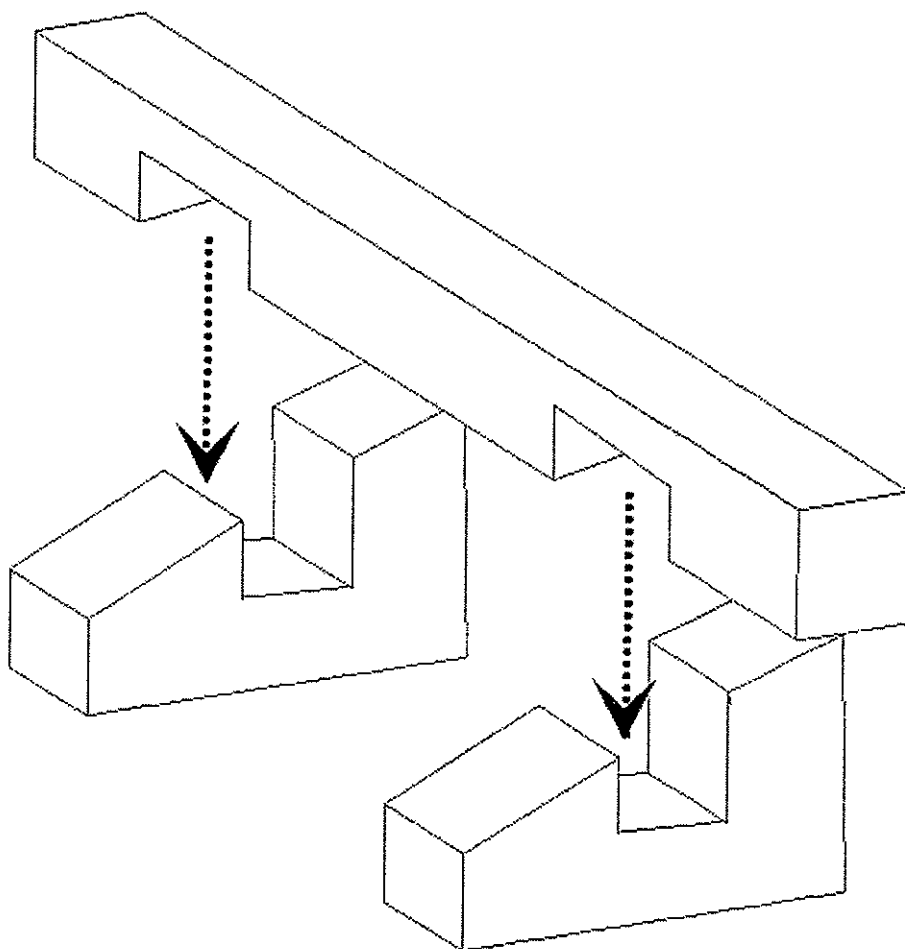


Figure 15 : La solution "à cheval"

3.2.3 Sofrel "Wave"

Ce système a été développé à partir de deux concepts préexistants, à savoir :

- Le DMX, socle en béton "fermé", en une pièce (cf. 3.1, fig. 12).
- Le concept "Wetzikon" (fig. 16), prévu pour assurer également l'étanchéité. Ce système a été abandonné car il était irréaliste de confier l'étanchéité à un système de supports bon marché.

Ce nouveau concept de couverture intégrale du toit, a été appelé Sofrel "Wave".

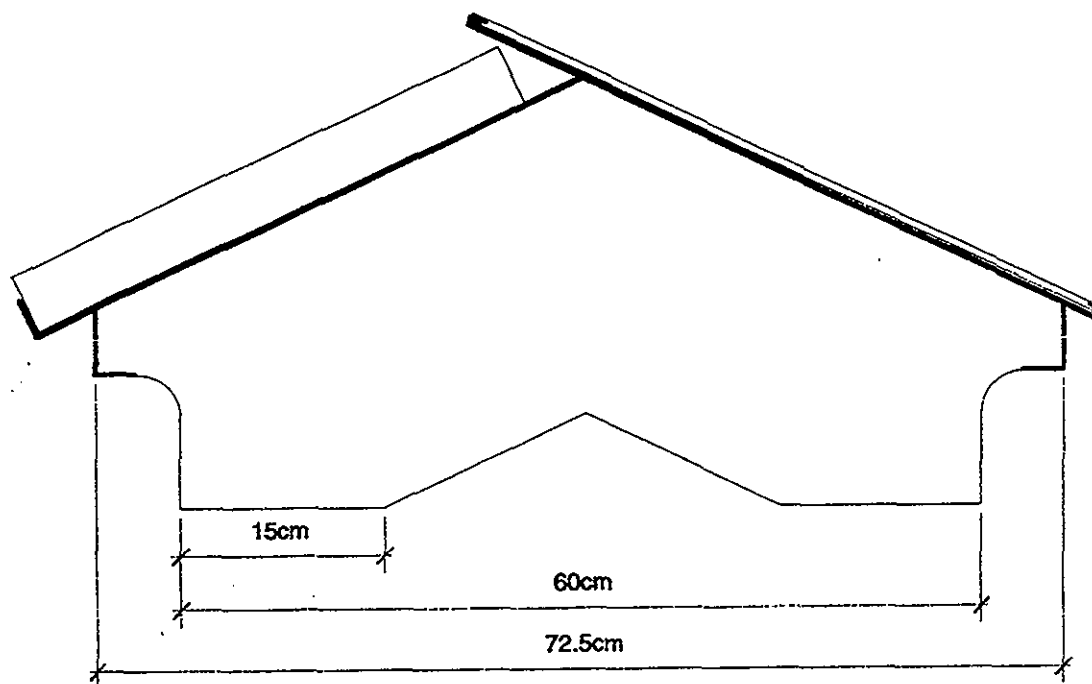


Figure 16 : Principe de Sofrel Wetzikon

On retrouve l'idée de protection mécanique et contre les UV du câblage, ainsi que la couverture totale du toit par le système proposé.

Cette approche n'utilise qu'un élément de béton non-standard, facile à réaliser et bon marché. Pour le reste, on emploie des plaques de béton standard de 50 x 50 ou 40 x 60, 2 par module.

L'aspect général de la toiture prend alors l'allure d'une série de vagues composées de modules PV et de plaques de béton (fig. 17 et 18).

Avantages :

- 1 seul nouvel élément (1 moule)
- 2 socles + 2 plaques relativement bon marché
- couverture totale

Inconvénients :

- pas totalement fermé
- zone de passage (marche) inclinée à env. 10°, d'où confort moyen
- impose des dimensions aux modules env. 1 m ou env. 1.20 m.

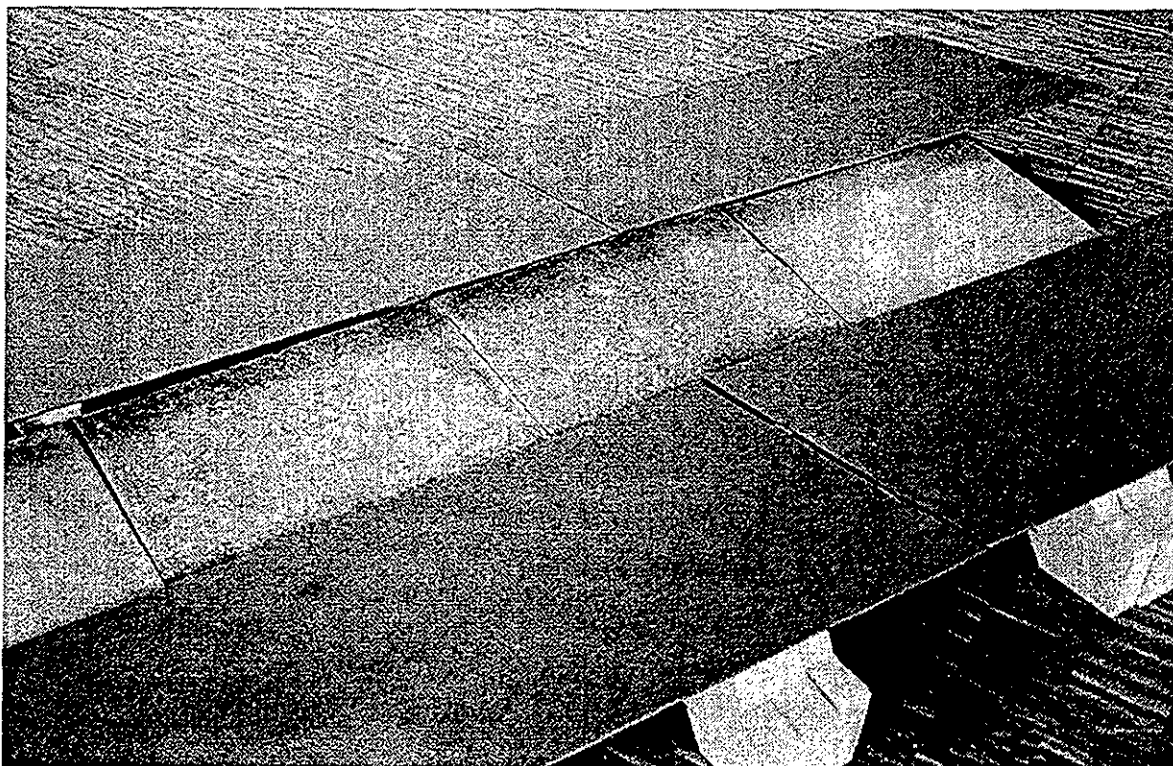


Figure 17 : Modèles en styrofoam de Sofrel Wave

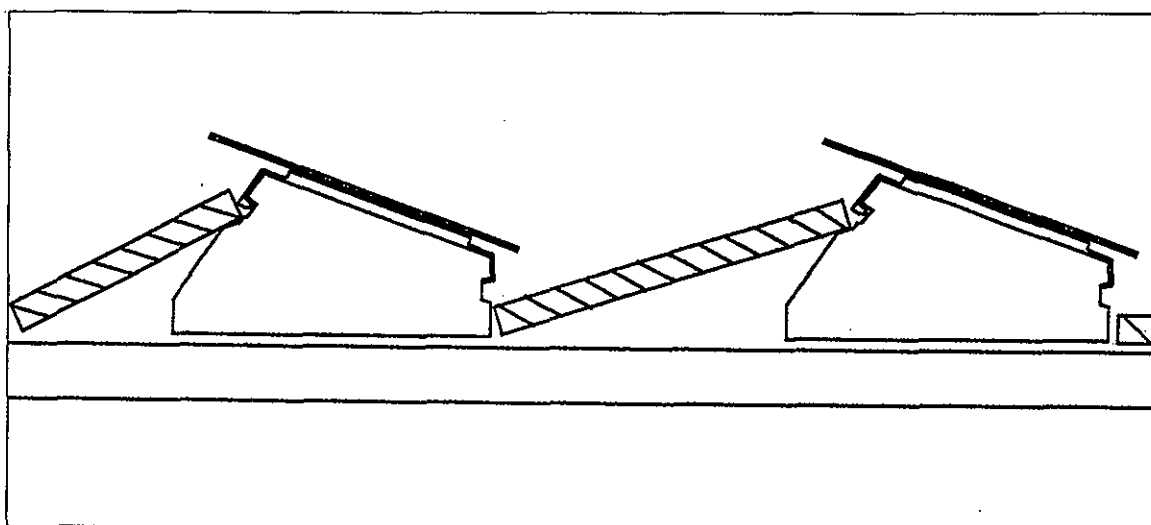


Figure 18 : Coupe du Sofrel Wave

3.2.4 Sofrel "fermé"

A partir des idées de couverture intégrale du toit et de systèmes de protection fermé, ce nouveau concept a été élaboré. N'utilisant qu'un nouvel élément de béton (fig. 19), pour fixer le module, et des plaques standard pour assurer la couverture du toit et la fermeture du socle, il offre une solution élégante et d'un prix abordable (fig. 20).

Avantages :

- 1 élément nouveau (1 moule)
- couverture totale
- fermeture totale
- élégant et agréable à traverser

Inconvénients :

- encore relativement cher (2 socles, 4 plaques)
- sécurité des plaques arrières contre le renversement par le vent

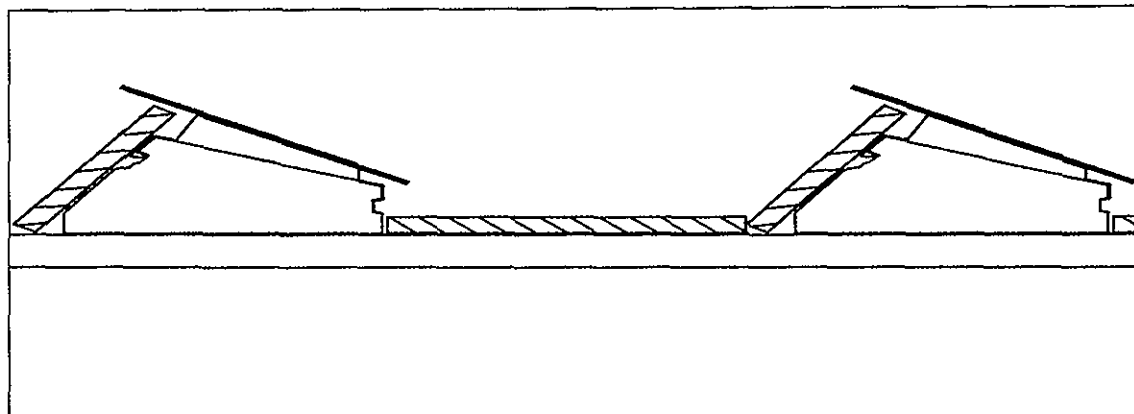


Figure 19 : Coupe Sofrel "fermé"

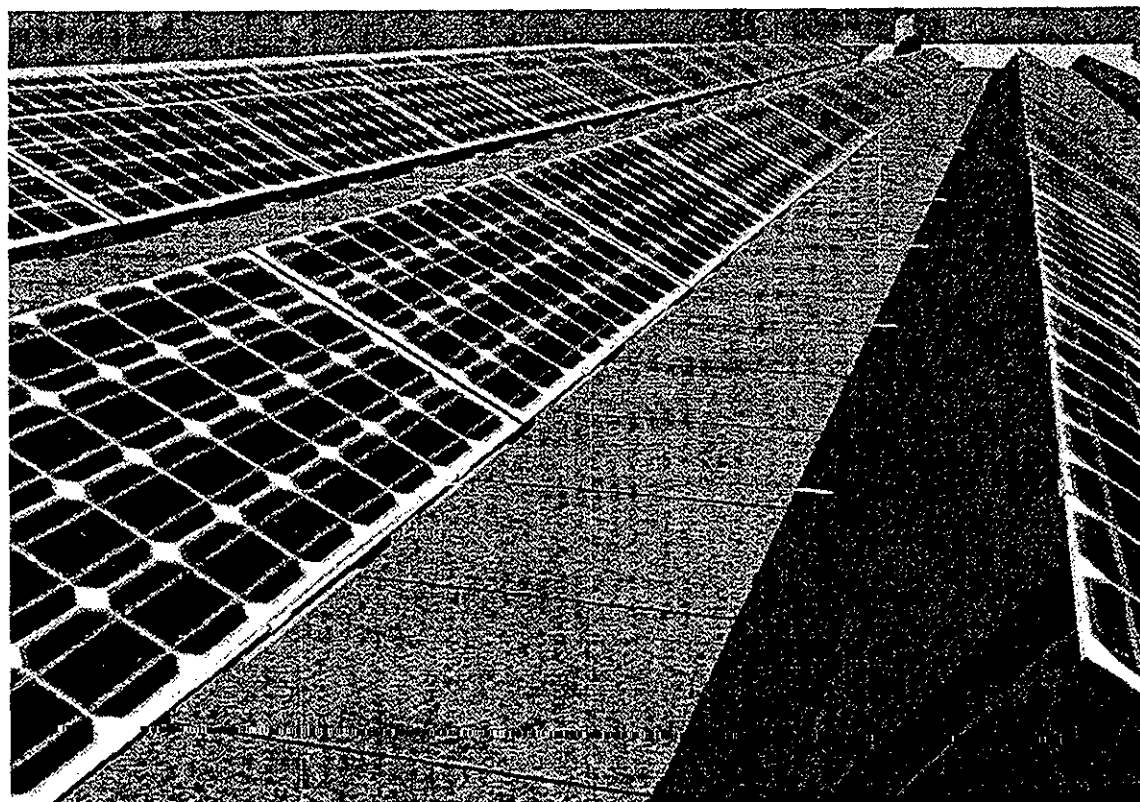


Figure 20 : Simulation 3D Sofrel "fermé"

3.2.5 Sofrel "nu"

Bien que notre système favori, Sofrel fermé, soit satisfaisant tant du point de vue protection des câbles, circulation qu'esthétique, l'installation pour laquelle il avait été conçu a été réalisée différemment. En effet, le toit plat du bâtiment SUGLIO a été recouvert d'une couche de gravier, ce qui rendait inutiles les dalles de cheminement (a) et aléatoire le maintien en place des dalles de couverture arrière. Il a donc été opté pour la solution la plus légère et la moins coûteuse, consistant en 2 blocs de béton posés à 60 cm l'un de l'autre, et reliés par le panneau PV.

Le bloc de béton "Sofrel" (fig. 21 et 22) a toutefois été dessiné pour permettre l'installation des différentes variantes fermé, Wave, ouvert et nu.

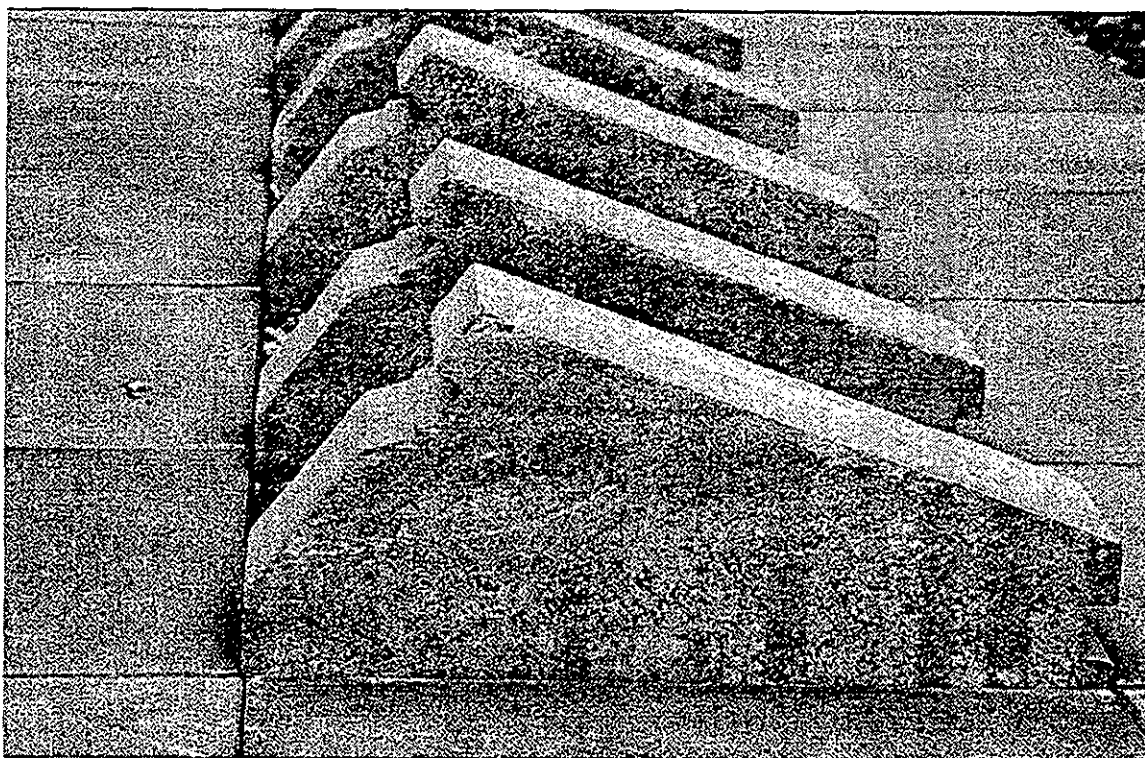


Figure 21 : Le socle de béton "Sofrel"

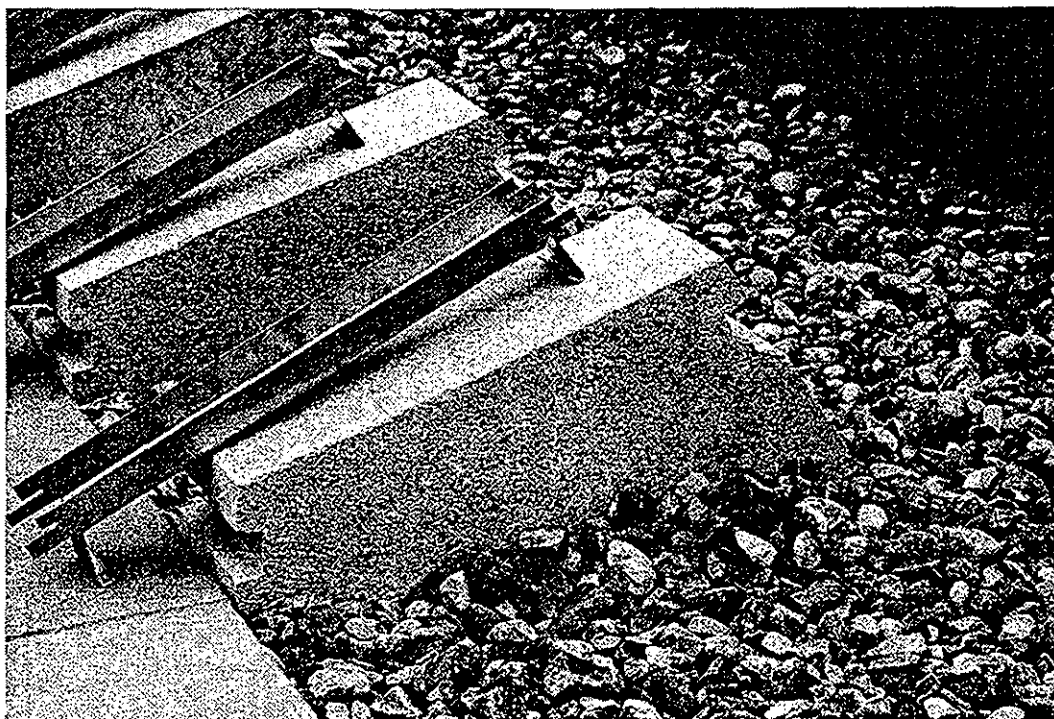


Figure 22 : Le socle de béton "Sofrel" et ses crochets pour modules à cadre

3.2.6 Sofrel "ouvert"

Cette sous-variante conserve l'objectif de permettre une couverture systématique du toit, la libre circulation des personnes et la protection des câbles entre les strings, mais renonce à fermer le dos des panneaux. On utilise les dalles et les socles (fig. 23) comme gabarit pour monter l'installation, et on conserve l'idée de système global.

Avantages :

- système de couverture
- circulation libre
- protection partielle de câblage
- prix légèrement inférieur à Wave

Inconvénients :

- système ouvert, LIV sur les câbles
- esthétique
- prise au vent supérieure

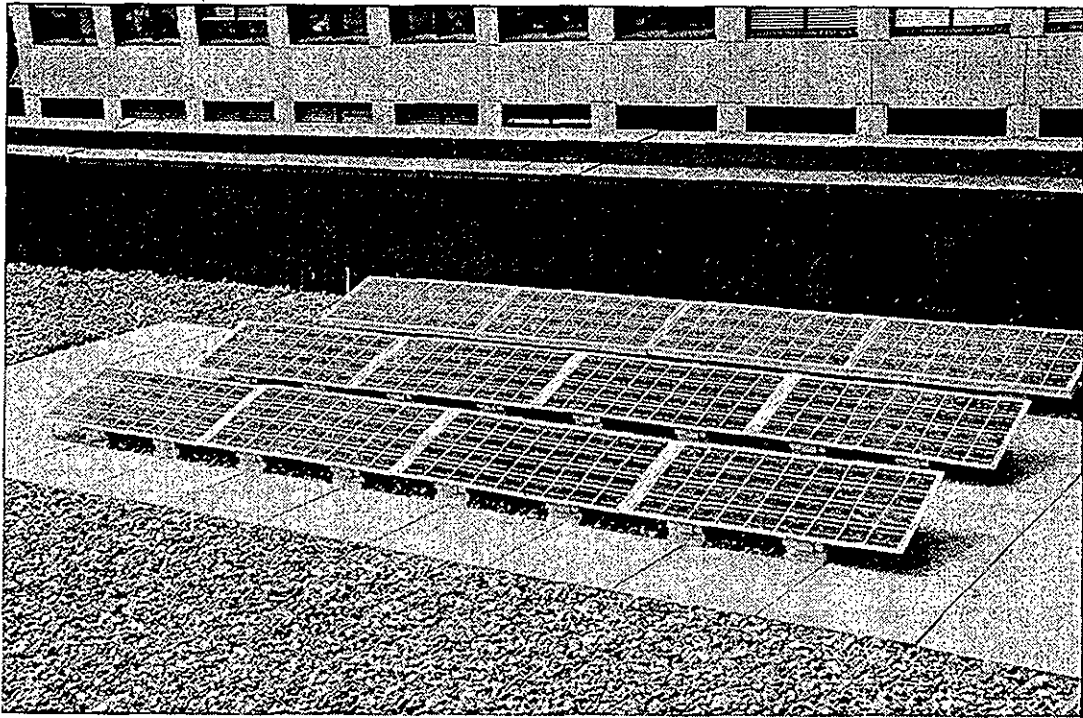


Figure 23 : Le système Sofrel

3.2.7 Sofrel 98 ou Pégase

Vu le succès du système Sofrel "nu", la direction choisie dans cette variante a été validée, à savoir :

- socles en béton simples et bon marché
- crochets en acier inox comme supports intermédiaires

Toutefois, avec l'arrivée de nouveaux types de modules offrant des puissances de 120 W, le problème du lestage de ces éléments plus grands, ainsi que de leur fixation sur les socles SOFREL, s'est posé.

D'autre part l'angle de 20° des Sofrel originaux, choisi en fonction de l'application Suglio (Ti), les rendait moins bien adaptés aux conditions des latitudes plus élevées.

Un nouveau socle (fig. 24) a donc été développé, basé sur la "technologie" Sofrel, mais présentant les caractéristiques suivantes :

- socle un peu plus lourd et plus long, incliné à 27.5°
- crochets clipsés, solidarissant les socles de deux modules adjacents, et réalisant la chaîne de mise à terre.

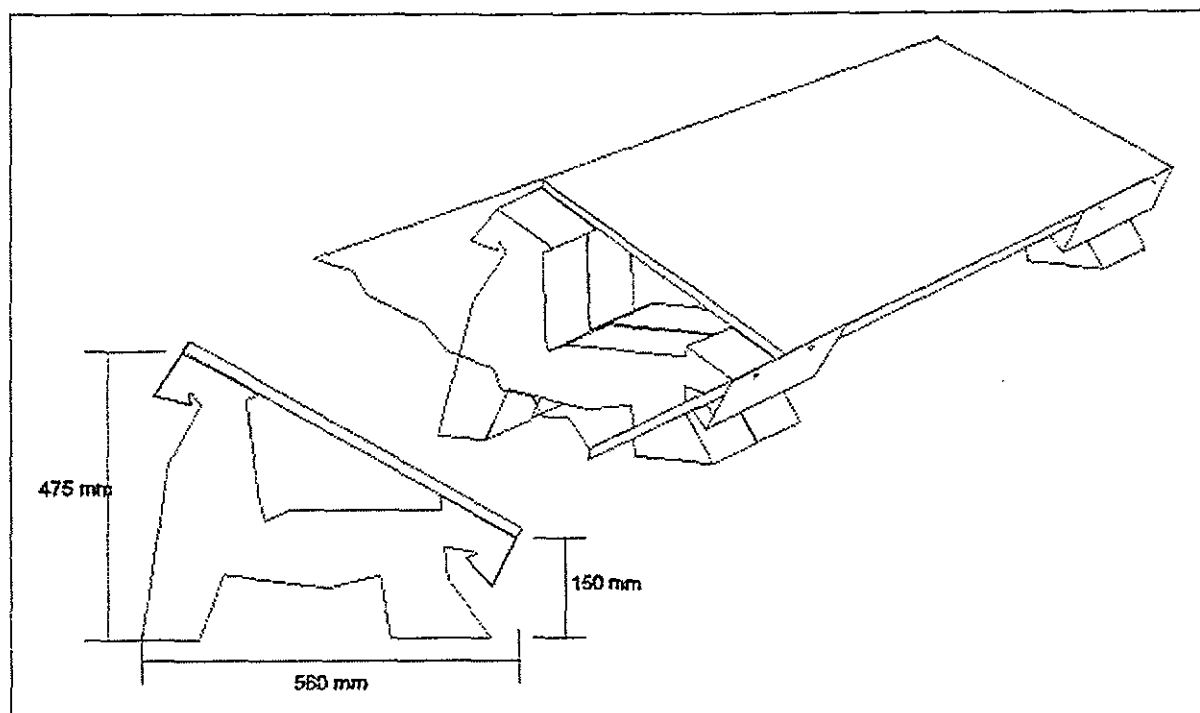


Figure 24 : Coupe et écorché, système Sofrel 98 "Pégase"

Ce nouveau système permet de monter les panneaux 120 W sur 2 socles de 35 kg, la solidarité entre modules adjacents autorisant une réduction du coefficient déterminant la résistance au vent (effet de chaîne).

Par ailleurs, les modules à cadre aluminium sont fixés aux clips à l'aide de vis rapides auto-taraudeuses, et ce mode de fixation permet une mise à terre de tous les cadres extrêmement simple (fig. 25).

Les lamifiés quant à eux peuvent être collés sur des clips similaires à ceux prévus pour les modules à cadre, avec un doigt de retenue pour les maintenir en place pendant le séchage du silicone. (fig. 26)

Enfin, un décrochement spécial dans le socle en béton permet le passage des boîtes de jonction ainsi que la fixation d'un canal pour le passage des câbles, maintenu hors eau (env. 20 cm de hauteur, cf. image ...).

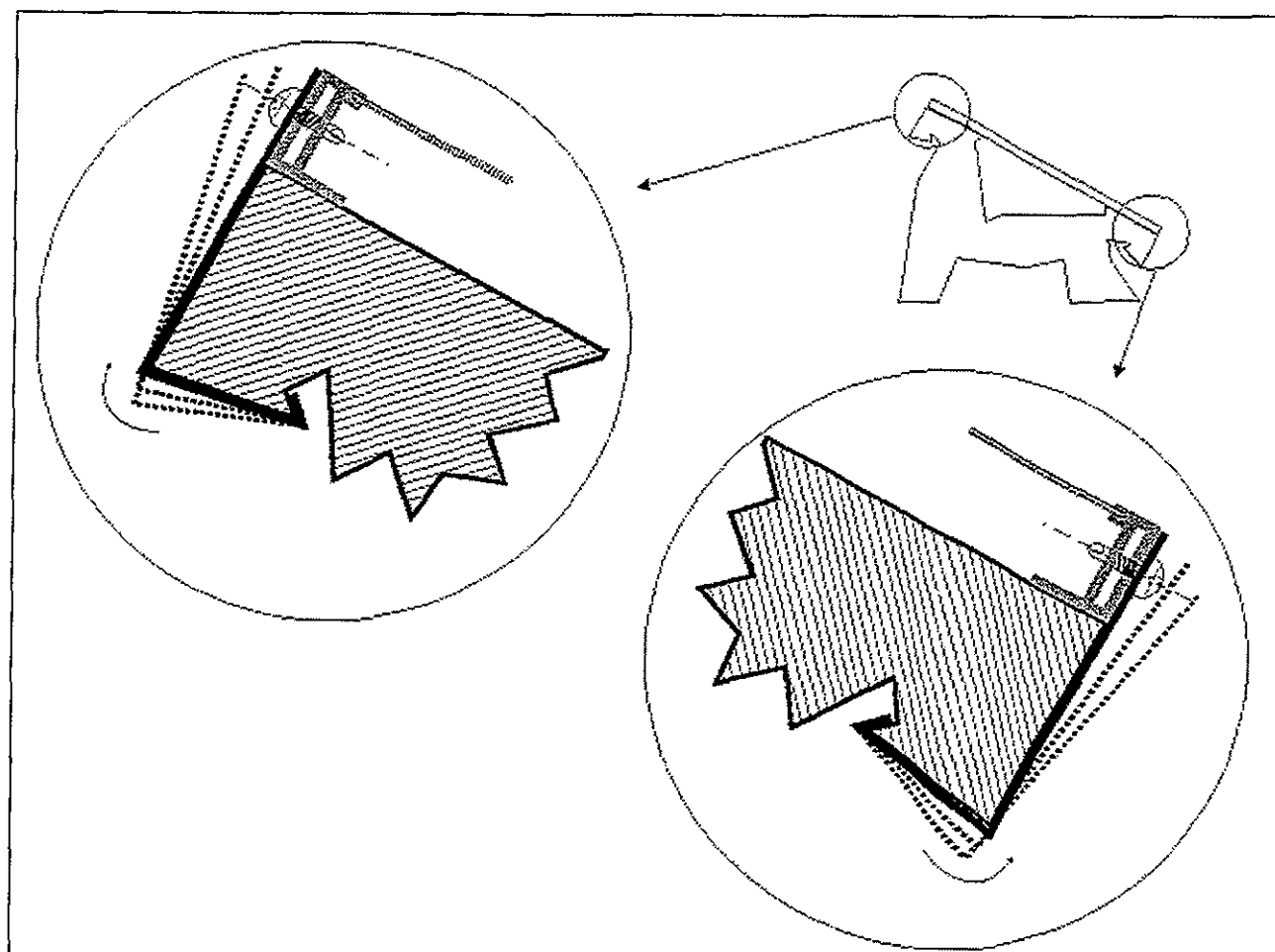


Figure 25 : Principe de fixation des crochets Sofrel 98 pour éléments à cadre

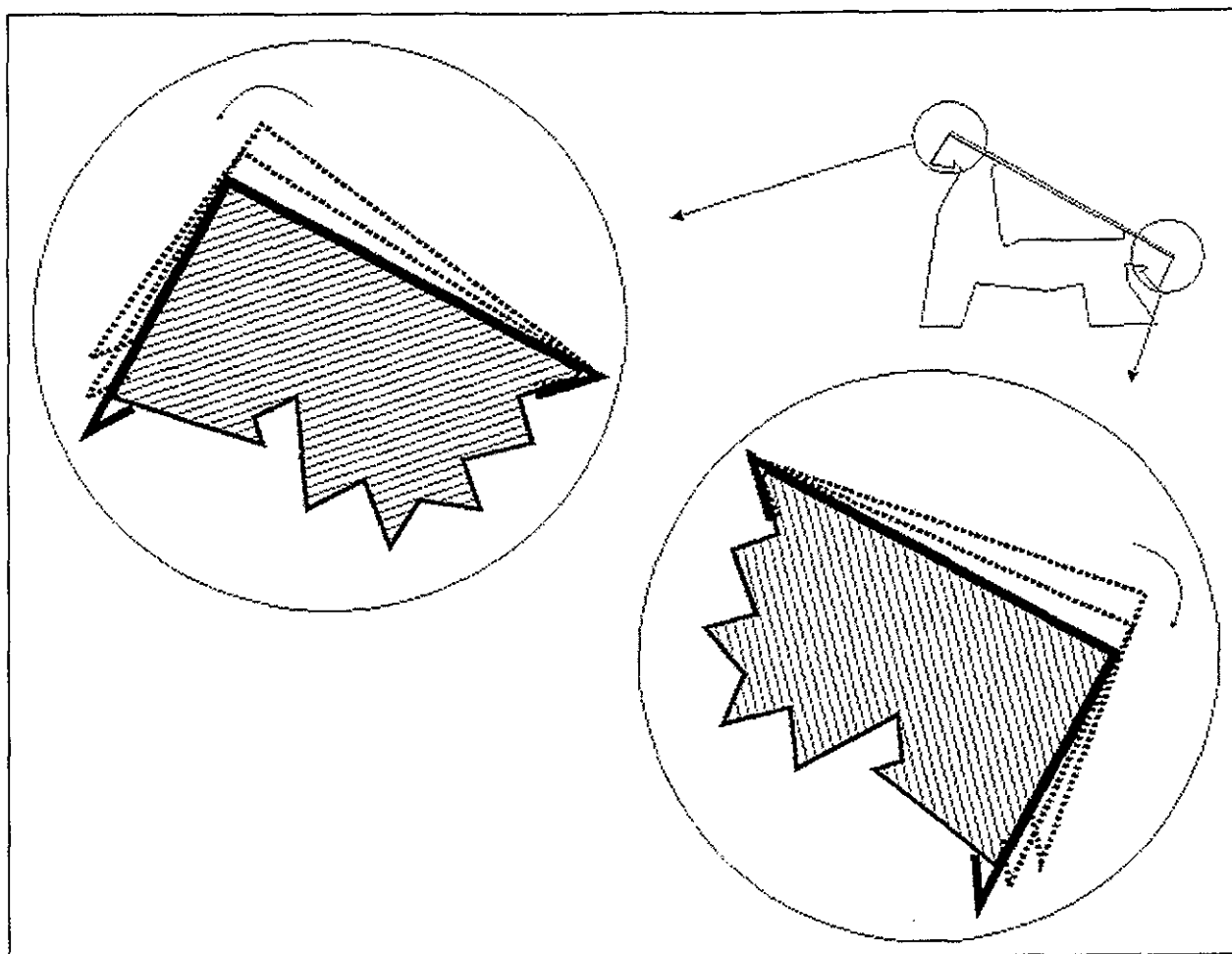


Figure 26 : Crochets pour collage des lamifiés

3.3 Conclusions

La variante globale "béton" s'est révélée être une très bonne piste, puisque c'est celle qui a permis de réaliser les systèmes à plus bas coût global, qui était l'un des buts fixés. Le fait que plusieurs centaines de kW aient été installés à l'aide de ce concept sur 2-3 ans indique aussi que la démarche était réaliste.

Du point de vue esthétique, si les solutions finalement retenues sont moins satisfaisantes que les précédentes variantes (DMX, Wattwil), elles en conservent les avantages principaux qui sont la modularité et le "profil bas".

Enfin la modularité trouve encore un argument en sa faveur lorsqu'on considère l'entretien du toit plat (env. 15 ans de périodicité), qui nécessite en général le démontage de l'installation. Il est en effet beaucoup plus simple et rapide de déplacer des éléments individuels que de démonter les structures sur lesquelles reposent les modules dans le cas du montage classique.

Il reste toutefois un point sur lequel la solution "béton" ne peut pas se battre, qui est celui de la charge ajoutée à la toiture. En effet, si la plupart des toits plats peuvent accepter une surcharge de l'ordre de 100 kg/m^2 ce n'est pas le cas de tous les toits. Dans ce cas, une autre solution doit être envisagée.

4. Développement de nouveaux systèmes : systèmes fibro-ciment

La deuxième famille de systèmes développée dans le cadre de cette étude s'appuie sur l'idée maîtresse d'utiliser le lest déjà présent sur le toit pour maintenir les panneaux. Sur la majeure partie des toits plats en Suisse, la couche d'étanchéité est protégée et lestée par une couche de gravier. L'utilisation du gravier permet d'éviter l'emploi de socles de béton ou autres éléments pesants qui surchargent la toiture. Le choix du matériau pour la réalisation du support sous forme de container supportant le panneau et contenant le gravier s'est porté sur la fibre ciment de type Eternit et ce pour plusieurs raisons :

- La fibre ciment Eternit est un élément durable et est utilisé depuis longtemps dans la construction.
- Ce matériau permet la réalisation d'éléments de formes et de tailles différentes.
- Le produit Eternit est présent dans toute l'Europe. De ce fait, la réalisation d'éléments standard, applicables en différents lieux est facilitée.

L'utilisation de ce type de matériaux, comme nous l'ont expliqué les collaborateurs de la maison Eternit, est soumise à certaines contraintes mécaniques et économiques :

- La taille d'une natte de fibre ciment est donnée par la chaîne de production et ne peut être supérieure à 2650 x 1250 mm².
- Le rayon de courbure intérieur minimal supporté par la natte est de 3 fois son épaisseur qui peut varier de 8 à 12 mm.
- Les pièces comme celles que nous projetons de réaliser sont faites à la main, à partir d'un moule en bois. De ce fait, le coût de l'élément est intimement dépendant de la complexité de sa forme.

4.1 Le système SolBac

Fort de ces éléments, un premier prototype a été réalisé. Il s'agit d'un bac, de forme trapézoïdale, pourvu d'un manchon pour emboîter les éléments les uns dans les autres et comportant des ouvertures sur sa face dorsale pour y clipper les crochets inox (fig. 27). l'accent a été porté sur la conservation des avantages procurés par le système Sofrel, à savoir :

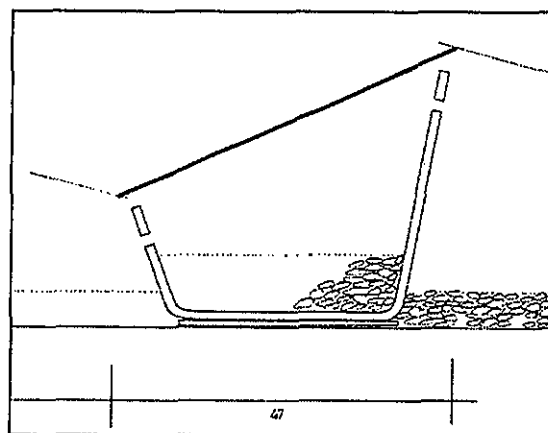


Figure 27 : Coupe du premier prototype

- Utilisation de crochet en acier inox permettant un montage rapide et sûr, sans recours à des vis ou autres systèmes de serrage.

- Modularité du système permettant une mise en place aisée des panneaux sur la toiture.
- Démontage et entreposage des supports facilités pour d'éventuelles rénovations de toiture.

Les tests réalisés sur ce prototype ont confirmé nos attentes concernant la fibre ciment, à savoir :

- ✓ Bonne résistance à la traction.
- ✓ Faible poids et encombrement limité (les éléments sont encastrables).
- ✓ Souplesse du matériaux.
- ✓ Alignement facilité des bacs grâce aux manchons.

Cependant, plusieurs caractéristiques étaient encore perfectibles :

- ✓ Le manchon, bien que facilitant l'alignement des bacs, n'était pas suffisant pour rendre les éléments solidaires les uns aux autres.
- ✓ L'esthétique générale du système ne répondait pas à nos attentes.
- ✓ Le bac tel que réalisé était encore trop cher, ceci dû principalement au trou réalisé sur les côtés du bac.

Il est important de souligner que le facteur économique a été un moteur important tout au long de cette étude. Nous avons pour but, outre de développer un système élégant, innovateur, aisé de montage, de réaliser un système d'intégration viable d'un point de vue économique et non un prototype à ranger dans les tiroirs.

Après discussion avec les collaborateurs de la maison Eternit, nous nous sommes rendus compte que les ouvertures réalisées dans l'élément étaient source de deux difficultés majeures, technique et économique. D'une part ces orifices fragilisent la natte de fibre ciment en affaiblissant le point où la traction s'applique et d'autre part, la réalisation de ces percements demandent un surplus de travail considérable lors de la fabrication de l'élément moulé. La forme du bac a ainsi évolué pour comporter finalement deux collerettes le long des deux côtés de l'élément (fig. 30) afin de pouvoir y fixer un crochet. La forme du bac a été de même retravaillée afin que le volume du bac puisse accueillir un lest procurant au système un poids total de 100 kg/m².

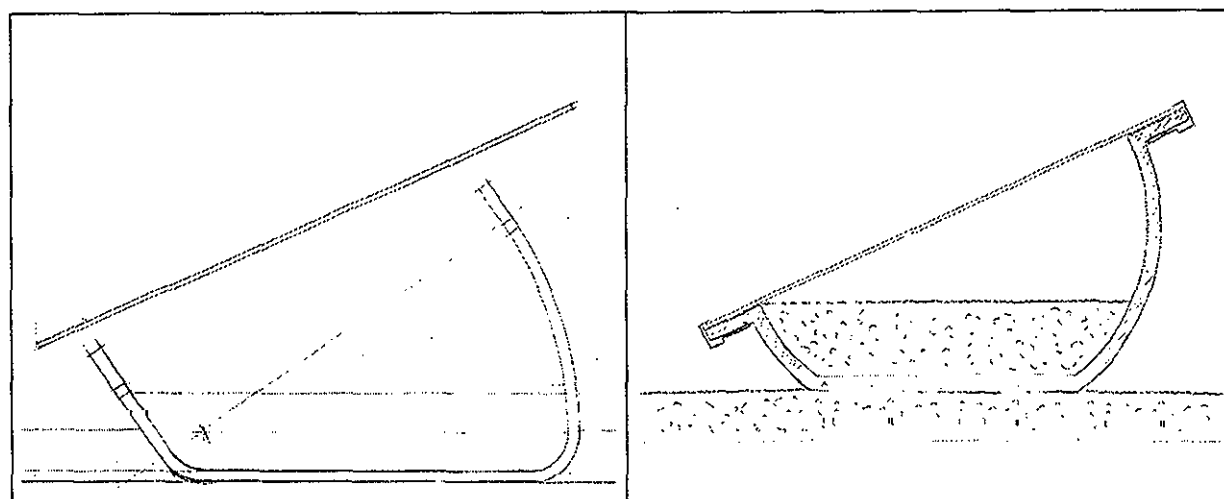


Figure 28 : Evolution des bacs de fibre ciment

Le coût de chaque détail apporté sur l'élément Eternit a orienté le développement du système vers le déplacement de la complexité sur l'élément le moins onéreux à savoir les crochets métalliques.

Le crochet pour les modules lamifiés s'est inspiré du crochet développé pour le socle en béton Sofrel. Réalisé en acier et protégé par une résine synthétique, ce crochet fixe le panneau à l'élément Eternit par une simple rotation. Cette position est finalement assurée par une agrafe.

Pour la fixation des modules pourvus de cadre, la souplesse de l'élément Eternit ainsi que la rigidité des cadres aluminium des modules ont été utilisées. Le crochet taillé et plié dans une tôle d'acier inoxydable est fixé dans la collerette de l'élément Eternit et tient le panneau par son cadre. Ce système de fixation permet ainsi un montage rapide de tous panneaux photo-voltaïques.

Les 3 pages suivantes montrent en détail la procédure complète de montage avec des Solbac.

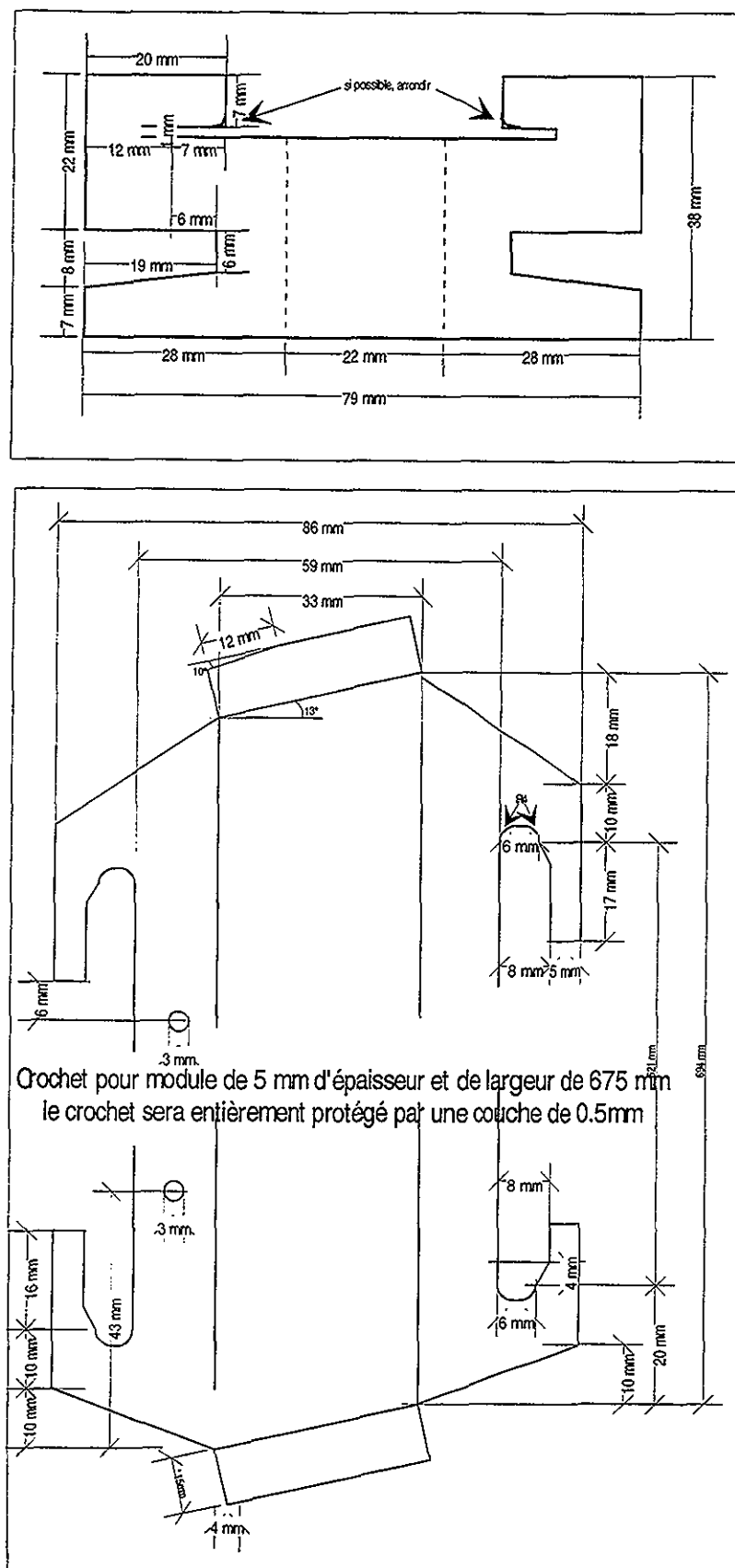
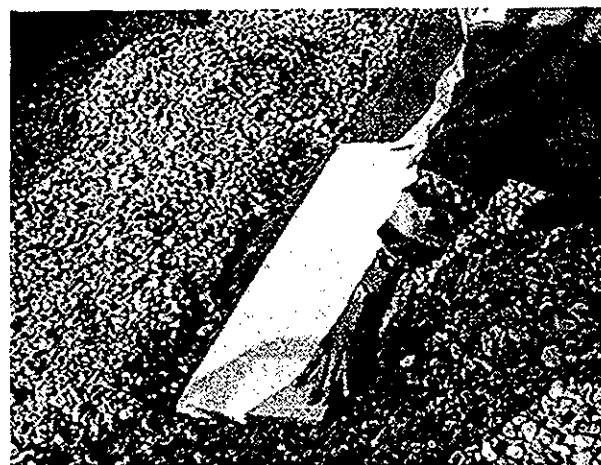


Figure 29 : Crochets pour cadre et pour lamifié

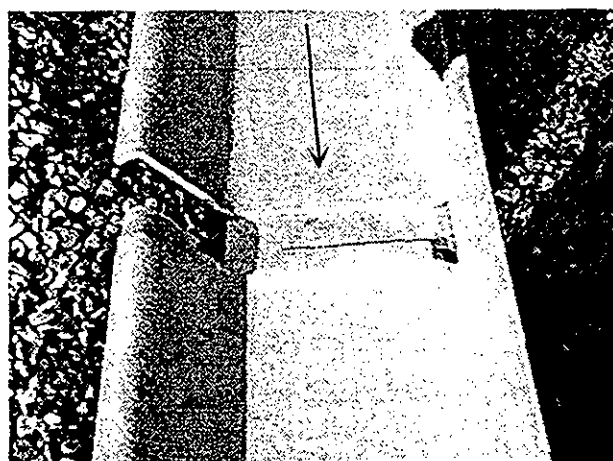
Montage - A : L'élément SolBac



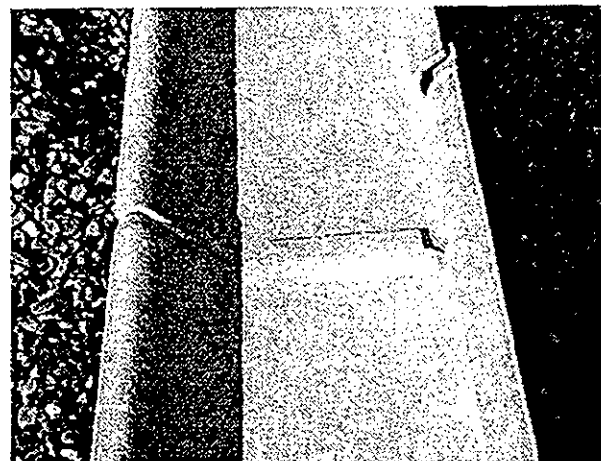
a) Déplacer le gravier



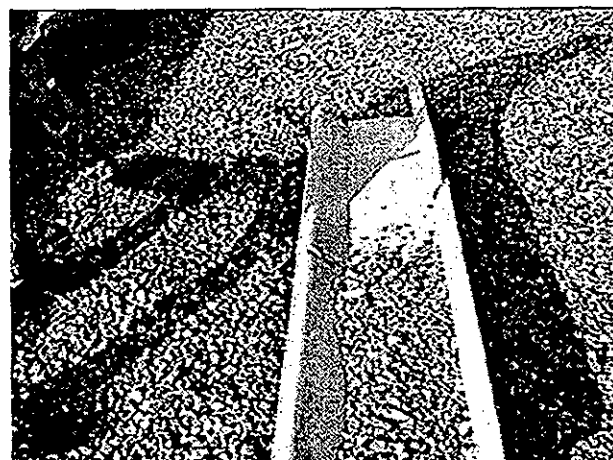
b) Renforcer éventuellement l'étanchéité(Rootmate)



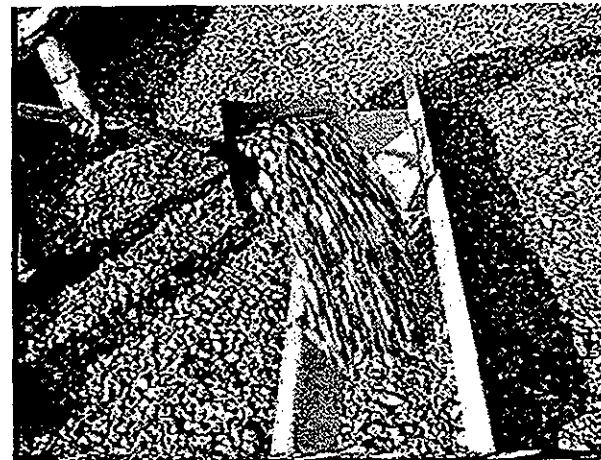
c) Placer les SolBac et les encaster



d) Les éléments sont solidairement tenus



e) Remplir les SolBac de gravier

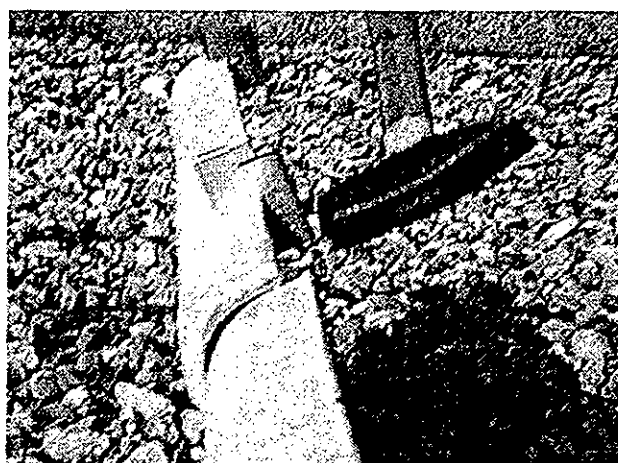


f)

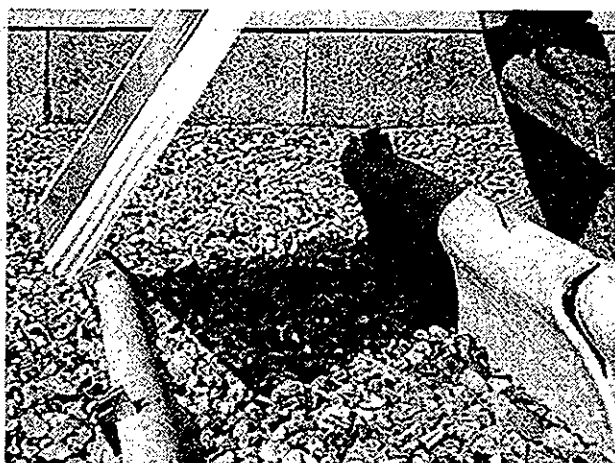
Montage – B1 : Modules à cadre



g) Présenter les crochets...



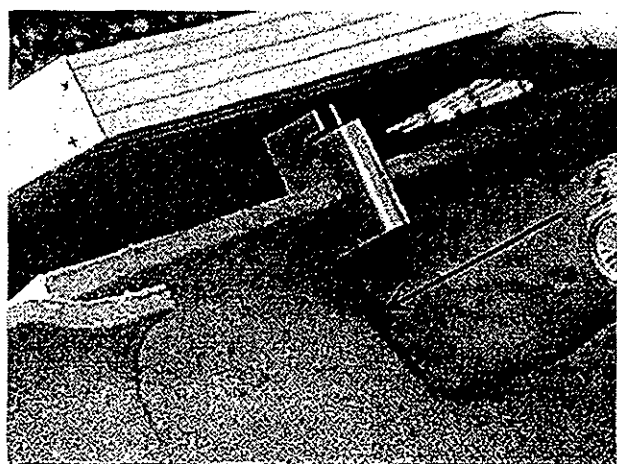
h) ...et les enficher à l'aide d'un marteau



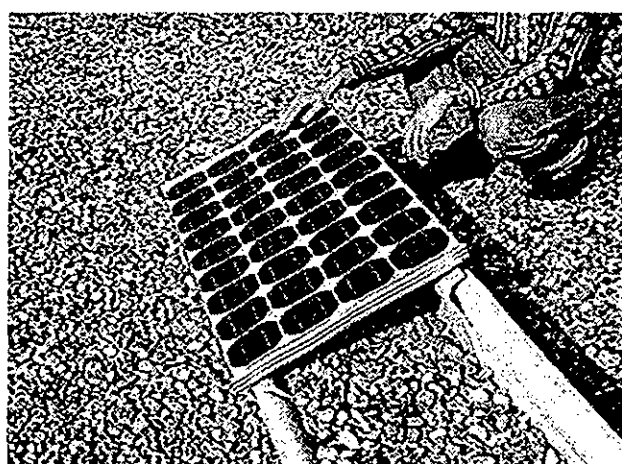
i) Déposer le module du bas ...



j) ...vers le haut

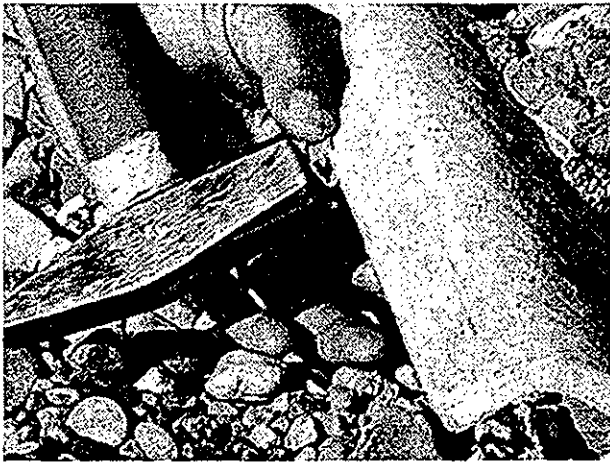


k) Placer le cadre dans le crochet par pression sur le SolBac



l) Le module est ainsi solidement fixé.

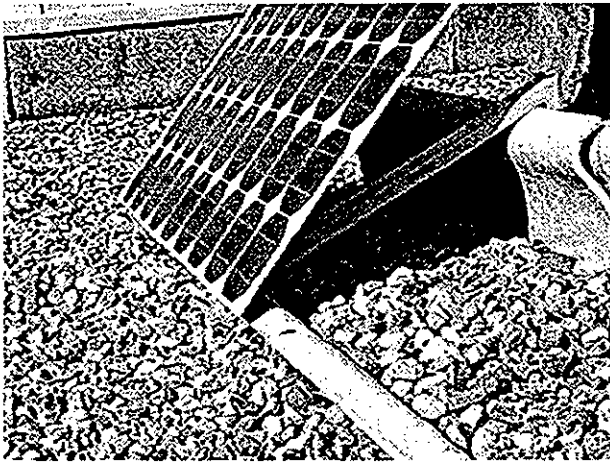
Montage - B2 : Lamifiés



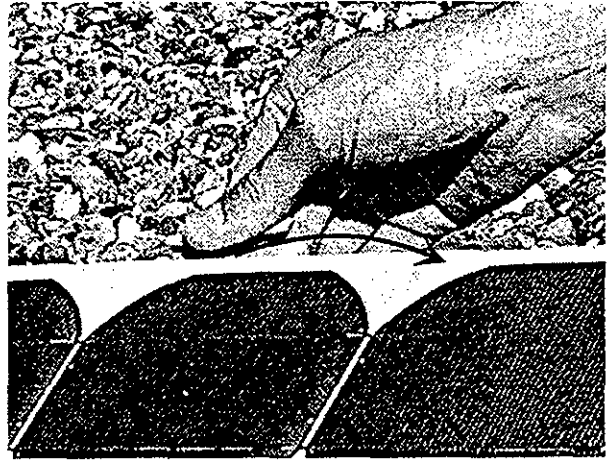
g) Fixer les agrafes du bas.



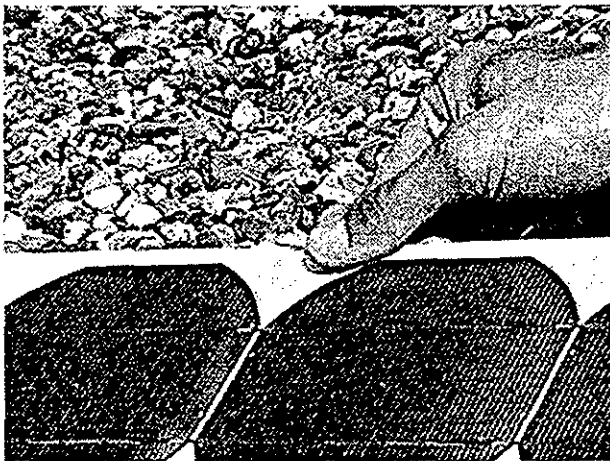
h). Placer les crochets en contraignant le SolBac.



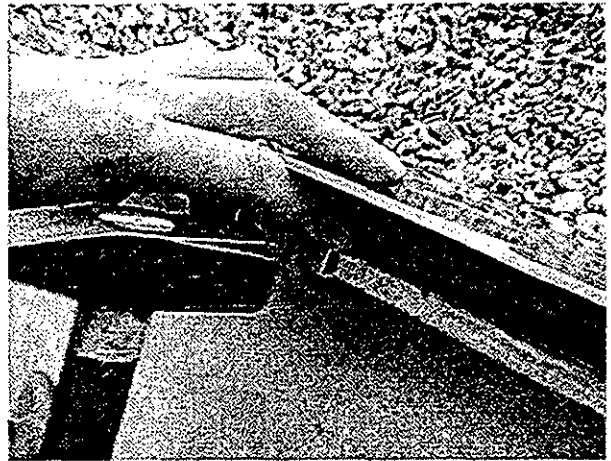
i) Déposer le lamifié sur les crochets



j) Le fixer par rotation des crochets



k)



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

Le système ainsi développé a été réalisé en trois formats différents permettant une grande modularité dans le choix des modules photovoltaïques. A chaque famille de panneaux (50, 80 et 100 Watts) correspond un type de bac.

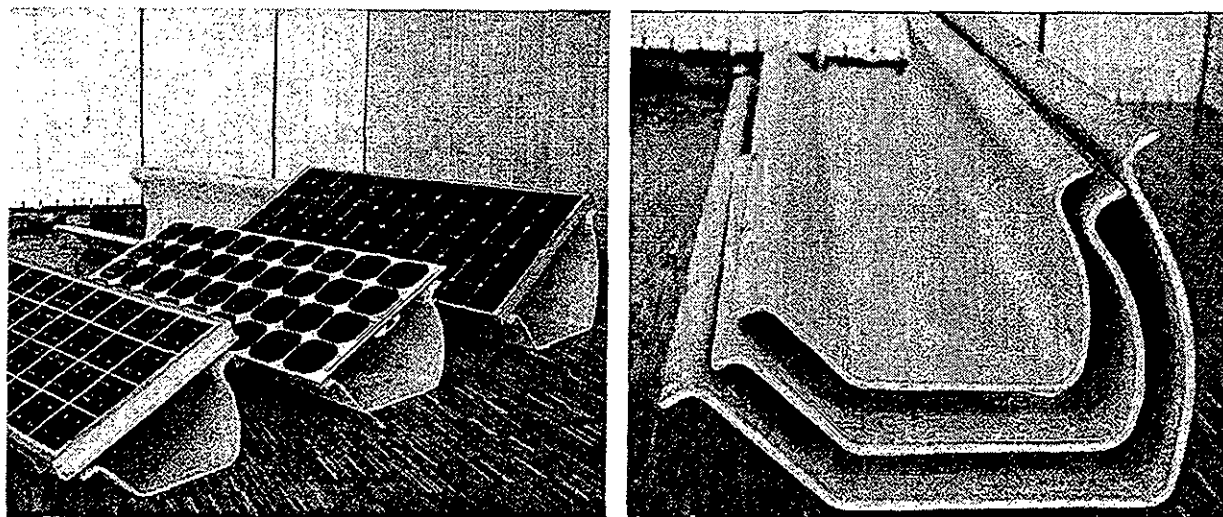


Figure 30 : La famille Solbac

L'utilisation de la natte de fibre ciment a été optimisée afin de permettre la réalisation de bac de différentes longueurs permettant le support de un, voire deux modules par bac.

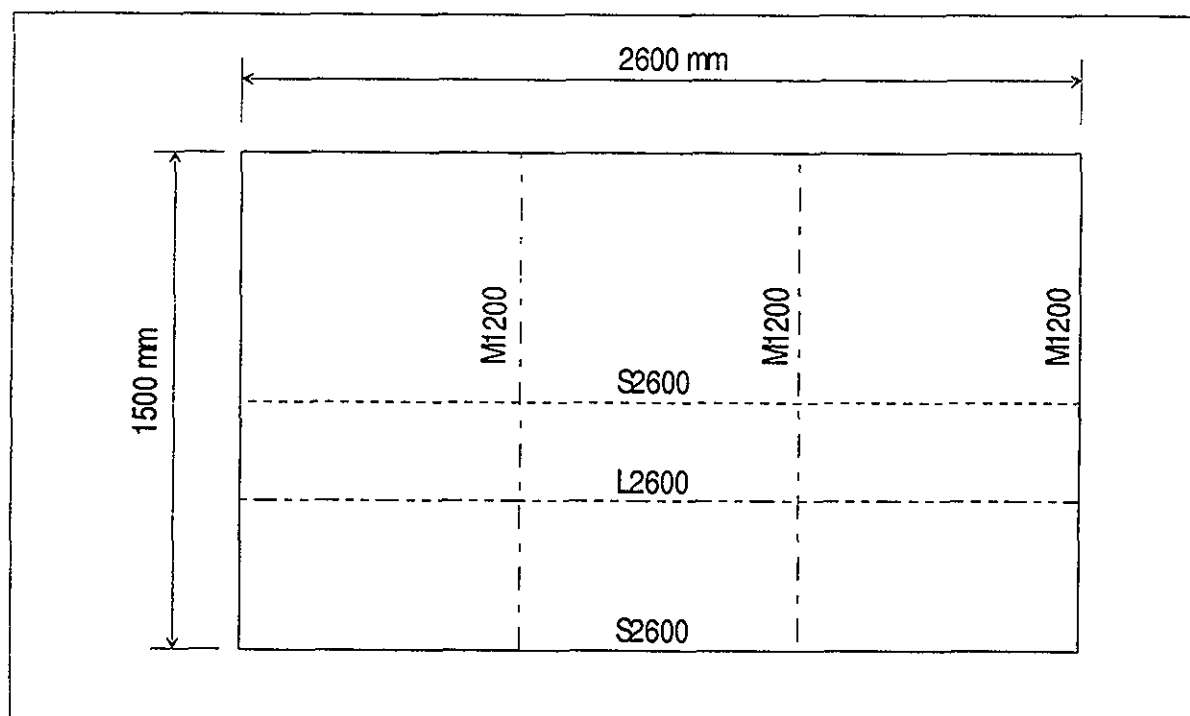


Figure 31 : Disposition des éléments sur une natte de fibre ciment

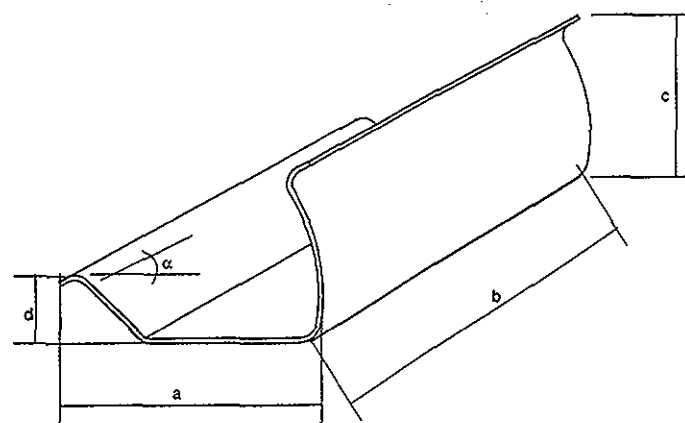
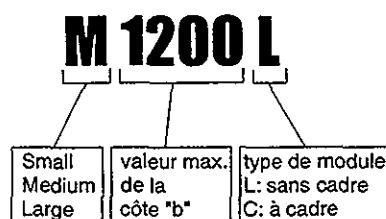


Figure 32 : Typologie des différents éléments

	a	b max.	d	Poids	Réser- voire	Angle α	Largeur des panneaux	
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[l]	[°]	min.	max.
S 2000 L	400	2000	90	20.8	43	25	440	480
S 2000 C	400	2000	90	20.8	43	25	440	480
S 2500 L	400	2500	90	26	54	25	440	480
S 2500 C	400	2500	90	26	54	25	440	480
M 1200 L	480	1200	105	17	35	25	500	540
M 1200 C	480	1200	105	17	35	25	500	540
L 1500 L	600	1500	150	24.5	54	30	620	680
L 1500 C	600	1500	150	24.5	54	30	620	680
L 2250 L	600	2250	150	34.5	88	30	620	680
L 2250 C	600	2250	150	34.5	88	30	620	680
L 2600 L	600	2600	150	42.5	110	30	620	680
L 2600 C	600	2600	150	42.5	110	30	620	680

Figure 33 : Caractéristiques mécaniques des systèmes

Le système tel que décrit ci-dessus a fait l'objet de tests grandeur nature sur deux installations pilotes, la première à Martigny et la seconde à Lausanne. L'installation de Martigny est composée de panneaux Siemens M75 lamifiés pour une puissance de 3.3 kW alors que celle de Lausanne est formée de deux champs de 5 kWp composés de modules lamifiés et à cadre.

L'observation attentive du comportement des éléments de fibre ciment sur ces deux installations a permis de relever une faiblesse du système. Les éléments de fibre ciment sont réalisés à partir d'une natte en fibre qui est moulé dans une forme en bois. Les éléments ainsi moulés sont ensuite séchés dans une étuve avant d'être acheminés sur le chantier. La phase du séchage est très importante étant donné qu'elle détermine la rigidité de l'élément. Dans le cadre de notre système, il s'est avéré que même lors d'un séchage prolongé, une humidité résiduelle subsistait dans la matière si bien que lors de l'exposition au soleil, le bac avait tendance à se déformer, affaiblissant la sécurité du système.

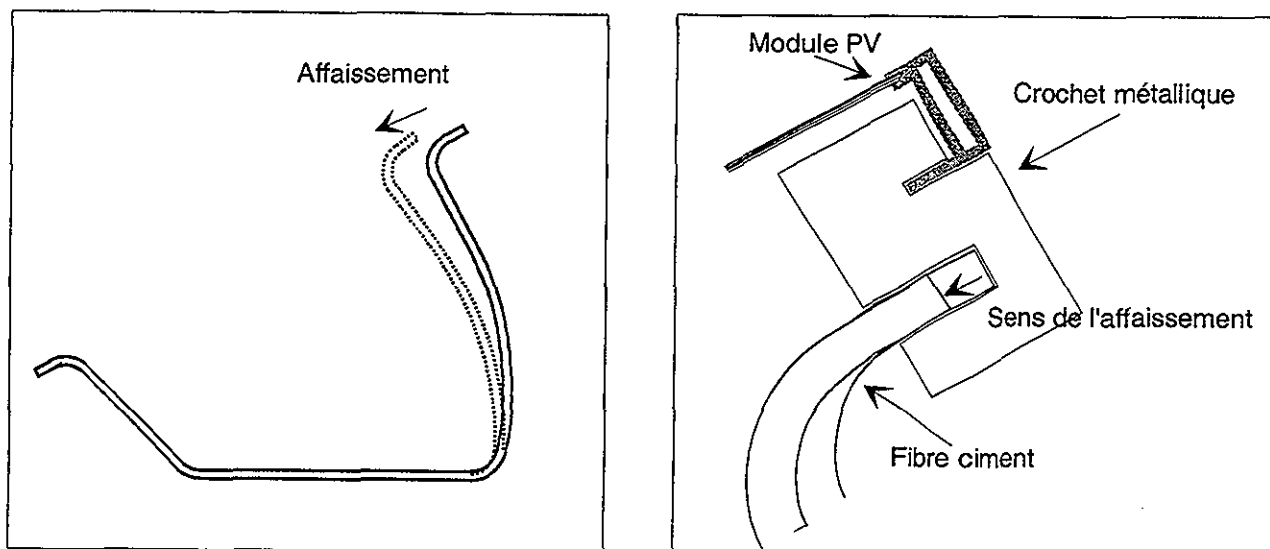


Figure 34 : Sens de l'affaiblissement du bac Eternit et son influence sur le système de fixation

Les systèmes existants furent renforcés par la pose d'une tige métallique à travers le bac (fig. 35) alors qu'un nouveau système de fixation était développé.

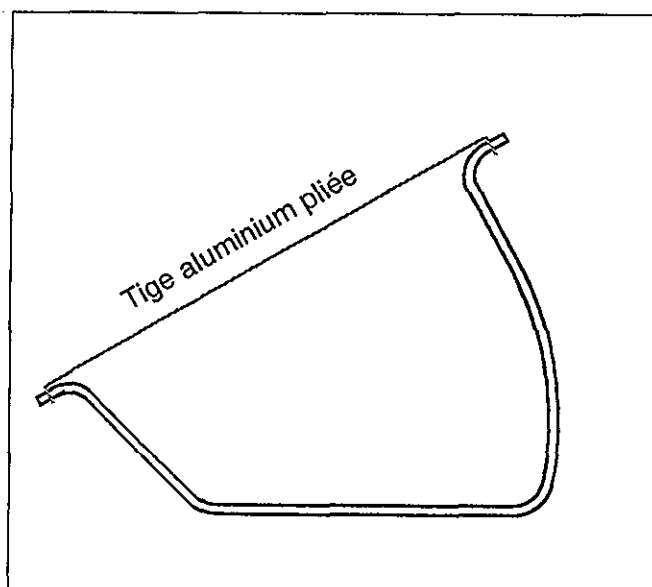


Figure 35 : Renforcement du système par la pose d'une tige transversale

4.2 Le nouveau système SolBac

L'expérience menée sur les installations pilotes ainsi que les discussions avec le personnel technique de la maison Eternit nous ont conduit à la conclusion qu'une fixation mécanique ferme était indispensable avec l'utilisation d'un bac de fibre ciment. Le nouveau système fut ainsi développé en tenant compte des contraintes suivantes :

- renforcer la rigidité du bac de fibre ciment,
- assurer une fixation mécanique forte,
- conserver la simplicité et rapidité de montage,
- ne pas surenchérir le système.

Ces contraintes furent respectées en réalisant des modifications sur le bac autant que dans la forme des crochets métalliques. La forme du bac fut légèrement modifiée par l'ajouts de renforts dorsaux dans la forme. L'augmentation de la section du bac a permis de rigidifier sensiblement ce dernier sans en augmenter pour autant la complexité. Le système de fixation quant à lui a dû être repensé depuis le début. Les caractéristiques de la fibre ciment nous ont contraint à visser un crochet métallique sur le bac, le panneau photovoltaïque étant quant à lui ensuite vissé sur le crochet.

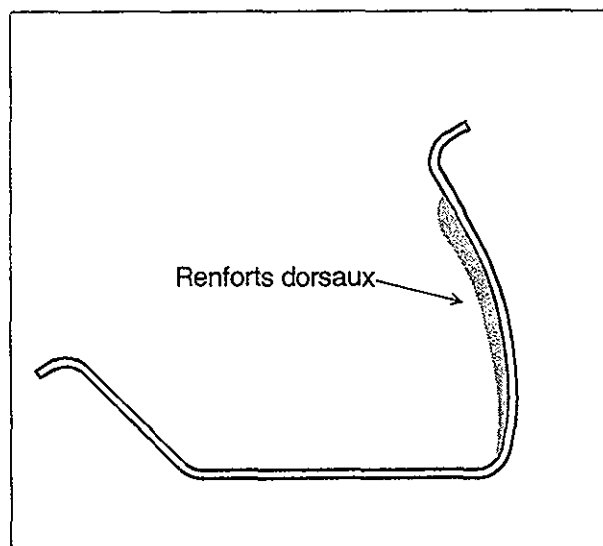
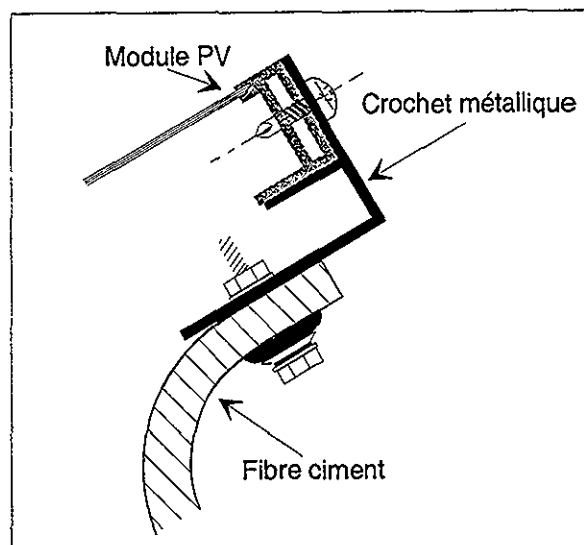


Figure 36 : Rigidification de la forme



Nouveau principe de fixation

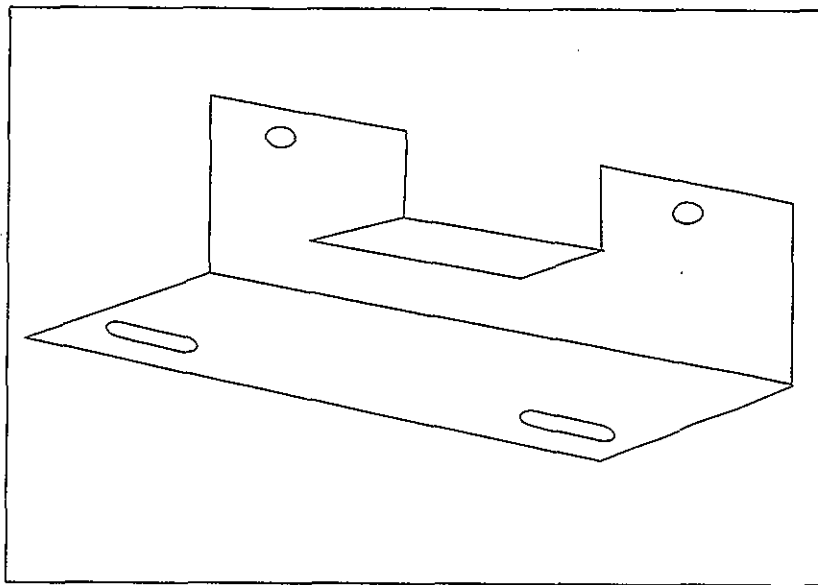


Figure 37 : Le nouveau crochet de fixation

Ces améliorations ont permis de sécuriser le système tout en conservant les avantages initiaux, à savoir :

- rapidité de montage,
- faible encombrement sur la toiture,
- élégance et esthétique plaisante,
- modularité tant du point de vue de la disposition sur la toiture que dans le choix des modules,
- solidarité entre les modules assurant une meilleure tenue du système aux charges du vent.

Ce système a depuis été installé à de nombreuses reprises avec succès en Suisse et en Allemagne.

5. Développement de nouveaux systèmes : systèmes pour toitures vertes

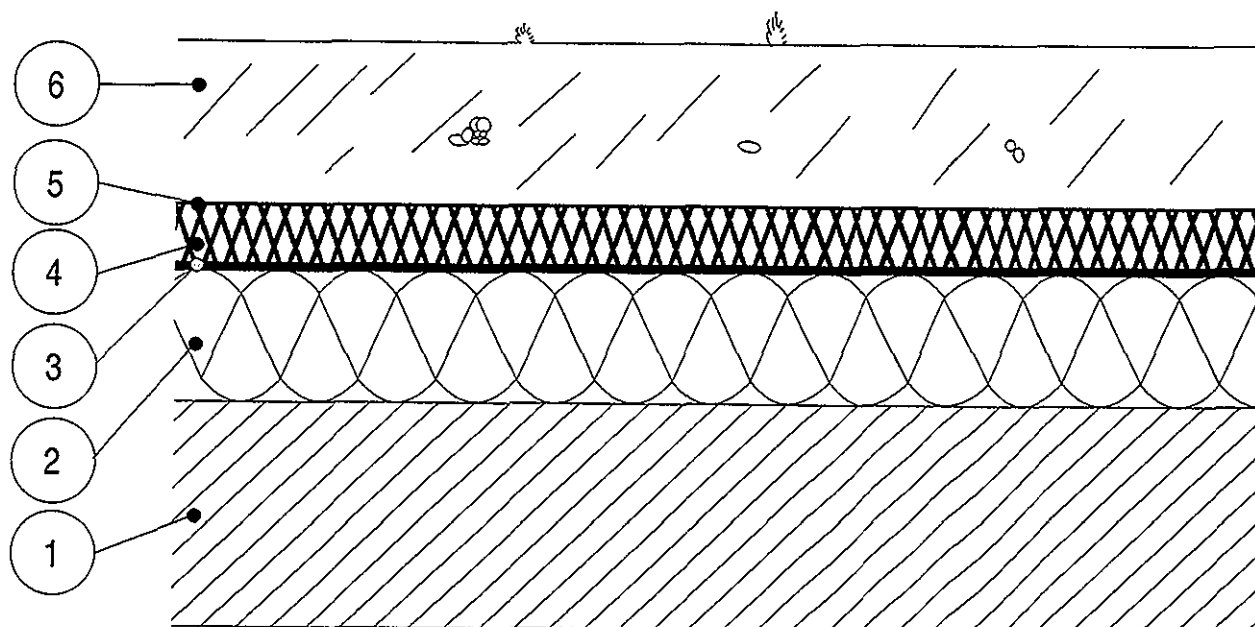
La suite du développement de systèmes de fixation de modules photovoltaïques intégrés aux toitures plates s'est naturellement inspirée de l'évolution réalisée dans les techniques d'étanchéité et d'isolation de ces toitures. Dans ce domaine, un nouveau type de toiture fait de plus en plus son apparition dans plusieurs localités de Suisse et d'Europe, il s'agit des toitures végétalisées. Ce type de couverture présente plusieurs avantages notoires dont :

- ✓ meilleure longévité de l'étanchéité (résistance aux chocs thermiques et mécaniques, protection contre les rayons UV, contre la grêle),
- ✓ protection thermique accrue tant en hiver qu'en été (plus grande inertie favorisant le déphasage de l'onde de chaleur,
- ✓ grâce à la masse de la couche végétale, l'isolation acoustique intérieure est améliorée,
- ✓ une toiture verte permet de préserver certains écosystèmes ou de reconstituer un biotope disparu,
- ✓ en milieu urbain la végétation permet de fixer les poussières et, en été, de créer des microclimats plus humides atténuant les fortes chaleurs,
- ✓ la présence de la couche végétale augmente le délai d'écoulement des eaux de pluie et évite ainsi des possibles surcharges des stations d'épuration.

La structure des toits verts se compose dans la majeure partie des cas de plusieurs couches, déposées sur la couche d'étanchéité (fig. 38) :

- ✓ Une couche anti-racine qui protège la couche étanche contre les attaques possibles des racines.
- ✓ Une couche d'accumulation et de drainage qui sert de réservoir d'eau et de drainage. Elle peut être formée de produit à base de flocons de mousse synthétique ou d'une épaisseur de gravier.
- ✓ Une natte filtrante séparant la couche d'accumulation et la couche végétale.
- ✓ Une couche végétale dont la hauteur varie en fonction du type de végétation désirée.

Il existe deux types de toitures végétalisées : la végétalisation intensive de type jardin suspendu et la végétalisation extensive. Pour des raisons évidentes d'ombrage, nous nous sommes intéressés à la végétalisation extensive qui présente des formes de végétation composée de plantes ayant une faible croissance (hauteur inférieure à 30 cm).



1. Sous-construction 2. Isolation 3. Couche d'étanchéité 4. Natte drainante
5. Anti-racines 6. Couche végétale

Figure 38 : Coupe d'une toiture verte

La réalisation d'un système d'intégration d'éléments photovoltaïques sur une toiture verte a nécessité de prendre en compte les conditions liées à ce milieu et de développer une nouvelle approche respectueuse de la structure du toit et en particulier de la couche végétale. Nous avons de ce fait porté l'accent sur un système capable de :

- ✓ permettre un entretien facile de la toiture verte,
- ✓ se situer hors de portée des ombrages causés par la végétation,
- ✓ permettre une fixation sûr et rapide,
- ✓ présenter un système élégant et discret,
- ✓ utilisation maximale de la surface au sol.

Compte tenu des contraintes que nous nous étions fixées, l'idée maîtresse de ce développement a été la réalisation de supports légers et élégants dont l'emprise au sol devait être minimale afin de laisser un maximum de surface à la couche végétale. Ont donc été rejetées d'emblée les solutions utilisant des blocs de bétons ou autre système de lestage encombrant.

Deux solutions ont été retenues : un système pour petite et moyenne installation et un système pour installations d'envergure. Les deux solutions s'appuient sur la même idée forte, à savoir l'encrage du système dans la couche végétale et l'utilisation de l'acier inox pour supporter les modules.

5.1 La solution SolGreen "petites installations"

La solution "petite installation" réside dans l'utilisation d'un tube carré en acier inoxydable coudé. Par l'utilisation de l'acier inox, on assure une bonne résistance et durabilité du système alors que son économie de matière permet la réalisation d'un support léger, élégant et économique qui offre une surface maximale à la végétation.

Outre sa forme, l'originalité du système réside dans le fait qu'il répartit les forces de résistance à l'arrachement dans la couche végétale de la toiture. En effet, le support est maintenu au sol par le poids des couches composant la toiture verte. La couche végétale dont les racines forment un réseau compact et dense offre une structure homogène qui solidarise les supports entre eux, offrant ainsi une meilleure résistance au vent.

Les deux extrémités fourchues du SolGreen sont placées directement sur l'étanchéité et sont ensuite recouvertes d'une plaque de plastique de 1 m² sur laquelle est déposé la couche végétale.

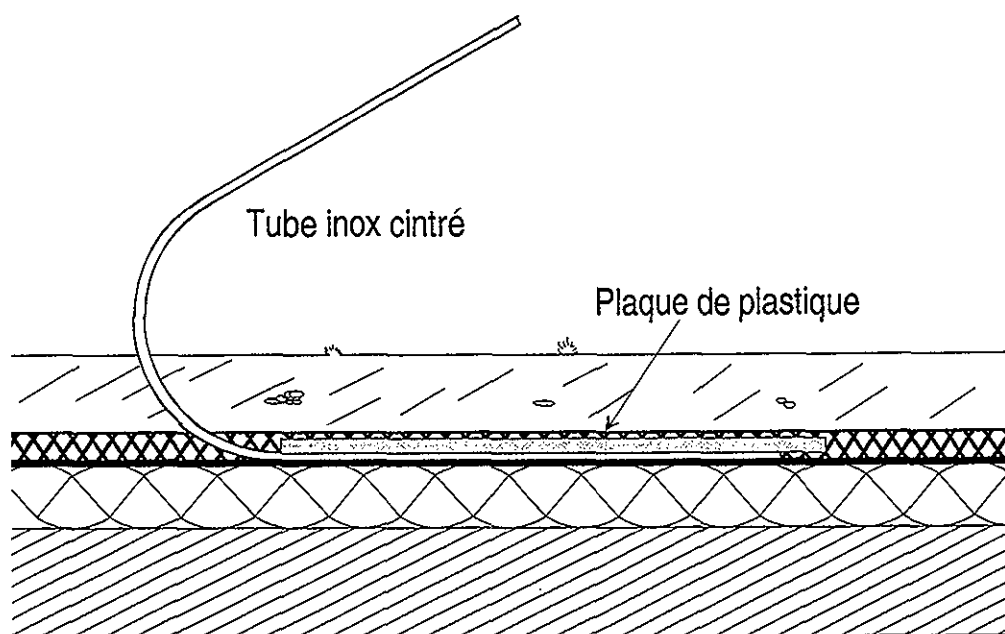


Figure 39 : Profil du système

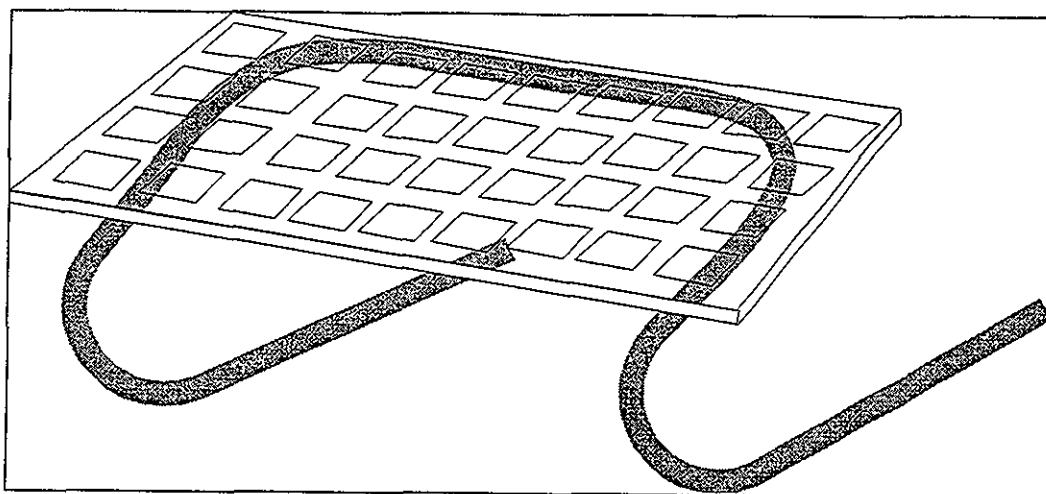


Figure 40 : Perspective du système

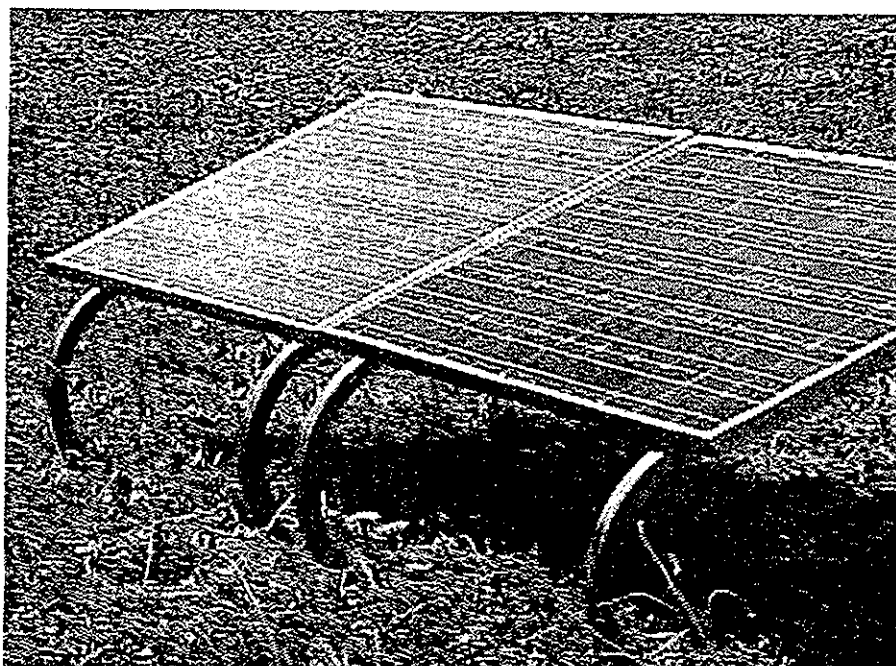


Figure 41 : Le système "petite installation"

La fixation du module photovoltaïque sur l'élément SolGreen est réalisée aisément et rapidement à l'aide de crochets en acier inoxydable qui viennent se clipper sur le tube carré. Sur le haut, le cadre du module est pincé sur le profil de fixation par rotation d'un crochet en acier inox. Le bas du module est retenu par un crochet en acier inox qui est fixé au tube par effet ressort. Ce mode de faire permet un montage extrêmement rapide en évitant le recours à des vis ou autres systèmes de serrages (figures 42 et 43).

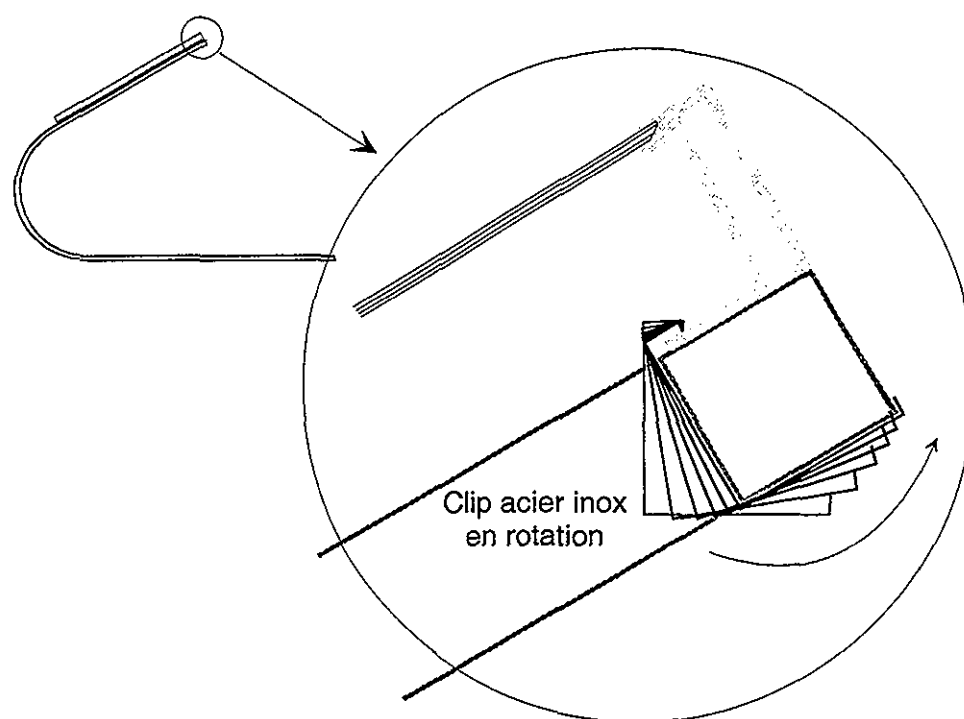


Figure 42 : Le clip supérieur

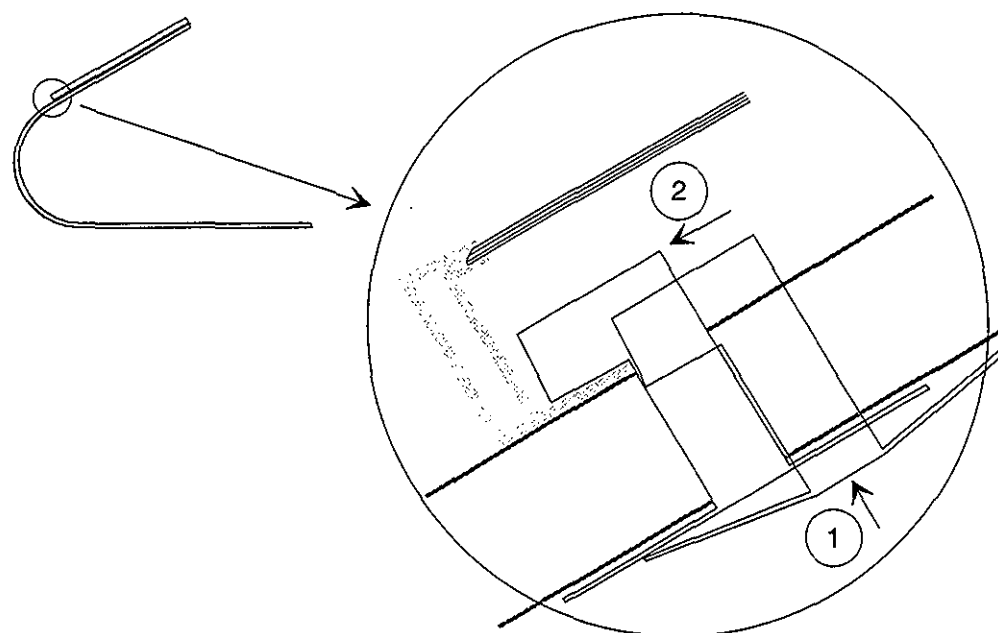


Figure 43 : Le clip inférieur et son mode de fixation en deux phases : pression et translation

5.2 Le système SolGreen "grandes installations"

Lors de simulations de réalisations de grandes installations, il nous est apparu que le système présenté ci-dessus ne satisfaisait pas aux conditions induites par des constructions à grande échelle, à savoir :

- grand travail pour l'alignement des profil,
- fort encombrement pour la dépose de la couche végétal,
- difficulté d'entretien de la toiture du fait des nombreux pieds,
- esthétique pas convaincante à grande échelle.

Ces constatations nous ont poussé alors à développer un nouveau système applicable aux grandes installations. Ce système se présente sous la forme d'un grand réseaux qui couvre la totalité de la toiture. Le réseau est formé de profils inox cintrés solidaires les uns des autres dont les pieds sont enterrés sous la couche végétale. A nouveau une plaque de plastique, placée entre le profil et la couche de terreau ancre le système au sol.

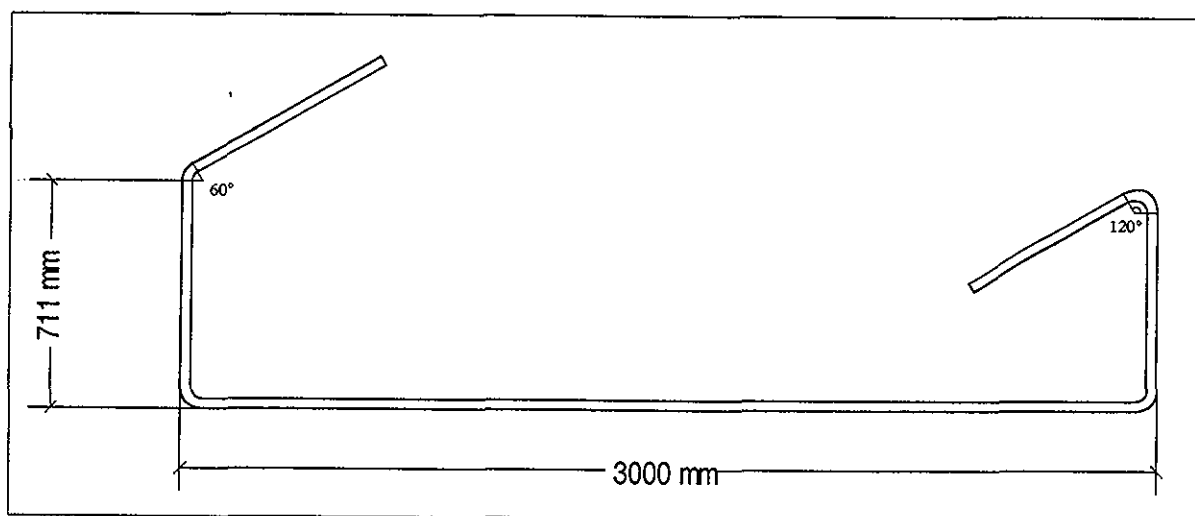


Figure 44 : Coupe du profil inox

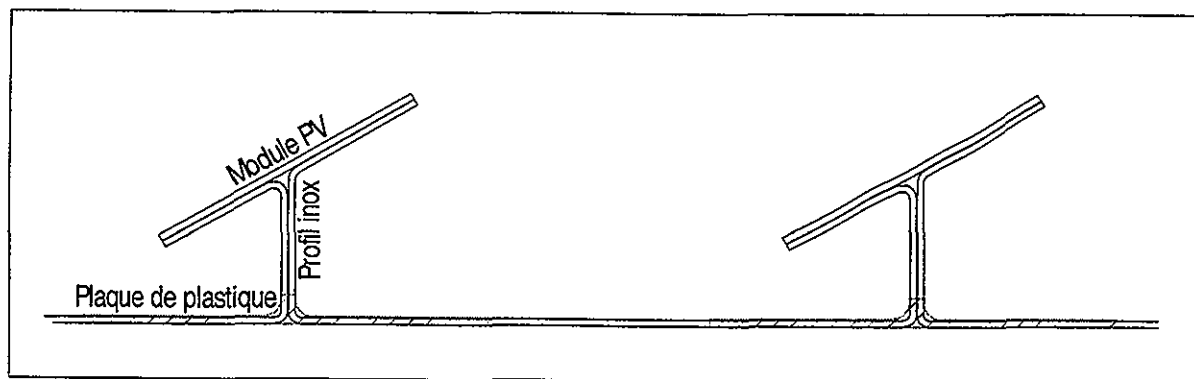


Figure 45 : Coupe du système

La trame du réseau formé par les profil est de 3m. sur 2m. Les modules photovoltaïques sont posés dans le sens de la hauteur si bien qu'entre deux lignes de profils (distantes de 2m), il y à de la place pour 3 modules de largeur 660mm(modules de la famille 100 -120Wp).

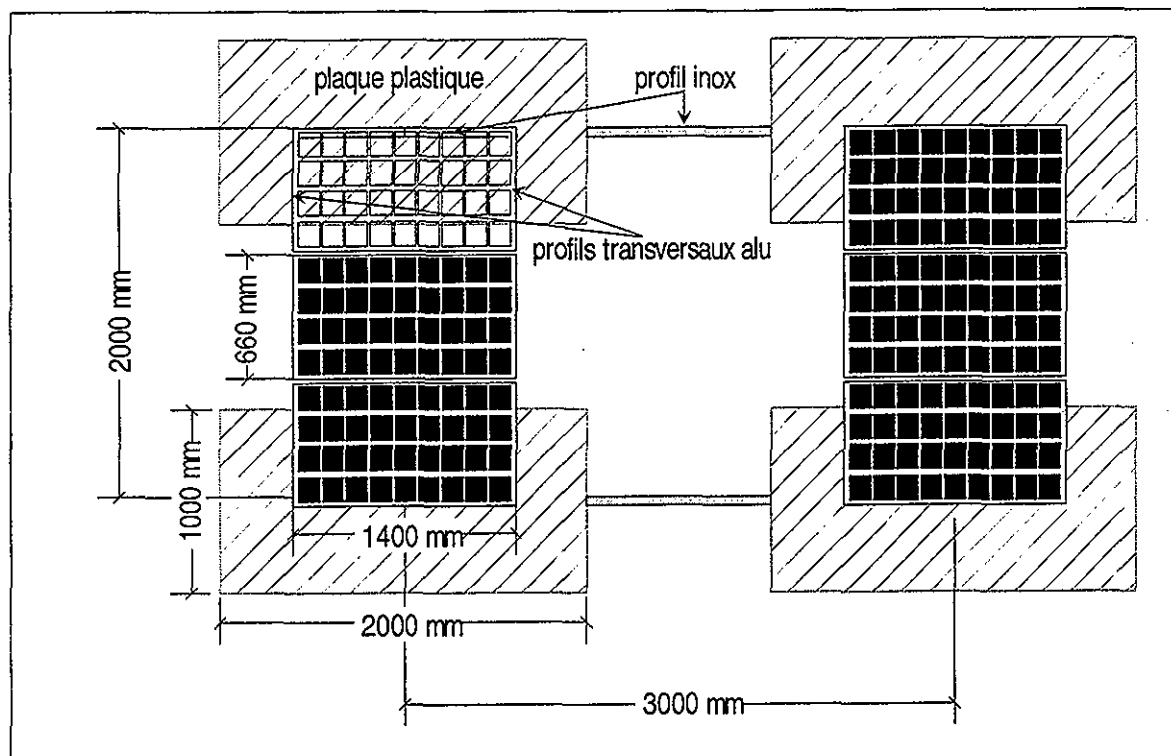


Figure 46 : Plan du réseau de fixation du système

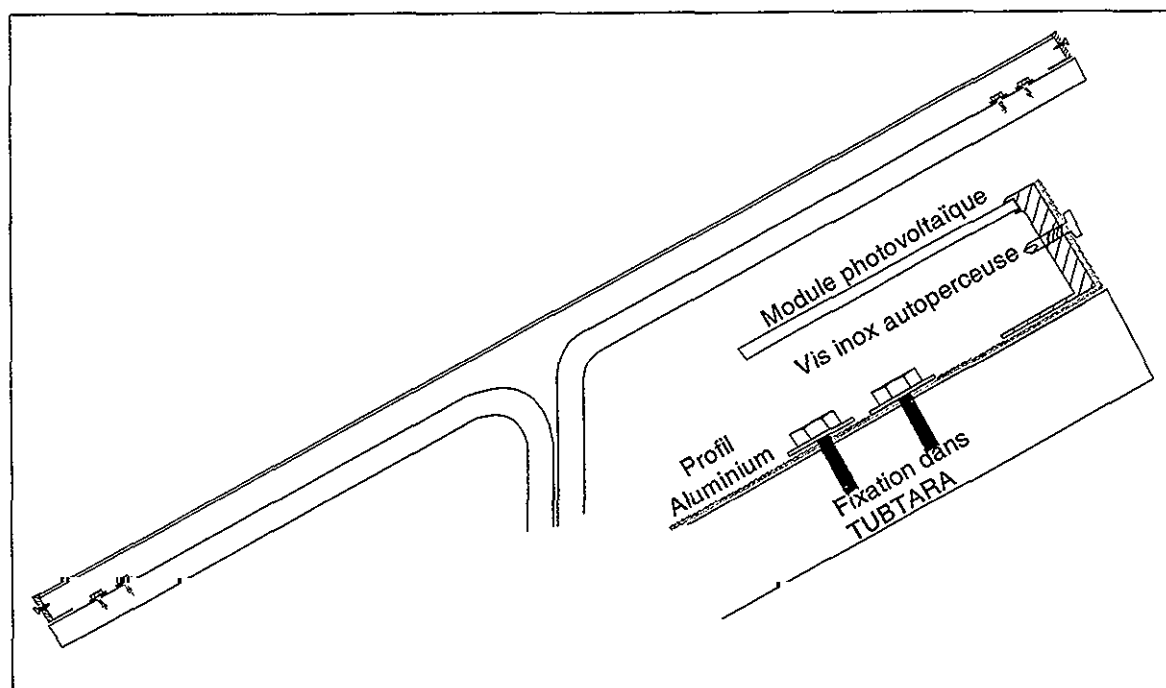


Figure 47 : Vue en coupe du système de fixation des modules sur les profils transversaux

Les modules sont vissés à l'aide de vis autoperceuses sur des profils transversaux aluminium en "L", eux-mêmes, vissés aux extrémités des profils inox cintrés. Ce mode de faire offre l'avantage d'assurer une complète solidarité de tout le système et de mettre au même potentiel tous les modules facilitant ainsi grandement le concept de la mise à terre.

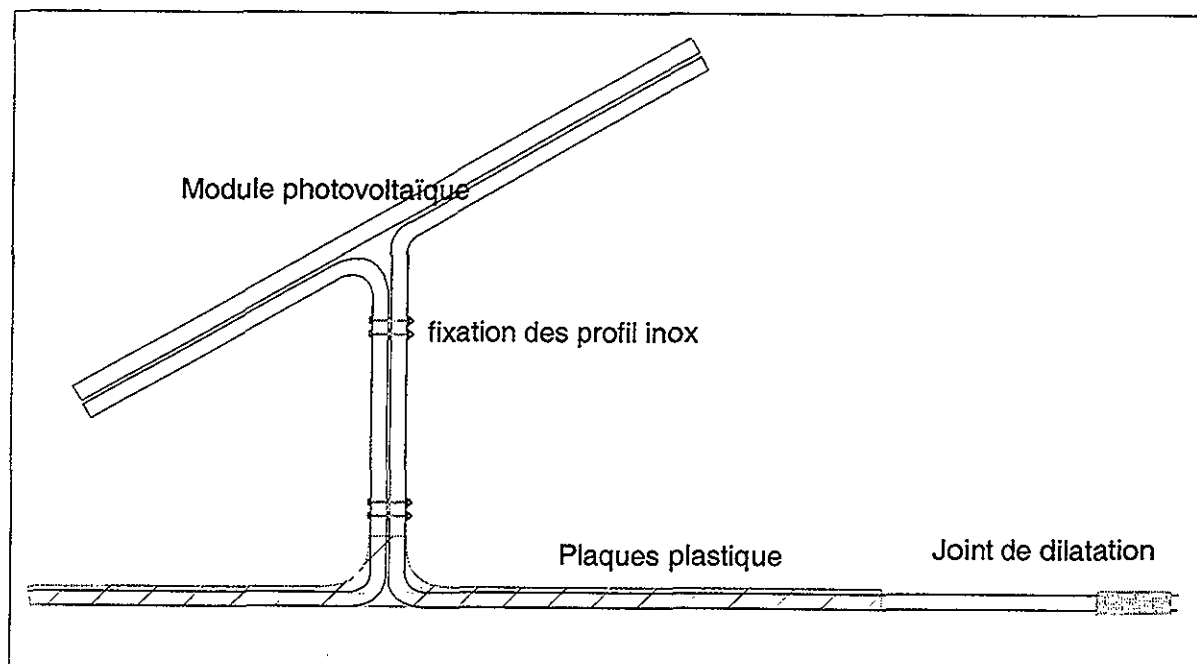


Figure 48 : Coupe du profil et joint de dilatation

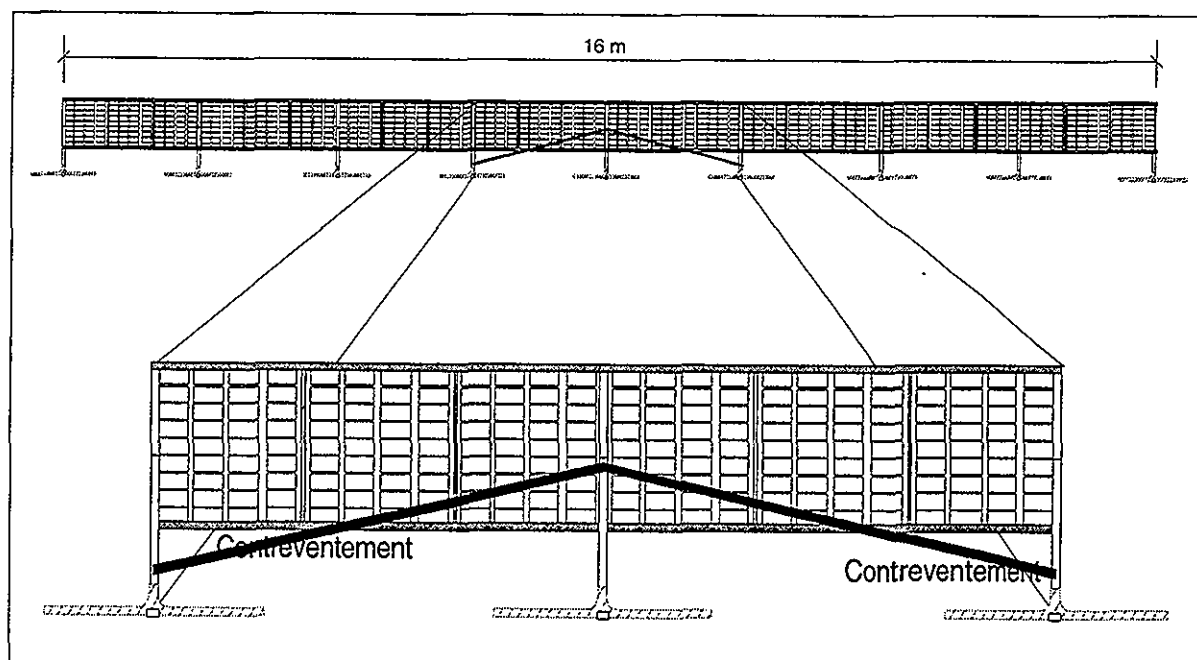


Figure 49 : Contreventement transversal du système (vue arrière)

Dans les installations de grandes envergures, où les chaînes de modules peuvent être très longues, la dilatation des matériaux due aux variations de température peut être importante. Un joint de dilatation est de ce fait prévu chaque 16 mètres. Il se présente sous la forme d'un élément de profil creux dans lequel s'insère les extrémités des profils juxtaposés. De plus, dans le sens transversal, des contreventements sont prévus afin d'éviter tout fléchissement du système. Ces renforts ont de plus la fonction de maintenir la structure lors du montage de l'installation, avant la pose des modules.

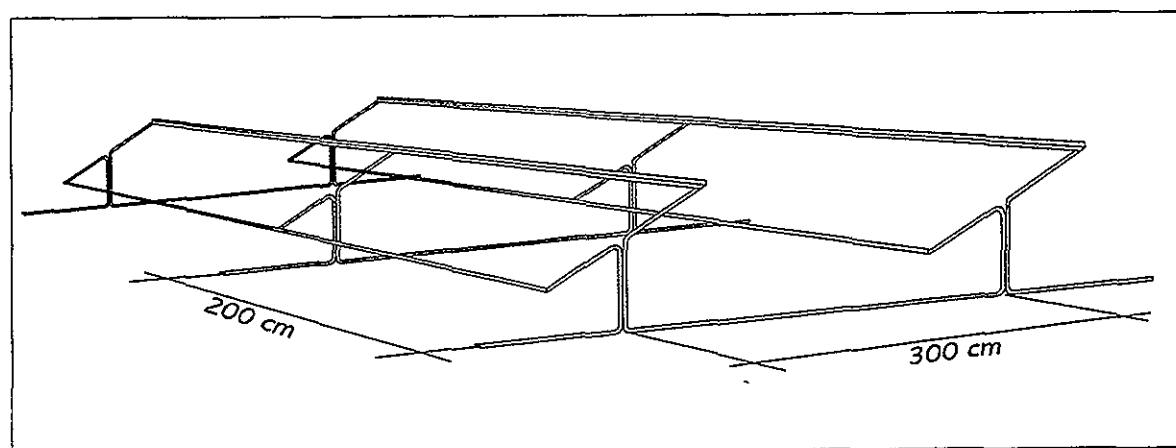


Figure 50 : Perspective du réseau de fixation des modules photovoltaïques

6. Autres voies explorées

Lors de la phase de choix des matériaux susceptibles de contenir le lest existant (gravier), outre le fibro-ciment (Eternit), plusieurs produits ont été évalués. Les critères principaux utilisés pour juger ces produits étaient :

- prix au m²
- résistance mécanique
- résistance aux UV
- résistance aux intempéries
- résistance à la corrosion
- facilité de mise en forme
- dimensions disponibles
- aspect esthétique.

Parmi les candidats retenus, outre l'Eternit, 2 ont fait l'objet d'études et de tests :

- le métal déployé
- le polyéthylène recyclé

6.1 Métal déployé

Le métal déployé est constitué de feuilles de métal que l'on déforme par découpage partiel afin d'obtenir une feuille de plus grande surface, ajourée, de ce métal (fig.51).

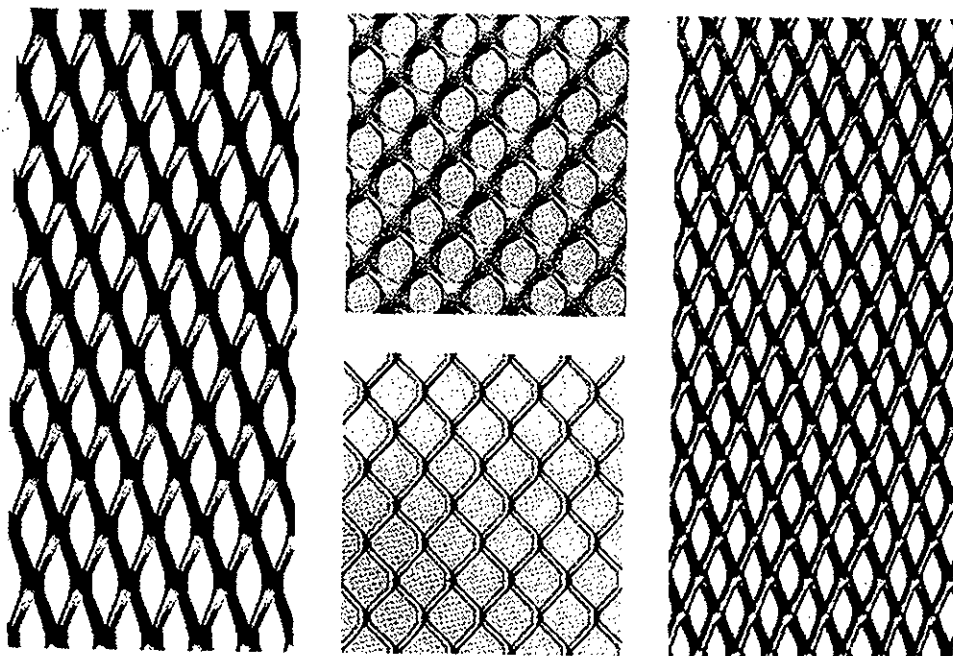


Figure 51 : Exemple de métal déployé

Ce matériau satisfait bien à la plupart des critères cités ci-dessus et nous avons réalisé quelques prototypes de bacs (fig.52).

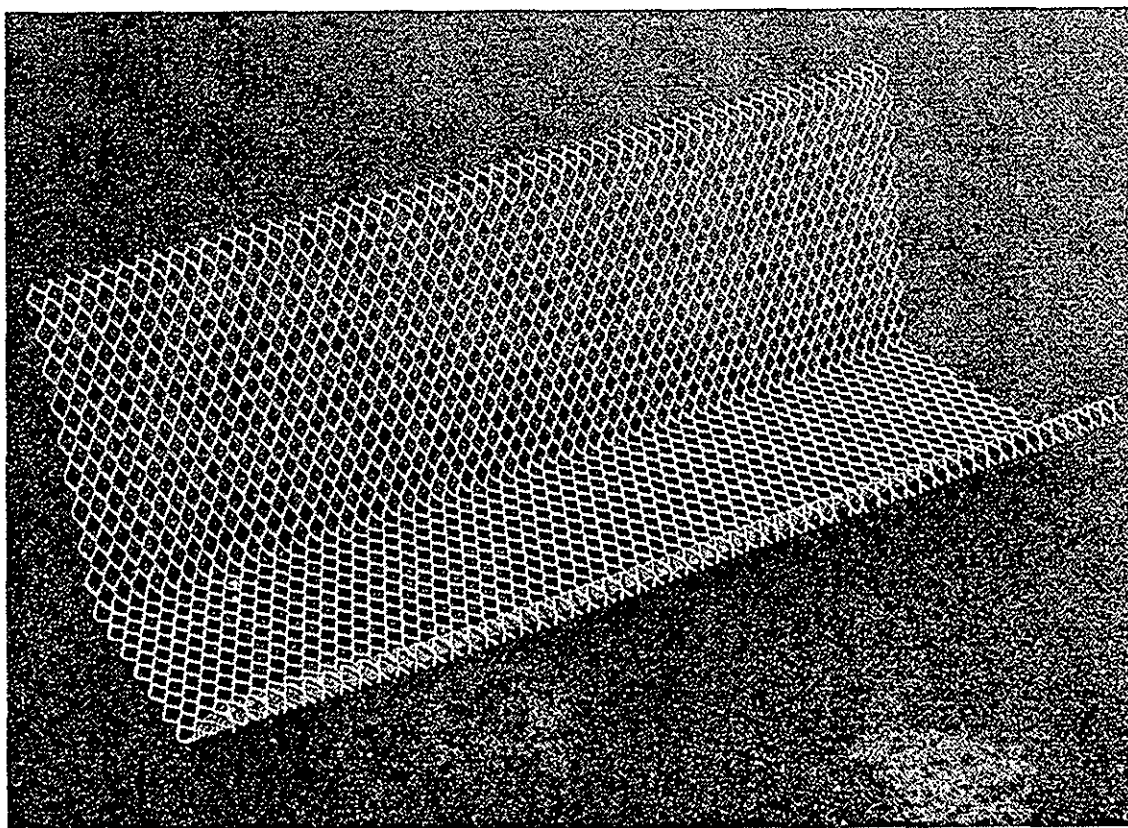


Figure 52 : Prototype en métal déployé

Toutefois, les points suivants nous ont poussé à renoncer, du moins pour ce projet, à aller plus avant.

- La résistance mécanique n'est suffisante que si l'on procède par triangulation, ce qui limite les formes possibles.
- La résistance à la corrosion est très bonne pour l'acier inox, coûteux, mais plus aléatoire pour l'acier zingué, plus abordable.
- La manipulation des éléments en métal déployé, dont certaines arêtes sont très tranchantes, est relativement dangereuse sur un chantier.
- La fixation des éléments PV n'est pas simple (lamifiés notamment).
- L'esthétique est discutable, mais peut être améliorée.

Ce jugement nous paraît toujours justifié à la fin du projet.

6.2 Polyéthylène recyclé

Ce matériau satisfait pratiquement à tous les critères (esthétique, ...) et représente donc un bon candidat.

Il n'avait pas été retenu dans un premier temps, la technologie nécessaire n'étant pas disponible en Suisse, et le coût de la mise en œuvre étant relativement élevé (moule prototype, puis moule aluminium).

Nous sommes cependant revenus sur cette décision en fonction de nouveaux éléments :

- le matériau choisi au départ, le fibro-ciment, posait certains problèmes dont le PE est dépourvu,
- d'autres projets, utilisant le PE, ont été des succès,
- le concept que nous désirions n'était pratiquement réalisable d'en PE (taille, poids).

En effet, la fibre Eternit qui compose les Solbac nous impose certaines limitations :

- dimensions maximales de la natte brute 2.50 x 1.20
- temps de séchage élevé
- poids assez important et encombrement élevé
- prix de revient élevé.

Le concept envisagé, celui d'un élément géant permettant d'accueillir 360 W de panneaux, nécessitait une plaque de départ plus importante, d'un poids moindre et d'un coût/m² inférieur pour être intéressant.

L'idée était de réaliser un élément sur lequel on pourrait monter n'importe quel type de panneaux entre 75 et 140 W, voire des panneaux de 300 W, et cela d'une manière simple, rapide et bon marché.

La figure 53 montre une photographie du prototype réalisé.

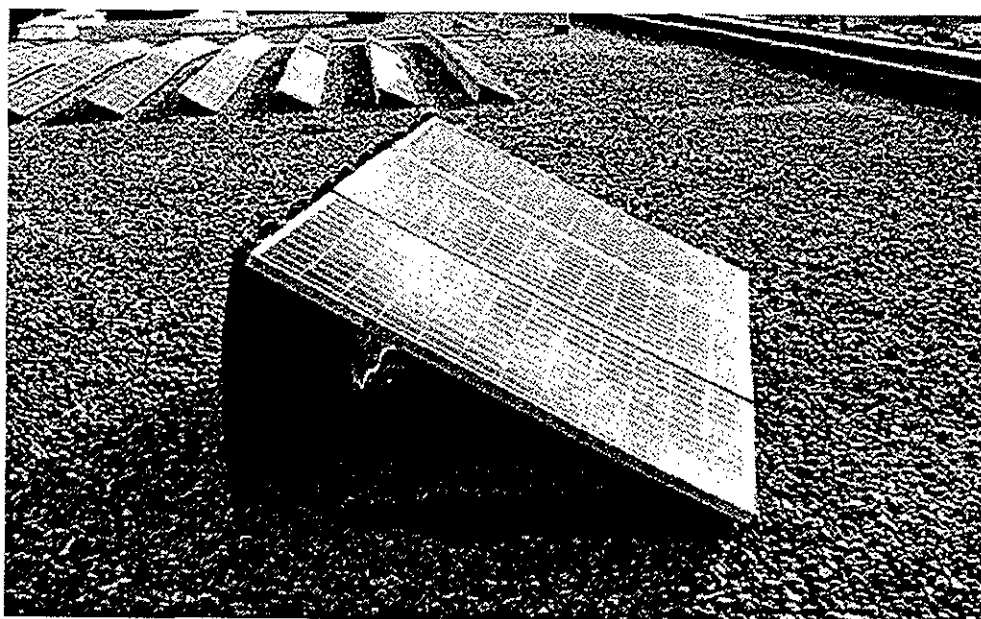


Figure 53 : Le système en PE recyclé

L'adaptation aux dimensions longitudinales des panneaux se fait en variant l'angle du "dos" du Solmax et la largeur de celui-ci est calculée pour recevoir 3 modules de 100 – 140 W (~ 65 cm de large) ou 4 modules de 75 – 85 W (~ 50 cm de large).

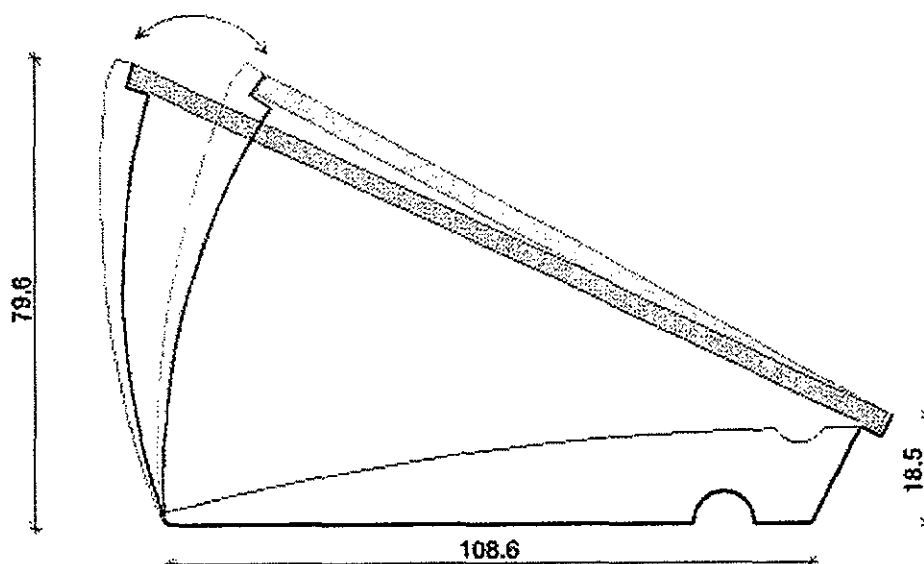


Figure 54 : Coupe du système en PE recyclé

Ce système semble très prometteur et il sera probablement repris commercialement. Toutefois, une phase de perfectionnement doit préalablement permettre d'améliorer certains détails.

7. Conclusions et remerciements

Comme on a pu le voir (chap. 2), il existe une grande variété de toitures plates en Suisse, avec des caractéristiques mécaniques de la couche supérieure très différentes (béton, isolation thermique, terre végétale ...).

De même, les structures des bâtiments à toitures plates sont diverses, certaines acceptent sans problème des surcharges importantes alors que d'autres sont déjà proches de la limite admissible.

Dans ce contexte, les systèmes développés dans ce travail permettent de s'adapter à pratiquement toutes les situations, à des coûts nettement inférieurs à ceux pratiqués auparavant.

Le tableau ci-dessous donne un résumé des applications possibles sur chaque type de toiture.

Récapitulatif des différents types de toitures plates ainsi que des systèmes d'intégration qui leur sont appropriés.

Type de toiture	Description	Système utilisable	Remarques
Toiture froide (page 6-7)	L'étanchéité est posée directement sur le support, l'isolation est posée à l'intérieur.	• SolBac • SolMax	Le système Sofrel peut éventuellement être appliqué dans certaines conditions si la couche de protection de l'étanchéité est suffisamment rigide et solide.
Toiture chaude traditionnelle (page 7)	L'étanchéité est appliquée directement sur l'isolation	• SolBac • SolMax • Sofrel dans certains cas	La toiture plate la plus usitée en Suisse.
Toiture inversée (page 7-8)	L'isolation thermique est placée sur l'étanchéité et de ce fait, la protège	• Sofrel • SolBac • SolMax	
Toiture à système compact; toiture double (page 9-10)	L'étanchéité se trouve sous la couche d'isolation qui est protégée par du gravier	• SolBac • SolMax • Sofrel dans certains cas	
Toiture verte (page 12)	La protection est formée d'une couche végétalisée	• SolGreen • Sofrel dans certains cas	Systèmes applicables uniquement pour une végétation extensive (hauteur inférieure à 40 cm).

Au vu de ces résultats, cette étude peut être considérée comme un plein succès. Toutefois, dans la perspective du développement continu des produits PV, notamment l'accroissement de la puissance (et de la taille) des modules, le domaine des systèmes de fixation doit poursuivre son évolution.

Des facteurs extérieurs, tels que les bourses solaires en Suisse, vont également influencer les acheteurs potentiels, dans deux directions complémentaires :

- d'une part, des systèmes aux prix absolument minimaux (promoteurs, vendeurs d'énergie),
- d'autre part, des systèmes à l'esthétique acceptable (architectes, propriétaires des bâtiments – hôtes).

De quoi donc ne pas s'endormir sur ses lauriers!

Ce travail de recherche a été rendu possible grâce au soutien des organismes et personnes suivantes :

- l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN), qui a assuré le financement des ressources humaines du projet,
- M. S. Novak (NET), qui a assuré le rôle de parrain,
- l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), qui a mis son infrastructure à disposition,

en particulier :

- le Service des Bâtiments, MM. S. Oesch et A. Garnier
- le Service Electrique, MM H. Colomb et S. Mebdouhi
- M. Pierre Loesch, mécanicien au LESO
- Mmes S. Renfer, S. l'Eplattenier, Fr. Stoll, B. Smith, secrétaires au LESO

ainsi que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à ce travail,

.... qu'ils soient ici tous sincèrement remerciés.

8. Bibliographie

- [1] Etanchéité des toitures plates. Directives d'exécution. GER/VERAS.
2^{ème} édition 1990
- [2] SIA documentation. Toitures. Architecture et construction. 1984
- [3] Normes SIA 271, 273, 279, , 281
- [4] Toitures. Guide des performances du bâtiment. IC-IB, CSTC, SECO. 1980
- [5] Etanchéité multicouche, détails de construction. A. Geneux-Dancet S.A.
- [6] Dégâts typiques, des travaux de ferblanterie et d'étanchéité des toits plats, causes et prévention. Editeur: Association Suisse des Maîtres Ferblantiers et Appareilleurs. 1982
- [7] Technique des toitures et éléments de couverture-ferblanterie. Ch. Gaillard. Editions Salubritas. 1973
- [8] La couverture plane métallique Riverclack
- [9] Manuel de référence actualisé relatif aux détails de construction dans le bâtiment.
- [10] Le bois, son utilisation. 1970. Editeur LIGNUM. Le toit plat en bois (1) et (2).
- [11] Documentation française du bâtiment. Editions du Moniteur. 1978. Etanchéité des toitures.
- [12] Documentation française du bâtiment. Editions du Moniteur. 1979. Isolations thermiques.
- [13] Défauts dans la construction. Remèdes et prévention. Infiltration d'eau dans le bâtiment. 1982, Baufachverlag.
- [14] Toiture inversées: comportement pratique à long terme. Bauphysikalisches Institut AG. 1985
- [15] Bâtir, manuel de construction, René Vittone, Editions PPUR, 1996

Principales documentations de produits utilisés

- [16] VAPAROID. Produits de pointe pour l'étanchéité et l'isolation. Tél. 027/ 933 11
- [17] SARNAFIL. Toit plat. Tél. 041/ 666 99 66
- [18] FOAMGLAS. Guide pratique de la toiture plate. Tél. 021/ 803 05 51
- [19] ALPORIT. Système d'isolation. Tél. 056/ 678 99 00
- [20] WANCOR. Systèmes de toiture. Tél. 021/ 634 97 03

9. Annexes

- A1 Matériaux isolants pour toitures plates
- A2 matériaux isolants pour toitures plates
- A3 Infrastructures isolantes
- A4 Caractéristiques technologiques des isolants
- A5 Matériaux ligneux
- B1 Divers matériaux d'étanchéité pour toitures plates
- B2 Divers matériaux d'étanchéité pour toitures plates
- B3 Type de bitumes utilisés pour les étanchéités
- C1 Couches de protection et revêtements praticables
- C1 Couches de protections de revêtements praticables (page 2)
- D Contrôle et entretien des toits plats
- E1 Fiche technique Socle SOFREL 95/20
- E2 Fiche technique Socle SOFREL 95/30
- E3 Fiche technique Socle SOFREL 98
- F1 Fiche technique Socle SOLBAC L2600
- F2 Fiche technique Socle SOLBAC M1200
- F3 Fiche technique Socle SOLBAC S2500
- G1 Fiche technique Socle SOLGREEN NETWORK
- G2 Fiche technique Socle SOLGREEN SOLO
- H Fiche technique Socle SOLMAX

Matériaux isolants pour toitures plates Réf. [1], [2]

Annexe A/ 1

Matériaux	Caractéristiques particulières	Mise en oeuvre	Utilisation	Combustibilité	Résistance aux solvants	Catégorie prix/m ³
Plaques de liège • Expandé • Exp.comprimé	facile à employer très sensible à l'eau	à coller	toiture chaude conventionnelle	• combustible • combustible	• moyen • moyen	• moyen • moyen
Plaques en mousse dure de polyuréthane	meilleure valeur d'isolation therm., peu sensible à l'eau	pose libre ou à coller sur la couche intérieure	toiture chaude conv. toiture froide toiture légère/nue	combustible (difficilement combustible)	moyen	moyen
Plaques en mousse dure de polystyrène expandé	bonne valeur d'isolation thermique peu sensible à l'eau	pose libre ou à coller	toiture chaude conv. toiture froide toiture légère/nue	combustible (difficilement combustible)	bas	bas
Polystyrène extrudé	bonne valeur d'isolation thermique insensible à l'eau	pose libre	toiture inversée	difficilement combustible	bas	moyen bas
Plaques en perlite	insensible au feu haute résistance à la compression	à coller	toitures résistantes au feu toitures avec grandes charges	incombustible	élevé	moyen
Plaques de toiture: fibres minérales • Matelas • Plaques fibres de verre • Matelas • Plaques et feutres	excellent comportement envers le feu excellent comportement envers le feu bonne isolation	à coller à coller à fixer mécaniquement	toiture chaude conventionnelle toiture chaude toiture légère	• incombustible • incombustible • incombustible • incombustible	• élevé • élevé • élevé • élevé	• élevé • moyen • élevé • élevé
Verre cellulaire (mousse de verre)	haute résistance à la compression cellules fermées résistant au feu insensible à l'eau	pose au bitume	toiture chaude conv. toiture nue toiture compacte	incombustible	élevé	

Matériaux isolants pour toitures plates

Annexe A/ 2

Matériaux	Densité kg/m ³	Isolation thermique mW/m.K	Perméabilité à la vapeur	Absorption d'eau % Vol.	Résistance à la compression N/mm ²	Résistance à la traction N/mm ²	Température d'utilis. max °C	Exemples de marques et de produits
Plaques de liège • Expansé • Exp. comprimé	• 90-140 • 150-200	• 40 • 45	• 15-25 • 5-10	6	• 0.08-0.1 • 0.12-0.15	• 0.2 • 0.2	100	Sager/Kork- Boswil/Korkwerk Kortisit
Plaques en mousse dure de polyuréthane	25-30	24-27	60-100	<2	0.12-0.6	0.2-0.8	100-120	Roxon Sarnapur/Alpur SagerPur/Isover
Plaques en mousse dure de polystyrène expansé	13-25	29-35	20-70	0.5-4	0.08-0.18	0.15-0.45	70-90	Luxit/Goplan Blancolit/Sarnathe Superisol/Alporit
Polystyrène extrudé	30-40	32-37	110-265	< 0.03	0.2-0.25 0.8-1.0	0.49-1.25	75	Roofmate Styrodur/Barradur Sarnatherm
Plaques en perlite	170-200	60	6	3	0.35	0.07	850	Fesco Board Heraperm
Plaques de toiture: fibres minérales • Matelas • Plaques fibres de verre • Matelas • Plaques et feutres	• 30-100 • 100-200 • 7-50 • 20-140	• 40 • 40 • 45 • 35	• 1-2 • 1-2 • 2-3 • 2-3	14	• 0.01-0.06 • 0.2-0.3 • • 0.02	• 0.01- 0.015 • 0.01- 0.015	• 250 • 750 • 250 • 250	Laine de verre Flumroc/Sarnaroc Rockwool Vetroflex
Verre cellulaire (mousse de verre)	125 - 135	50		0	0.5-0.65	0.45-0.53	430	Foamglas Corriglas

Infrastructures isolantes

Caractéristiques	Densité Kg/m ³	Conductibilité thermique W/mk	Valeur de calcul (SIA) W/mk	Résistance à la diffusion de vapeur u	Exemples de marques et de produits
Panneaux de copeaux de bois minéralisés	500 à 600	0.12	0.20	6 à 10	Durisol
Béton cellulaire	500 à 700	0.16 à 0.21	0.160 à 0.21	5 à 10	Siporex
Tôle nervurée avec polystyrène expansé	non défini	0.034 à 0.036	0.038	30 à 90	DLW-Holorib
Béton d'argile expansé	1000 à 1700	0.30 à 1.00	0.30 à 1.00	10 à 100	LECA

Caractéristiques technologiques des isolants

Liège

Le liège brut, provenant de l'écorce du chêne-liège, est moulu en un granulat qui est ensuite torréfié dans un four à environ 380°C (n'est plus couramment utilisé aujourd'hui)

Panneaux de liège expansé aggloméré, nattes de granules de liège, liège en vrac à l'état naturel ou expansé.

Mousses organiques

On classe dans ce groupe les mousses à cellules fermées ou à cellules partiellement communicantes constituées de matières organiques (polymères à base de carbone et d'hydrogène). Leur confection en usine s'opère généralement par moulage ou par extrusion. Comme agent d'expansion on utilise des gaz de faible poids moléculaire, de la vapeur d'eau ou de l'air.

Panneaux: Polystyrène(PS) expansé, Polystyrène(PS) extrudé, Polyuréthane (PUR), Polyisocyanate (PIR), Polyéthylène (PE), Urée-formaldéhyde (UF), Phénol-formaldéhyde (PF), Chlorure de polyvinyle (PVC)

Matériaux fibreux inorganiques

Pour obtenir des fibres de verre ou de laine de pierre, on fait fondre les matières premières minérales dans des fours à températures de 1200 à 2000°C, ces fibres sont transformées ainsi en fibres minces de quelques millièmes de mm. Ces fibres sont ensuite agglomérées, le plus souvent au moyen de résines synthétiques.

Les panneaux comprimés en fibres minérales sont produits, par voie humide, avec de la laine de pierre, des charges minérales et des liants organiques.

Panneaux : laine de pierre, fibre de verre, panneaux comprimés en fibres minérales.

Rouleaux : matelas en laine de pierre, en fibre de verre.

En vrac : laine de pierre, fibre de verre.

Matériaux fibreux organiques

Isolants fabriqués à partir de roseaux, de fibres de coco, de chanvre, de papier, etc.

Ex : Planches de roseaux, matelas de fibres de coco

Mousses inorganiques

Dans ce groupe figure non seulement le verre cellulaire, mais aussi les isolants contenant des constituants minéraux expansés.

Le verre expansé est un isolant à cellules fermées obtenu industriellement en faisant mousser un verre au silicate par l'adjonction d'un agent soufflant.

L'effet d'expansion des minéraux est obtenu dans des fours à des températures comprises entre 800 et 1200 °C. Seuls s'y prêtent les minéraux pourvus de constituants expansifs, par exemple la perlite, le mica, le vermiculite, etc.

Panneaux: verre cellulaire, perlite agglomérée avec des fibres organiques, comprimée. Matériaux en vrac: perlite, vermiculite).

Matériaux ligneux

Les types de panneaux industrialisés ci-après appartiennent à ce groupe :

- Panneaux de fibres de bois à base de bois défibré par feutrage et aggloméré au moyen du liant des fibres elles-mêmes
- Panneaux légers de laine de bois agglomérés au moyen d'un liant hydraulique tel que ciment, plâtre ou magnésie
- Panneaux de fibres de bois poreux.
- Panneaux de laine de bois.

Divers matériaux d'étanchéité pour toitures plates Réf. [1], [2]

Annexe B/ 1

Matériaux	Vieillessement Entretien	Prix	Caractéristiques particulières	Mise en oeuvre	Utilisation	Exemples de marques et de produits
Multicouche-Bitume 1. lés d'étanchéité avec bitume à chaud, armature: • voile de verre • toile de jute • tissu de voile de verre • feuille d'aluminium	vieillessement assez rapide (perte des plastifiants du bitume)	peu élevé	facile à employer très bon collage multicouches	à coller bitume chaud	toiture chaude conventionnelle toiture froide	V 60 J2 J3 GV2 GV3 ALU 10 B
Bitume Polymère 1. lés d'étanchéité bitume élastomère armature: • voile de verre • tissu de verre • voile de polyester 2. lés d'étanchéité bitume plastomère	résistance au vieillessement, excellent		facile à employer couche supérieure élastique haute résistance au déchirement se colle en plein	à coller à souder	toiture chaude conventionnelle toiture froide toiture compacte toiture inversée toiture « duo »	VAPROLEN Verpor Parator Preflex Graniflex
Asphalte coulé • à base d'asphalte naturel • à base de filler	facilité d'entretien et de réparation, résist. / chocs mécaniques	produit assez économique	se colle en plein grande capacité de charge	coulé à chaud	toiture inversée toiture froide	
Matériaux synthétiques Lés de matière synthétique • Polymères de chlorure de vinyle (PVC plastifié) • Haut poly nères (IIR, PIB, EPDM, EVA)	satisfait		haute résistance au déchirement bonne résistance aux intempéries	thermo-soudage	toiture chaude conventionnelle toiture nue toiture légère toiture « duo »	Sarnafil, Sucoflex Sikaplan Hypalon Koit, Veroplan Resistit Gofil
Placage métallique • Tôle en cuivre • Tôle en alu • Tôle en acier CrNi • Tôle en zinc CuTi • Tôle en acier zingué	dilat/100°C DT (mm/m) • 1.7 • 2.4 • 1.8 • 2.1 • 1.2		les grandes surfaces sont rapidement exécutées	la double agrafe l'agrafe simple plée à l'équerre le tasseau		Aluminium (type KAL-ZIP, VAW- Aluform ou similaire) RIVERGRIP

Divers matériaux d'étanchéité pour toitures plates

Annexe B/ 2

Matériaux	Résistance à la perforation au déchirement et poinçonnement etc.	Résistance aux UV	perméabilité à la vapeur u.d (m)	Souplesse à froid (°C)	Résistance au fluage (°C)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (N/50 mm)	Poids au m ² (kg/m ²)	Epaisseur (mm)
Multicouche-Bitume 1. lés d'étanchéité avec bitume à chaud, armature: • voile de verre • toile de jute • tissu de voile de verre • feuille d'aluminium	élasticité faible, trames peu résistantes	peu résistants aux rayons UV	• 150 • 120-150 • 130-160 • 2000	• 0 ... -5 • 0 ... -5 • 0 ... -5 • 0 ... -5	• 70 ... 80 • 60 ... 70 • 60 ... 70 • 60 ... 70	• 2 • 3 • 2-3 • 5	• 200 • 500 • 500 • 250	• 2.4 • 2.7 - 3.3 • 2.7 - 3.3 • 2.4	• 2.0 • 2.2 - 3.0 • 2.2 - 3.0 • 2.0
Bitume Polymère 1. lés d'étanchéité bitume élastomère armature: • voile de verre • tissu de verre • voile de polyester 2. lés d'étanchéité bitume plastomère	1. haute résistance au déchirement et poinçonnement grande élasticité 2. bonne plasticité	2. résiste aux UV	• 150 • 150 • 150-300	• -10...-30 • -10...-30 • -10...-30	• 100-120 • 100-120 • 100-140	• 2 • 2 • 30	• 200 • 500 • 500	• 3.0-3.5 • 3.5 • 3.5-5.0	• 2.5-3.0 • 3.0 • 3.0-5.0
Asphalte coulé • à base d'asphalte naturel • à base de filler	grande capacité de charge		résist. relat. à la diff. de vap. 4.4x10 ⁴	résistance aux chocs thermiques	souplesse produit thermoplast.	Indentation 40°C-105 N/mm ² .30' 8-15 mm	module d'élasticité 1000N/mm ²	masse volumique 2350 kg/m ³	20 - 30
Matières synthétiques Lés de matière synthétique • Polymères de chlorure de vinyle (PVC plastifié) • Haut polymères (IIR, PIB, EPDM, EVA)	haute résistance au déchirement	résistant aux UV	résistance à la diffusion équivalente (m) • 33 • 63	pas de cassure à -20°C	déformation due à la chaleur %=0	• Samafil (G 441-24E) 200 • Samafil (G 476-30) 270	• 9 N/mm ² • 10 N/mm ²	1.5 - 3.7	1.2 - 2
Placage métallique • Tôle en cuivre • Tôle en aluman • Tôle en acier CrNi • Tôle en zinc CuTi • Tôle en acier zingué	les tôles zinc CuTi et Aluman ne présentent qu'une résistance limitée à la corrosion. Le cuivre et l'acier CrNi présentent une bonne résistance		étanche					• 7 • 3 • 5 • •	• 0.55 • 1.0 • 0.5 • 0.7 • 0.62

Type de bitumes utilisés pour les étanchéités

Bitumes de distillation directe

Produit d'une consistance tendre à mi-dure, provenant des résidus de la distillation sous vide de pétrole.

Utilisation: Bitume pour la construction de routes.

Bitumes sous vide

Bitume de distillation directe d'une consistance dure à cassante, fabriqué sous vide poussé.

Utilisation: Bitume pour l'industrie.

Bitumes oxydés

(Bitumes soufflés) Bitume de distillation directe ayant subi en état liquide un insufflage d'air.

Consistance tendre, élastique avec un point de ramollissement plus élevé.

Utilisation: Bitume pour des étanchéités flexibles.

Bitume polymère

Il s'agit d'un bitume modifié par l'incorporation de matière synthétique afin d'élargir la plage de température d'utilisation entre les états peu élastiques et ramollis, ainsi que pour une plus grande élasticité et extensibilité. Les bitumes polymères ont permis d'améliorer le comportement à chaud, l'allongement à froid et la résistance aux rayons UV.

Suivant le genre de polymères utilisés, on distingue:

1. Bitume plastomère

Il s'agit d'un bitume contenant du polypropylène atactique (APP) ce qui améliore son comportement à haute température; sans élasticité, mais avec une excellente résistance au vieillissement.

2. Bitume élastomère

Il s'agit d'un mélange physique stable et homogène de bitume avec du caoutchouc au styrène-butadiène-styrène (SBS) ayant une résistance améliorée à la chaleur, une bonne élasticité et une résistance à la fatigue même en présence de températures basses.

Couches de protection et revêtements praticables Réf. [1]

Utilisation	Descriptif	Epaisseur totale	Poids par M ²	! Attention
Nue ou avec couche de protection légère rapportée	autoprotection génétique d'un revêtement en asphalte coulé			
	autoprotection génétique d'un lé de matière synthétique			
	lé à base de bitume polymère recouvert de paillettes minérales	5mm	6	• cloques si humidité sous le revêtement
	lé à base de bitume ou bitume modifié protégé par une couche de cuivre ou d'aluminium gaufré , ép. env. 0.1 mm	4mm	5	• attention au frein de vapeur quasi total exercé
	1 couche de gravillon concassé 3/6 collée à la colle bitumineuse	6 à 10 mm	12 à 20 kg	• cloques si humidité sous le revêtement
	gravillons agglomérés à la résine synthétique	4 à 10 mm	8 à 20 kg	• mise en oeuvre délicate / compatibilité avec le fond • réservé au spécialiste
Non accessible (avec couche de protection)	1 couche de sable , ép. 2 cm. 1 couche de gravier granulométrie 16/32 mm, ép. 4 cm.	6cm	105 kg	• pour bâtiments élevés ou exposés, prévoir ceinture de rive non déplaçable (graviers, agglos aux résines, dalles, etc.)
	voile de polyester minimum 140 gr/m ² 1 couche de gravier granulométrie 8/16 mm ou 16/32 mm, ép. 5 cm.			• les granulométries dépendant de critères régionaux, on choisira les chiffres les plus rapprochant compte tenu des possibilités d'approvisionnement (min 8 mm) • si plus de 15 % de gravillon concassé, feuille de protection nécessaire
	1 couche de gravier granulométrie 8/16 mm ou 16/32 mm, ép. 5 cm seulement pour bitume polymère et lés de matière synthétique	5 cm	90 kg	
Praticable, piétonne	taquets en matière synthétique ou en microbéton avec intercalaires, ou voile de polyester env. 200 gr/m ² lit de gravillon concassé 3/6, ép. 2 à 4 cm. dallettes préfabriquées en béton , ép. 5 cm, dim. courantes 50/50 cm, surfacage à la demande, posées à joints ouverts	8 cm	110 kg	• calage soigné nécessaire • sur lés de matière synthétique, feuille de protection à prévoir
	voile de polyester env. 200 gr/m ² avec lit de sable ou de gravillon concassé 3/6, ép. 2 à 4 cm, ou voile de polyester env. 200 gr/m ² feuille PE, ép. 0.20 mm lit de sable lié au ciment de laitier ou de trass, ép. 4 cm dallettes préfabriquées en béton , ép. 4-5 cm, dim. courantes 50/50 cm, surfacage à la demande, joints remplis au coulis de mortier	9 cm	170 kg 90 kg	
	voile de polyester env. 200 gr/m ² lit de sable ou de gravillon concassé 3/6, ép. 4cm pavés béton à emboîtement, ép. 6 cm	10 cm	200 kg	• compactage nécessaire • résistance isolant à contrôler

Annexe C/ 1 (page 2)

Utilisation	Descriptif	Epaisseur totale	Poids par M ²	! Attention
Praticable, piétonne	voile de polyester env. 200 gr/m ² feuille PE, ép. 0.20 mm chape en gravillons agglomérés à la résine synthétique , ép. 4 cm	4 cm	80 kg	• mise en oeuvre délicate, réservée au spécialiste
	autoprotection génétique d'un revêtement en asphalte coulé			
	voile de polyester env. 200 gr/m ² lit de gravillon concassé 3/6, ép. 3 à 4 cm. voile de polyester env. 200 gr/m ² feuille PE, ép. 0.20 mm microbéton ou chape CLK, ép. 5-6 cm. carrelage non gélif posé à la résine synthétique ou, revêtement en pierre naturelle non gélif posé à la résine synthétique	de 9 à 11 cm	env. de 180 à 220 kg	• épaisseur du revêtement • garde d'eau aux seuils • liants hydrauliques! • prise en compte d'éventuels chocs thermiques • limité, voire déconseillé sur isolant thermique. Consulter l'entrepreneur d'étanchéité • gel
	carrelage non gélif posé à la colle sur revêtement en asphalte coulé	1 cm	10 kg	• choix de la colle et du matériau de nivelage • application directement sur l'asphalte
Praticable carrossable	couche de glissement par feuille PE, ép. 0.20 mm voile de polyester 2 à 300 gr/m ² couche de glissement par feuille PE, ép. 0.20 mm couche de protection en microbéton ou chape CLK ép. 5 cm. dalle de roulement en béton armé de treillis Perfect, dosage cp 350, ép. selon sollicitations mais minimum 12 cm, subdivisée en panneaux de 4 m de côté au maximum	5 cm 12 cm 17 cm	110 kg 270 kg 380 kg	• dalle de roulement : dimensionnement et contrôle par ingénieur • liants hydrauliques! avec isolant thermique sous l'étanchéité, si pas d'isolant thermique, consulter l'entrepreneur d'étanchéité
	autoprotection d'un revêtement en asphalte coulé (couche d'usure)			• sans isolation thermique sous l'étanchéité
	enrobé bitumineux type AB 8 ou AB 11, ép. 4 à 5 cm. min, posé sur étanchéité bitume polymère, asphalte coulé ou mastic mou collés sur dalle B.A.	5 cm	70 kg	• liants hydrauliques
	autres revêtements tels pierre naturelle, pavés en béton, gravillons aggloméré aux résines synthétiques, béton lavé			• consulter l'entrepreneur d'étanchéité
sous terre	voile de polyester env. 300 gr/m ² couche de glissement par feuille PE ép. 0.20 mm microbéton ou chape CLK avec treillis, ép. 5 cm	5 cm	110 kg	• liants hydrauliques
	natte caoutchouc aggloméré (par ex. type UEBO), ép. 1 cm., collés au bitume sur étanchéité	1 cm	5 kg	• jointage parfait des panneaux caoutchouc
	feuille de protection synthétique , complémentaire, ép. env. 3mm, joints soudés thermiquement (anti-racines)	3 mm	1.5 kg	• remontrées contre les relevés
	autoprotection d'un revêtement en asphalte coulé			

Contrôles/Vérifications	Remarques	Exécution par le	
		concierge	spécialiste
Surface de toiture			
1. La couche de protection est-elle répartie régulièrement?	La couche de protection doit mesurer au minimum 5 cm Faire compléter par une entreprise spécialisée	•	•
2. La couche de protection est-elle partiellement découverte?	La couche de protection telle que sable ou gravier peut être emportée par le vent Répartir régulièrement et avec soin.	•	
3. La surface de toiture présente-t-elle des enracinements de plantes?	Enlever avec soin mousse, herbes, arbustes et mauvaises herbes Contrôler l'étanchéité, le cas échéant la réparer	•	•
4. Y a-t-il des objets sur la toiture?	Enlever les objets étrangers	•	
5. Des modifications telles que formation de plis et de bulles sont-elles visibles sur l'étanchéité?	En vérifier les causes		•
Raccords et fermetures de bord			
6. Les éléments en tôle sont-ils atteints par la rouille (corrosion)?	Déroutiller ou remplacer les éléments en tôle concernés		•
7. Des joints de mastic sont-ils poreux ou des faces de joints se sont-elles détachées?	Compléter ou remplacer les joints de mastic		•
8. Des remontées de construction telles que machineries d'ascenseurs, cheminées, parapets, etc. présentent-elles des fissures?	Faire réparer par une entreprise spécialisée (entreprise de façade)		•
Ecoulements			
9. Les gouttières d'eau de toiture sont-elles encombrées?	Enlever soigneusement les dépôts de feuilles mortes et de saleté	•	
10. Les descentes d'eau de toiture sont-elles encombrées ou bouchées?	Enlever soigneusement la saleté En cas d'encombrements dus à des dépôts de calcaires, procéder à un nettoyage spécial	•	•

Données techniques**Élément béton préfabriqué**

Dimensions : 500 x 259 x 120 mm

Angle d'inclinaison : 20°

Poids : 30 kg

Matériau : béton préfabriqué

Crochets G-Clip pour lamifiés

Dimensions : 400 x 60 x 80 mm

Épaisseur : 1.5 mm

Poids : 0.3 kg

Matériau : acier inoxydable plié

Fixation du module collage par silicone

Crochets X-Clip pour modules à cadre

Dimensions : 650 x 60 x 60 mm

Épaisseur : 1.5 mm

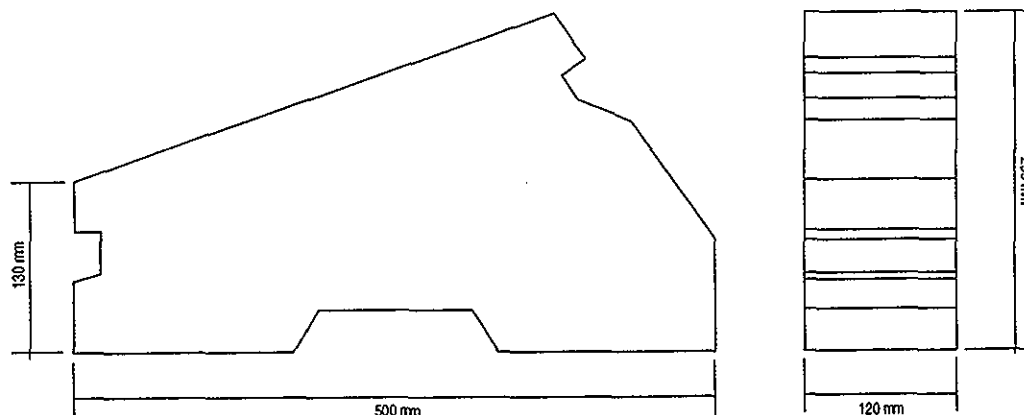
Poids : 1 kg

Matériau : acier inoxydable plié

Fixation du module par rotation dans le cadre

Modules PV supportés par le SOFREL95/20

Tous les modules PV d'une dimension inférieure à 1350 x 650 mm, tels que : *SIEMENS M110 – M75, Isophoton I-110, Kyocera KC120, GPV 110ME – PCR80, ASE 110, AstroPower AP-1106, BPSOLAR 585, SHARP NT 72, Photowatt PWX500T, Helios H500,...*

Dimensions extérieures de l'élément**Disposition des modules et résistance au vent**

Le système SOFREL95/20, composé de deux socles, supporte un panneau par système. La résistance au vent du système doit être étudiée de cas en cas en fonction de la situation de l'installation projetée.

Prix indicatifs

SOFREL95/20, pour modules à cadre, à partir de : 46 ct./Wp

SOFREL95/20, pour modules lamifié, à partir de : 44 ct./Wp

Données techniques

Elément béton préfabriqué

Dimensions : 500 x 330 x 140 mm
Angle d'inclinaison : 30°
Poids : 37 kg
Matériau : béton préfabriqué

Crochets G-Clip pour lamifiés

Dimensions : 400 x 60 x 80 mm
Epaisseur: 1.5 mm
Poids : 0.3 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module collage par silicone

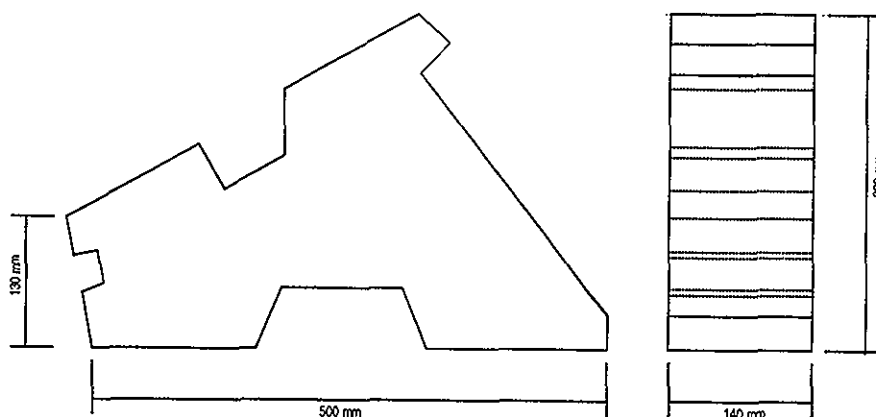
Crochets X-Clip pour modules à cadre

Dimensions : 650 x 60 x 60 mm
Epaisseur: 1.5 mm
Poids : 1 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module par rotation dans le cadre

Modules PV supportés par le SOFREL95/30

Tous les modules PV d'une dimension inférieure à 1350 x 650 mm, tels que : SIEMENS M110 – M75, Isophoton I-110, Kyocera KC120, GPV 110ME – PCR80, ASE 110, AstroPower AP-1106, BPSOLAR 585, SHARP NT 72, Photowatt PWX500T, Helios H500,...

Dimensions extérieures de l'élément



Disposition des modules et résistance au vent

Le système SOFREL95/20, composé de deux socles, supporte un panneau par système. La résistance au vent du système doit être étudiée de cas en cas en fonction de la situation de l'installation projetée.

Prix indicatifs

SOFREL95/20, pour modules à cadre, à partir de : 56 ct./Wp
SOFREL95/20, pour modules lamifié, à partir de : 54 ct./Wp

Données techniques**Elément béton préfabriqué**

Dimensions : 560 x 475 x 140 mm
Angle d'inclinaison : 27.5°
Poids : 35 kg
Matériau : béton préfabriqué

Crochets G-Clip pour lamifiés

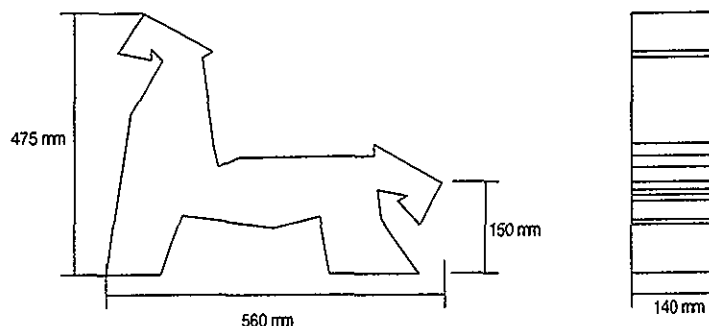
Dimensions : 200 x 150 x 80 mm
Epaisseur: 1.5 mm
Poids : 0.7 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module collage par silicone

Crochets X-Vis pour modules à cadre

Dimensions : 200 x 115 x 50 mm
Epaisseur: 1.5 mm
Poids : 0.4 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module rivet POP ou vis auto perceuse dans le cadre

Modules PV supportés par le Sofrel 98

Tous les modules PV d'une dimension voisine de 1350 x 655 (+/-5) mm, tels que : *SIEMENS M110, Isophoton I-110, Kyocera KC120, GPV 110ME, ASE 110, AstroPower AP-1106,...*

Dimensions extérieures de l'élément SOFREL 98**Disposition des modules et résistance au vent**

Le système SOFREL 98 est composé de deux socles de béton. La résistance au vent du système est fortement augmentée (+50%) du fait de la solidarité de chaque système avec son voisin. Dans le cas du système à cadre, les panneaux sont de plus liés électriquement par le crochet métallique.

Prix indicatifs

SolBac M1200C, pour modules à cadre, à partir de : 44 ct./Wp
SolBac M1200L, pour modules lamifié, à partir de : 49 ct./Wp

Nom du système : SOLBAC L2600

Annexe F/ 1

Données techniques

Élément fibro-ciment

Dimensions :	2600 x 600 x 450 mm
Angle d'inclinaison :	30°
Poids :	42 kg
Contenance :	110 litres
Matériau :	Fibre ciment Eternit

Crochets S-Vis pour lamifiés

Dimensions :	660 x 50 x 20 mm
Épaisseur:	1.5 mm
Poids :	0.9 kg
Matériau :	acier inoxydable plié
Fixation du module	collage par silicone

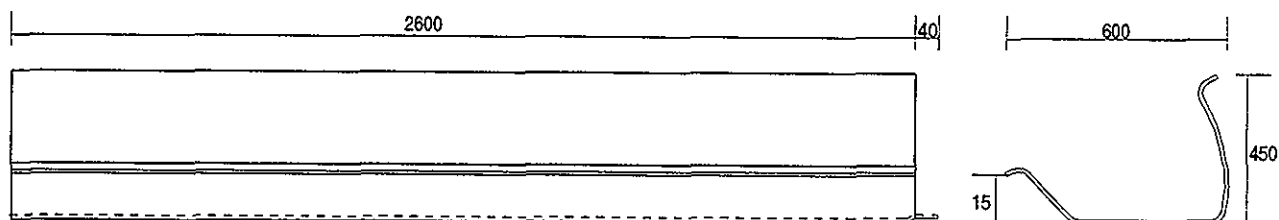
Crochets X-Vis pour modules à cadre

Dimensions :	200 x 50 x 30 mm
Épaisseur:	1.5 mm
Poids :	0.2 kg
Matériau :	acier inoxydable plié
Fixation du module	rivet POP ou vis auto perceuse dans le cadre

Modules PV supportés par le SolBac L2600

Tous les modules PV d'une dimension voisine de 1350 x 650 mm, tels que : *SIEMENS M110, Isophoton I-110, Kyocera KC120, GPV 110ME, ASE 110, AstroPower AP-1106* ,...

Dimensions extérieures de l'élément SolBac L2600



Disposition des modules et résistance au vent

Le système L2600 peut supporter jusqu'à deux panneaux par élément fibre ciment. Chaque élément étant solidaire mécaniquement de ces voisins, la résistance au vent du système est fortement augmentée (+50%). Dans le cas du système à cadre, les panneaux sont de plus liés électriquement par le crochet métallique.

Prix indicatifs

SolBac L2600C, pour modules à cadre, à partir de :	76 ct./Wp
SolBac L2600L, pour modules lamifié, à partir de :	80 ct./Wp

Données techniques

Élément fibro-ciment

Dimensions : 1200 x 480 x 310 mm
Angle d'inclinaison : 25°
Poids : 15 kg
Contenance : 35 litres
Matériau : Fibre ciment Eternit

Crochets S-Vis pour lamifiés

Dimensions : 530 x 50 x 20 mm
Épaisseur : 1.5 mm
Poids : 0.7 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module : collage par silicone

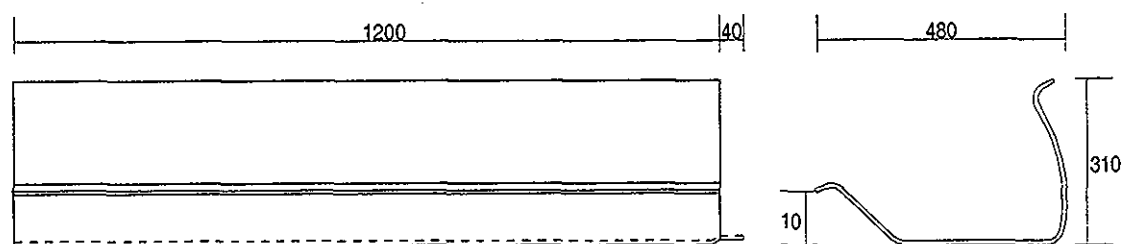
Crochets X-Vis pour modules à cadre

Dimensions : 200 x 50 x 30 mm
Épaisseur : 1.5 mm
Poids : 0.2 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module : rivet POP ou vis auto perceuse dans le cadre

Modules PV supportés par le SolBac M1200

Tous les modules PV d'une dimension voisine de 1200 x 530 mm, tels que : SIEMENS M75, BPSOLAR 585, BPSOLAR 275, GPV PCR 80, SHARP NT 85, SHARP NT 72 ,...

Dimensions extérieures de l'élément SolBac M1200



Disposition des modules et résistance au vent

Le système M1200 supporte un panneau par élément fibre ciment. Chaque élément étant solidaire mécaniquement de ses voisins, la résistance au vent du système est fortement augmentée (+50%). Dans le cas du système à cadre, les panneaux sont de plus liés électriquement par le crochet métallique.

Prix indicatifs

SolBac M1200C, pour modules à cadre, à partir de : 92 ct./Wp
SolBac M1200L, pour modules lamifié, à partir de : 97 ct./Wp

Données techniques

Elément acier inoxydable

Dimensions : 2500 x 400 x 260 mm
Angle d'inclinaison : 25°
Poids : 26 kg
Contenance : 54 litres
Matériau : Fibre ciment Eternit

Crochets S-Vis pour lamifiés

Dimensions : 450 x 50 x 20 mm
Epaisseur: 1.5 mm
Poids : 0.6 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module: collage par silicone

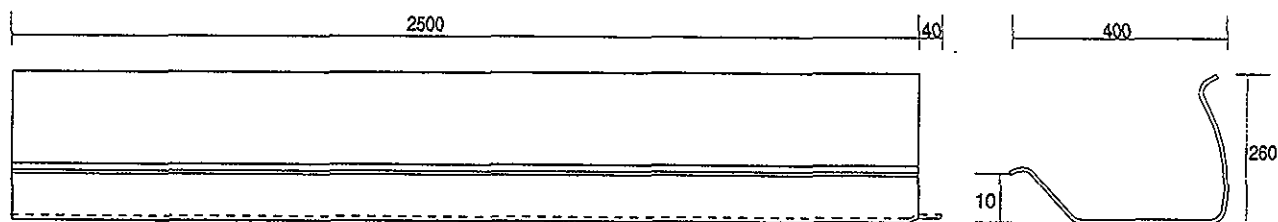
Crochets X-Vis pour modules à cadre

Dimensions : 200 x 50 x 30 mm
Epaisseur: 1.5 mm
Poids : 0.2 kg
Matériau : acier inoxydable plié
Fixation du module rivet POP ou vis auto perceuse dans le cadre

Modules PV supportés par le SolBac S2500

Tous les modules PV d'une dimension voisine de 1000 x 450 mm, tels que : *SIEMENS M55*, *BPSOLAR 255*, *Eurosolare P500*, *GPV 55ME*, *Photowatt PWX500T*, *Helios H500*, ...

Dimensions extérieures de l'élément SolBac S2500



Disposition des modules et résistance au vent

Le système S2500 peut supporter jusqu'à deux panneaux et demi par élément fibre ciment. Chaque élément étant solidaire mécaniquement de ses voisins, la résistance au vent du système est fortement augmentée (+50%). Dans le cas du système à cadre, les panneaux sont de plus liés électriquement par le crochet métallique.

Prix indicatifs

SolBac S2500C, pour modules à cadre, à partir de : 104 ct./Wp
SolBac S2500L, pour modules lamifié, à partir de : 112 ct./Wp

Données techniques

Le système est conçu comme un réseau global d'ancrage de l'installation dans la couche végétale. Il est composé de :

Tubes inoxydables cintrés

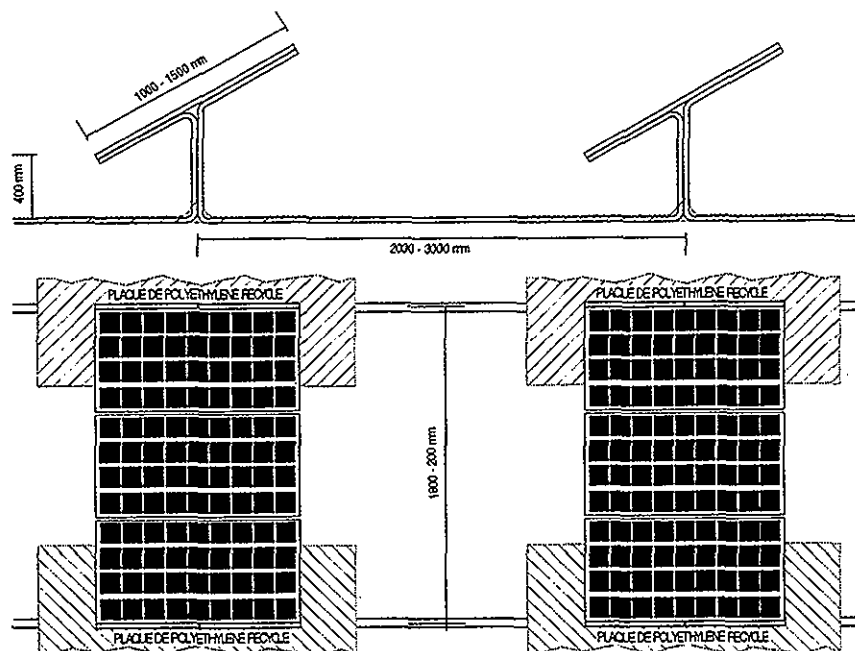
Dimensions extérieures: 3000 x 1500 x 30 mm
Section: 50 x 30 x 3 mm
Angle d'inclinaison : 30°
Poids : 12 kg
Matériau : acier inoxydable
Fixation du module: collage par silicone ou profils aluminium

Plaques de polyéthylène recyclé

Dimensions : 1400 x 800 x 80 mm
Epaisseur: 3 mm
Poids : 5 kg
Matériau : polyéthylène recyclé

Modules PV supportés par le système SolGreen Network

Le système SolGreen Network est composé de plaques de reprise des forces en polyéthylène recyclé et de tubes en acier inoxydables cintrés. Le système est conçu comme un réseau global d'ancrage de l'installation dans la couche végétale. Le réseau peut être dimensionné pour tous types de modules solaire de 50 à 120Wp.

Dimensions extérieures du système SolGreen Network**Disposition des modules et résistance au vent**

Le système SolGreen Network supporte toute l'installation. La quantité de ballast nécessaire à la résistance au vent du système doit être étudiée de cas en cas en fonction de la situation de l'installation projetée.

Prix indicatifs

Données non disponibles à ce jour.

Nom du système : SOLGREEN SOLO

Annexe G/ 2

Données techniques

Tube inoxydable cintré

Dimensions extérieures:	1100 x 1000 x 700 mm
Section:	30 x 30 x 2 mm
Angle d'inclinaison :	30°
Poids :	12 kg
Matériau :	acier inoxydable
Fixation du module:	collage par silicone ou crochets en acier inoxydable

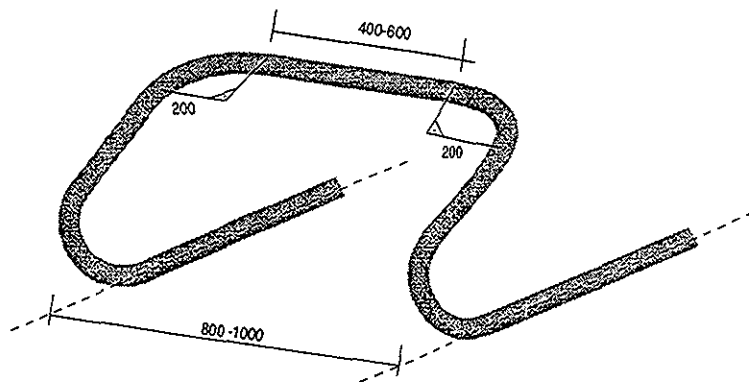
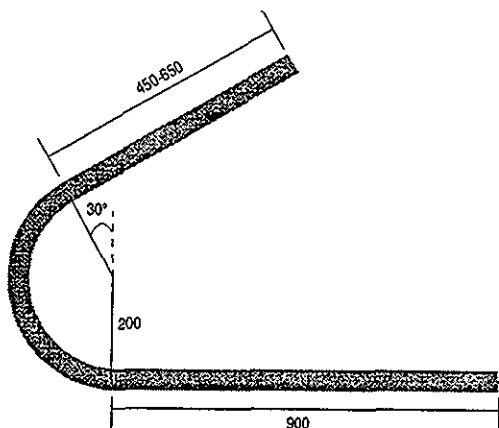
Plaque de polyéthylène recyclé

Dimensions :	1400 x 800 x 80 mm
Epaisseur:	3 mm
Poids :	5 kg
Matériau :	polyéthylène recyclé

Modules PV supportés par le système SolGreen Solo

Le système SolGreen Solo est composé d'une plaque de reprise des forces en polyéthylène recyclé et d'un tube en acier inoxydable cintré. La forme du support inoxydable permet d'accueillir tous types de panneaux PV d'une puissance de 50 à 120W.

Dimensions extérieures de l'élément



Disposition des modules et résistance au vent

Le système SolGreen Solo supporte un panneau par système. La quantité de ballast à mettre dans la plaque plastique doit être étudiée de cas en cas en fonction de la situation de l'installation projetée.

Prix indicatifs

Données non disponibles à ce jour.

Données techniques

Élément polyéthylène recyclé

Dimensions : 2300 x 1300 x 800 mm
Angle d'inclinaison : env. 30°
Poids : 24 kg
Contenance : env. 250 litres
Matériau : polyéthylène recyclé

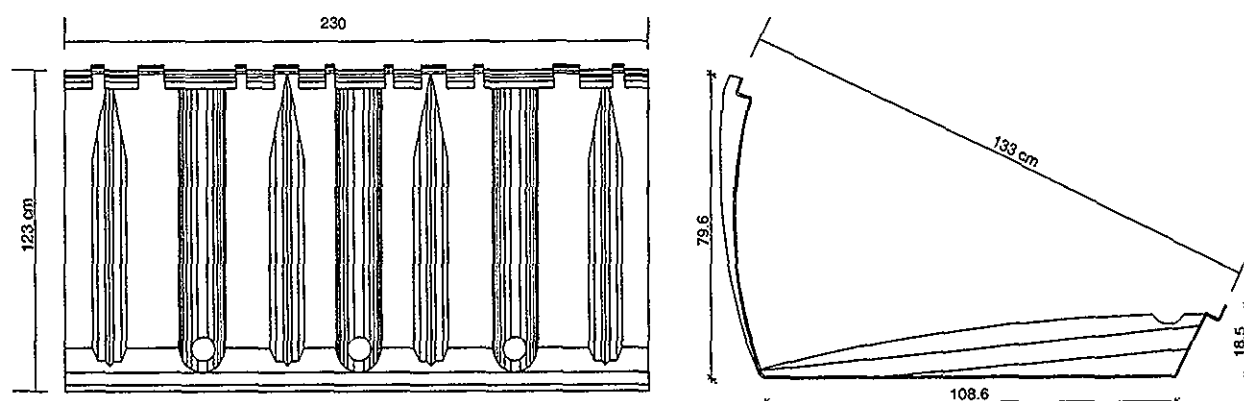
Fixation des modules à cadres

Profils aluminium : 150 x 35 x 35 mm
Épaisseur : 2 mm
Poids : 0.1 kg
Matériau : aluminium
Fixation du module : rivet POP ou vis auto perceuses dans le cadre

Modules PV supportés par le SolMax

La flexibilité de l'élément polyéthylène permet, par rotation autour de la base de s'adapter à tous types de module d'une longueur comprise entre 1200 et 1500mm. Ceci regroupe pratiquement tous les modules d'une puissance variant de 70 à 120 Wp. De plus, la grande taille de l'élément SolMax permet également d'accueillir les modules de grande puissance, jusqu'à 300Wp. Ainsi, à titre d'exemple, le module ASE 300W ou le Solar Fabrik SF340, encore peu utilisés en installation sur toitures plates, trouvent avec le SolMax un support adéquat.

Dimensions extérieures de l'élément SolMax



Disposition des modules et résistance au vent

Le système SolMax peut supporter jusqu'à trois panneaux par élément. Chaque élément étant solidaire mécaniquement de son voisin (au travers des crochets), la résistance au vent du système est fortement augmentée (150%). Les panneaux sont de plus liés électriquement par le crochet métallique.

Prix indicatif

SolMax, pour modules à cadre, à partir de :

52 ct./Wp

Tirage : 75 exemplaires
Lausanne, juin 1999