



## ***Capteur Hybride Photovoltaïque Thermique pour couverture métallique multifonctionnelle***

***Thierry LEFEBVRE  
Christophe MENEZO  
Philippe PAPILLON  
Rodolphe MORLOT***



S  
U  
N  
L  
A  
N  
D  
  
2  
1

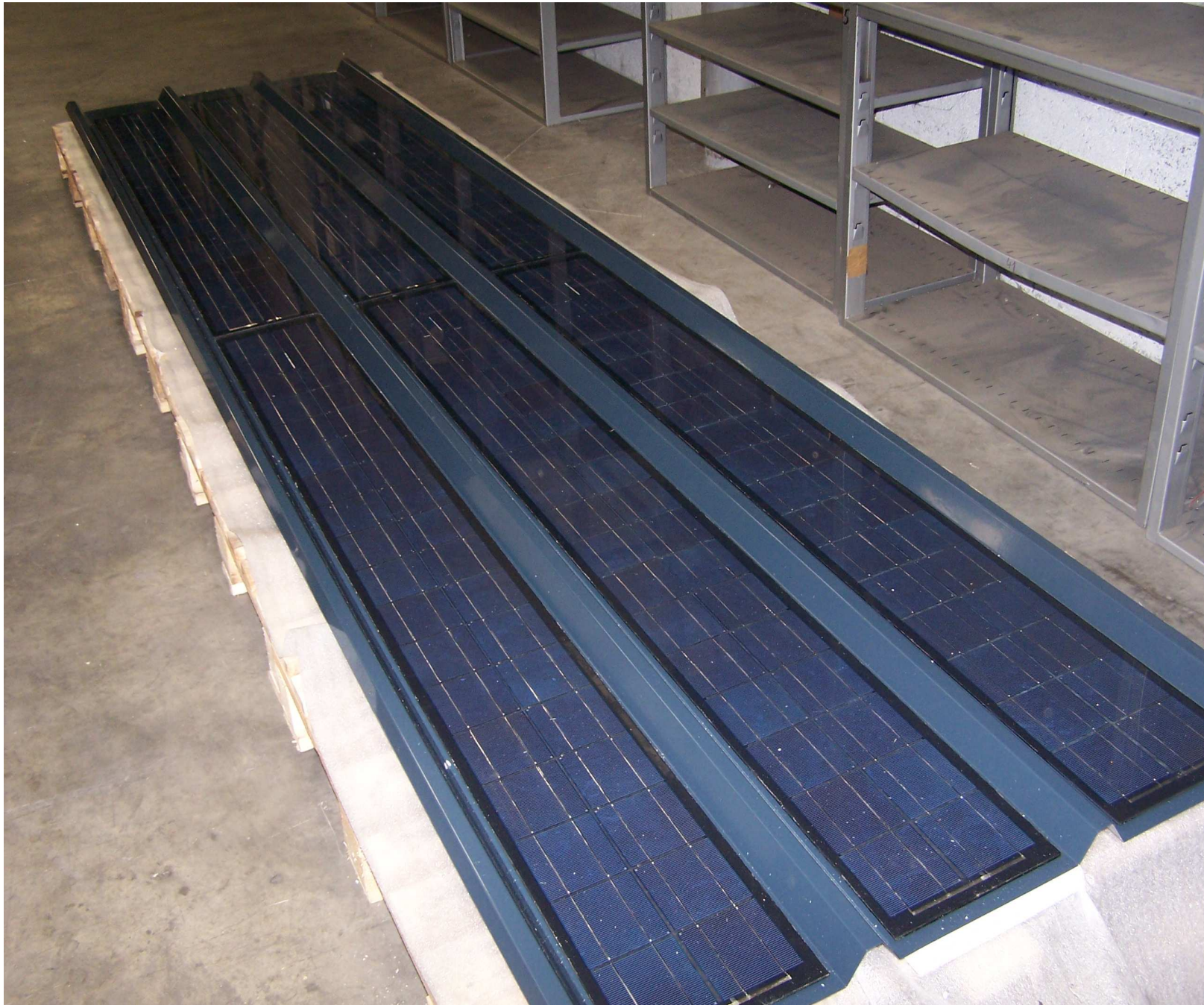


***SUN LAND 21 : Pme innovante créée en 2003,  
soutenue par l'Ademe, puis l'ANR.***

- ***Cœur de métier : composants actifs d'enveloppes pour les bâtiments, intégrant une production d'énergie issue d'ENR***
- ***Objectif : devenir un fabricant industriel de premier plan dans les composants dits « BIPV ».***
- ***Centrales solaires PV intégrées de moyenne puissance : [50 – 600] KWp, raccordées au réseau public BT,HTA***
- ***Pas de modules PV standard...mais des produits architecturaux, source de valorisation du bien immobilier.***

***S  
U  
N  
  
L  
A  
N  
D  
  
2  
1***





S  
U  
N  
L  
A  
N  
D  
  
2  
1



S  
U  
N  
L  
A  
N  
D  
  
2  
1

# TOIT PV TH



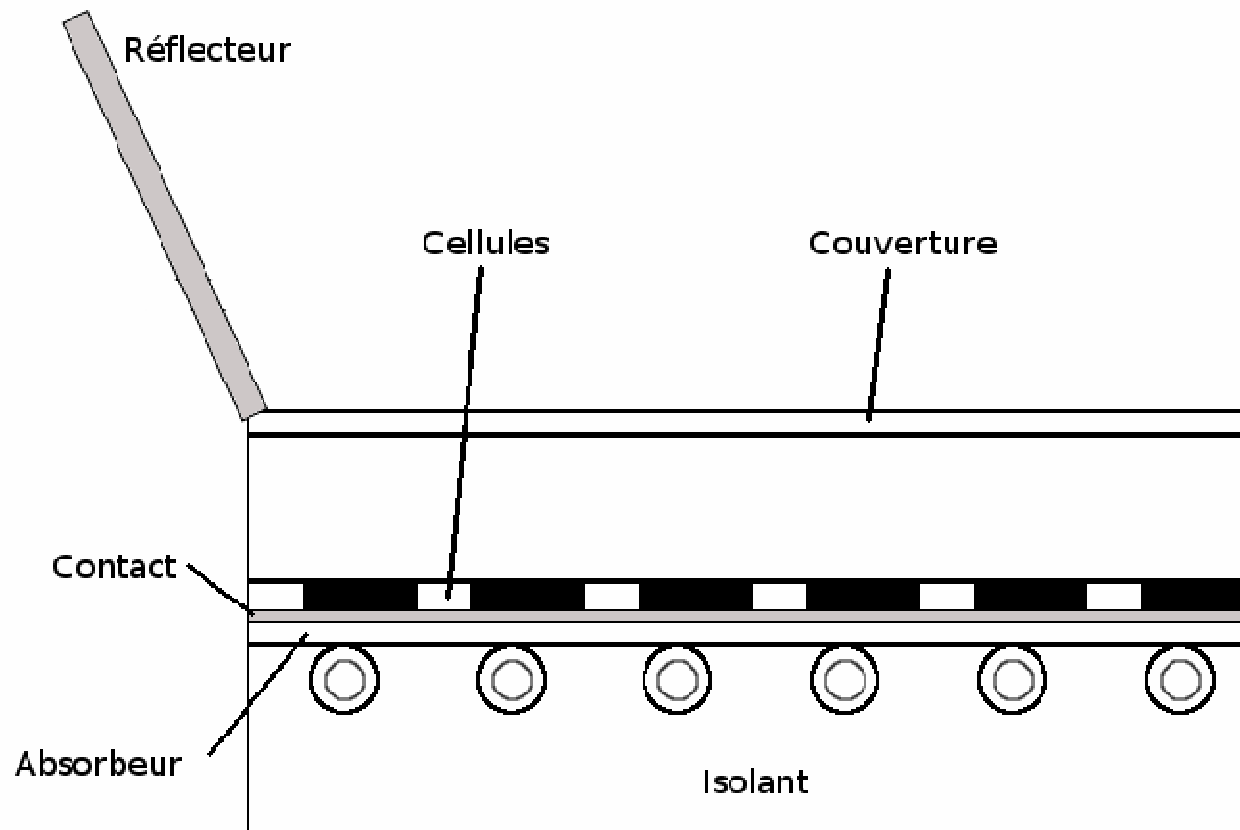
- **Partenaires :**
  - **INES/CEA**
  - **SUN LAND 21**
  - **CSTB**
  - **CETHIL**
- **Début du projet : 01/01/06**
- **Durée : 24 mois**
- **Budget Total : 205 750 €**
- **Labellisation/Pôle : non**

**S  
U  
N  
L  
A  
N  
D  
2  
1**

# Position du problème

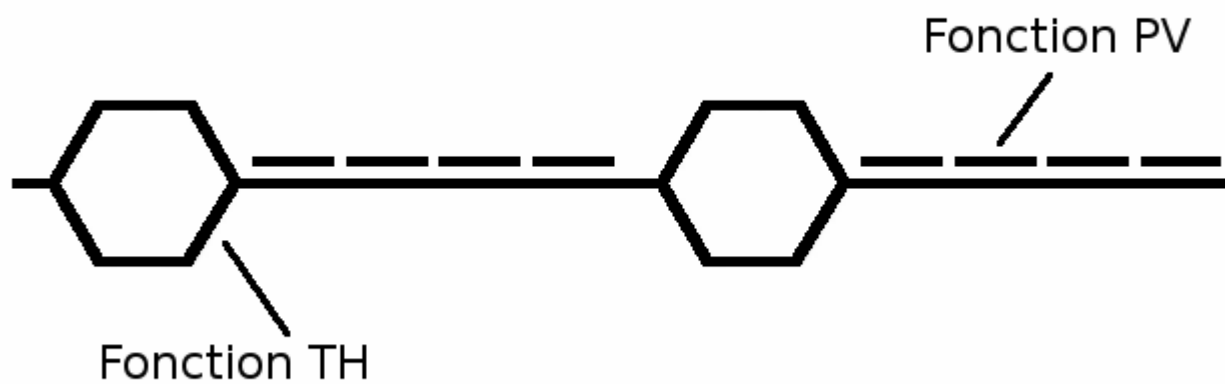


- **Superposition des Fonctions PV - TH**





- ***Juxtaposition des fonctions PV-TH***



# TOIT PV TH



## **1) Objectif de l'étude exploratoire:**

***Valider l'intérêt d'un concept d'Hybride PV TH  
« moyennes températures » caractérisé par :***

- ***L'utilisation de cellules en c-Si***
- ***Des zones de production électrique non confinées par un verre optique***
- ***Une indépendance thermique des zones PV et TH garantissant le vieillissement des cellules c-Si***
- ***L'intégration à des panneaux métalliques nervurés autoporteurs de grand format, refroidis par convection naturelle en sous face***
- ***L'absence de surchauffe des cellules c-Si en régime de stagnation du capteur PV TH***
- ***L'utilisation de kits thermiques amovibles***



## **2) Défis scientifiques et techniques:**

- ***Outils de modélisation adaptés aux multicouches thermo électriques en régime transitoire***
- ***Panneaux composites PV-Th intégrables en grand format ( 2 à 9 m )***
- ***Techno d'assemblage en continu sur substrat métallique, process flexible***

# TOIT PV TH



## 3 ) Résultats majeurs attendus :

- **Offre architecturale, qualité d'intégration ( profils, coloris, formats, etc...)**
- **Rendement énergétique global, taux de couverture des besoins sur différents types de bâtiments**
- **Réduction importante de coût vis-à-vis des systèmes PV TH « superposés »**

## 4) Retombées escomptées :

- **Produits BIPV compétitifs = marché de masse (Fr / Export)**
- **Modules de calcul intégrables sous TRNSYS**
- **Evolution vers des composants d'enveloppes multifonctionnels prêts à poser, à maintenance simplifiée**

# TOIT PV TH



## **5 ) Programme de l'étude exploratoire / 2 phases :**

### **Phase 1 :**

- ***Modélisation simplifiée en régime stationnaire***
- ***Modélisation thermo électrique détaillée / Intégration TRNSYS***
- ***Marché accessible au PV TH : segmentation***
- ***Bilan exergétique du composant de toiture Hybride PV TH sur trois bâtiments « cibles »***

### **Phase 2 :**

- ***Etude pré technologique / Performances sur maquette***
- ***Viabilité économique du concept***

# TOIT PV TH



## 6 ) Principaux résultats / Faits marquants:

### - Phase 1 :

- *Modélisation détaillée*
- *Etude de marché*

S  
U  
N  
  
L  
A  
N  
D  
  
2  
1

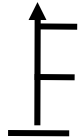
P  
H  
E  
N  
O  
M  
E  
N  
E

# Modélisation ECHELLE Composant & Intégration

Stratégie de Gestion

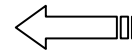
Optimisation  
performance

PV/T intégrés

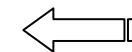


C  
O  
M  
P  
O  
S  
A  
N  
T

Bâtiment



Système



Phénomène  
physique

S  
U  
N  
  
L  
A  
N  
D

- Etendue spatiale importante

- Phénomènes complexes
- Phénomènes inter-dépendants
- Nombreux paramètres
- Nombreuses variables

Approche macroscopique nécessaire :

Niveaux modélisation cohérents <sup>2</sup>

+ Expérimentations graduelles <sup>1</sup>

I  
N  
T  
E  
G  
R  
A  
T  
I  
O  
N

# APPROCHE ADOPTEE

P H E N O M E N E



C O M P O S A N T

- **EXP. SUR LONGUE PERIODE CLIMATIQUE**  
Corrélations entre état thermique, électrique et conditions climatiques



I N T E G R A T I O N

- **MODELISATION EN CONFIGURATION D'INTEGRATION :**
  - Evaluation de la couverture des besoins
  - Stratégies de contrôle/couplage syst.

● **MODELISATION**

S



Evaluation performances

U

● **PROTOTYPE**

N



Expérimentation

(semi-)controlées

L



● **CONFRONTATION**

I

INTEGRATION

COMPOSANT

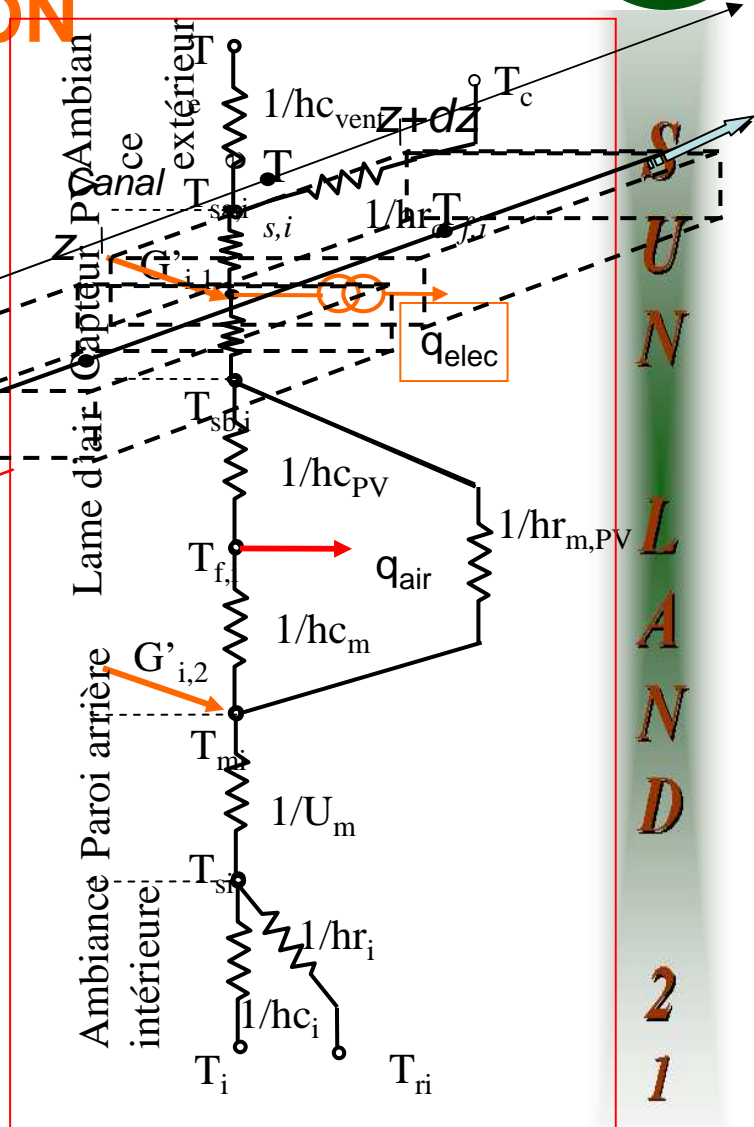
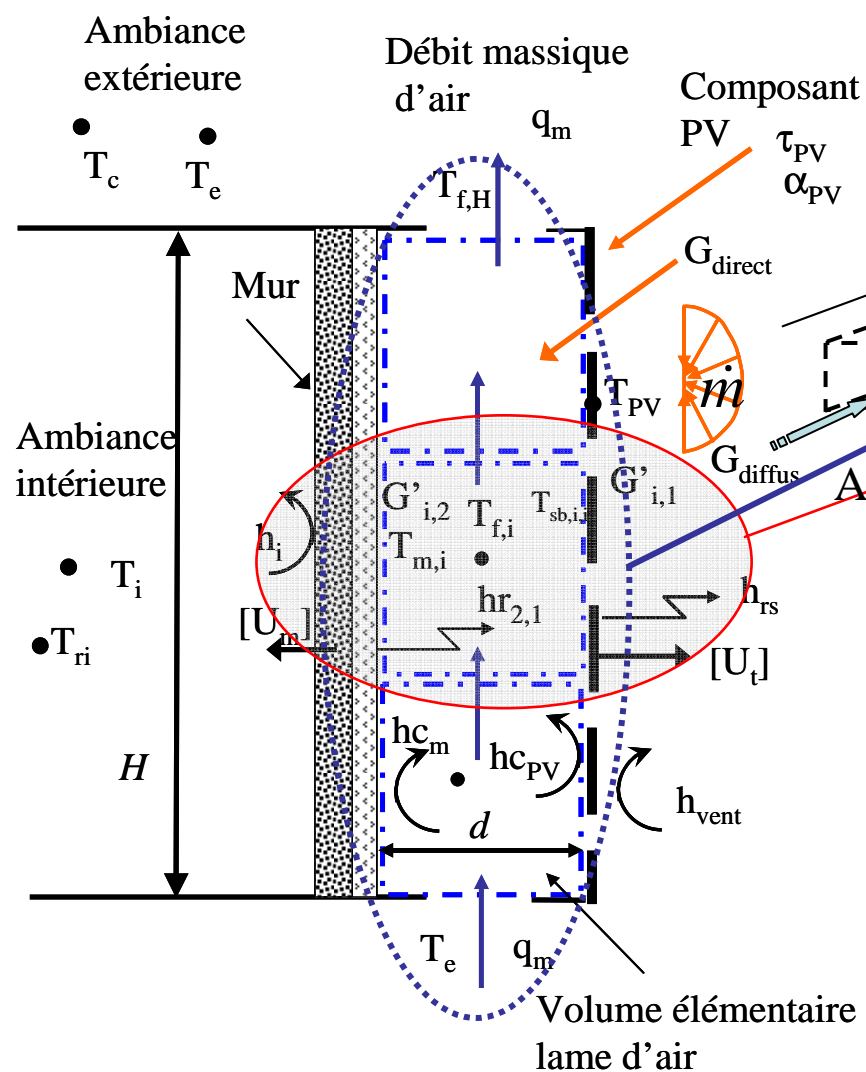


PHENOMENE

COMPONENT

INTEGRATION

# MODELISATION

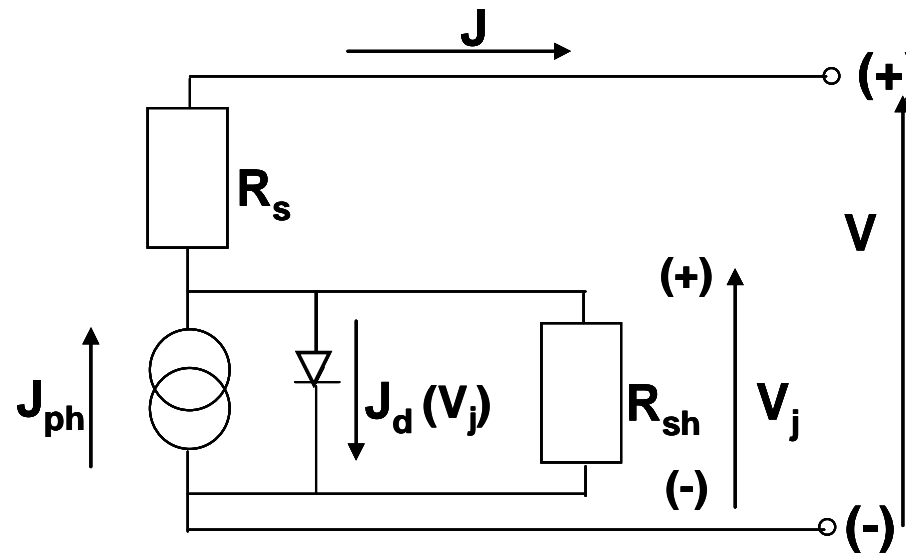


SUNLAND 21

## Traitement thermique et dynamique

# MODELISATION

Cellule PV = Générateur de courant + diode montée en parallèle



$$J = J_{\text{photogénéré}} - J_{\text{diode}} - J_{\text{shunt}}$$

$$J = J_{ph} - J_0 \left( \exp \frac{q(V + R_s J)}{nkT_{PVR}} - 1 \right) - \frac{V + R_s J}{R_{sh}}$$

## Photoconversion

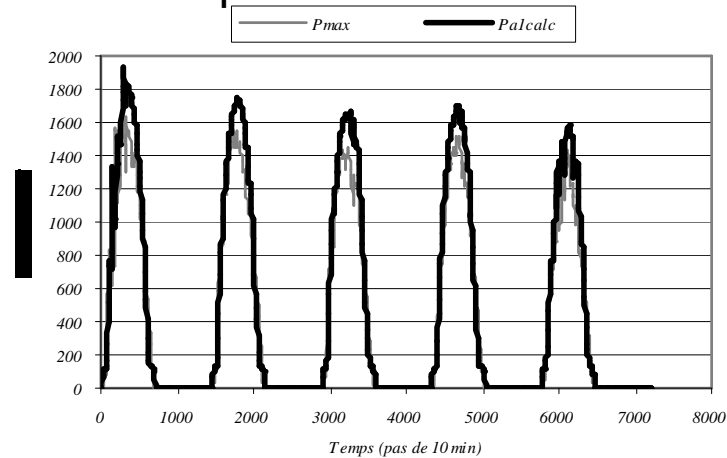
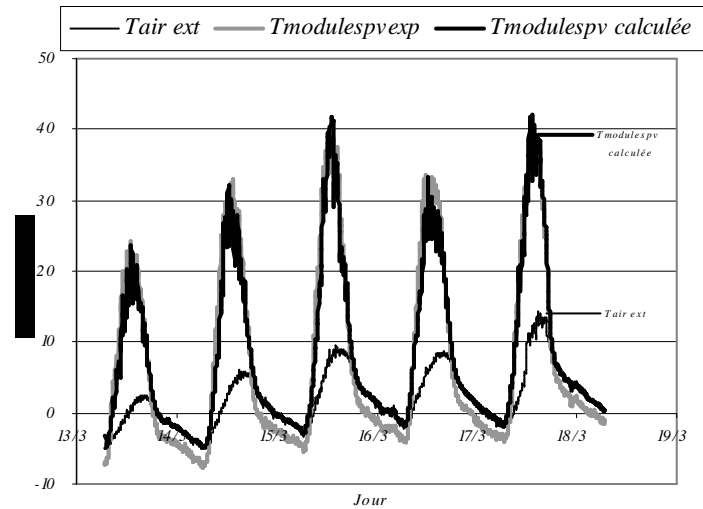
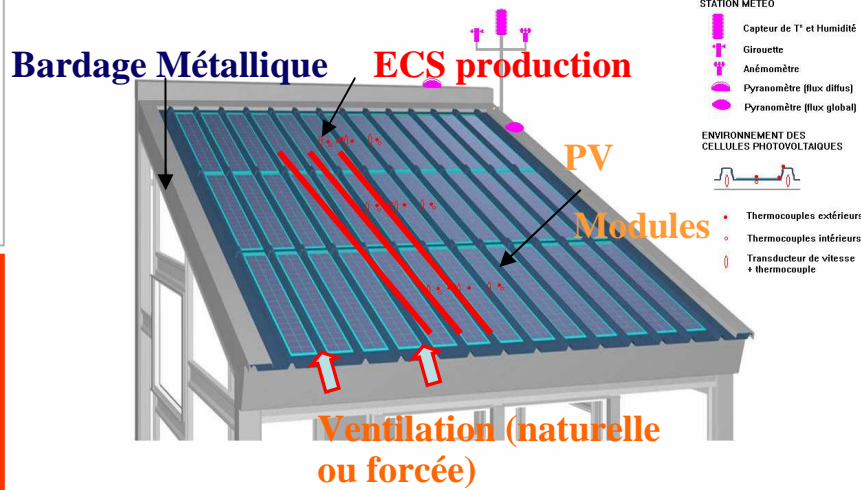


# Composant à fonctions superposées et juxtaposées

PHENOMENE

COMPOSANT

INTEGRATION



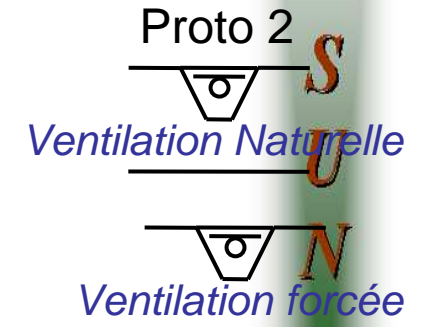
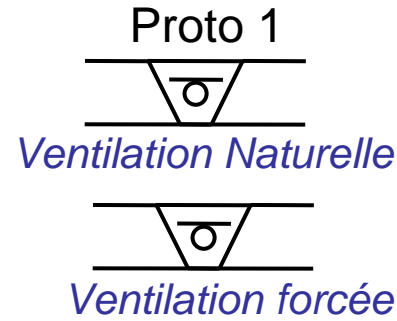
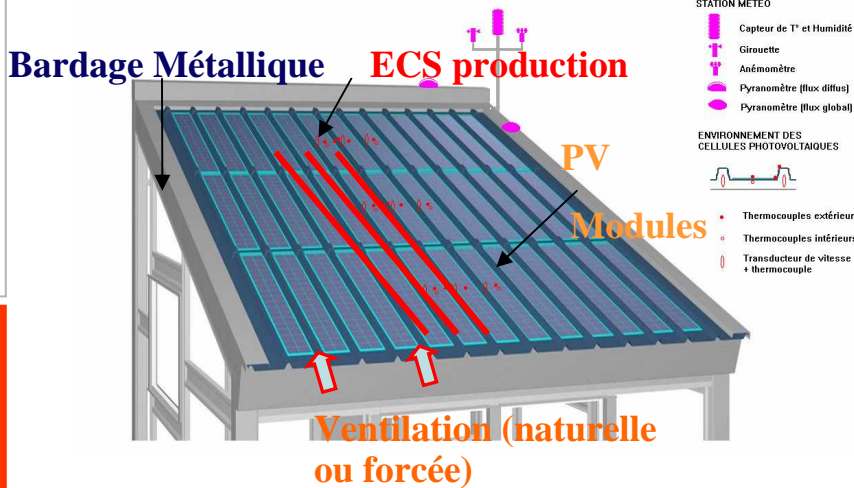
SUNLAND 21

# VALORISATION ENERGETIQUE

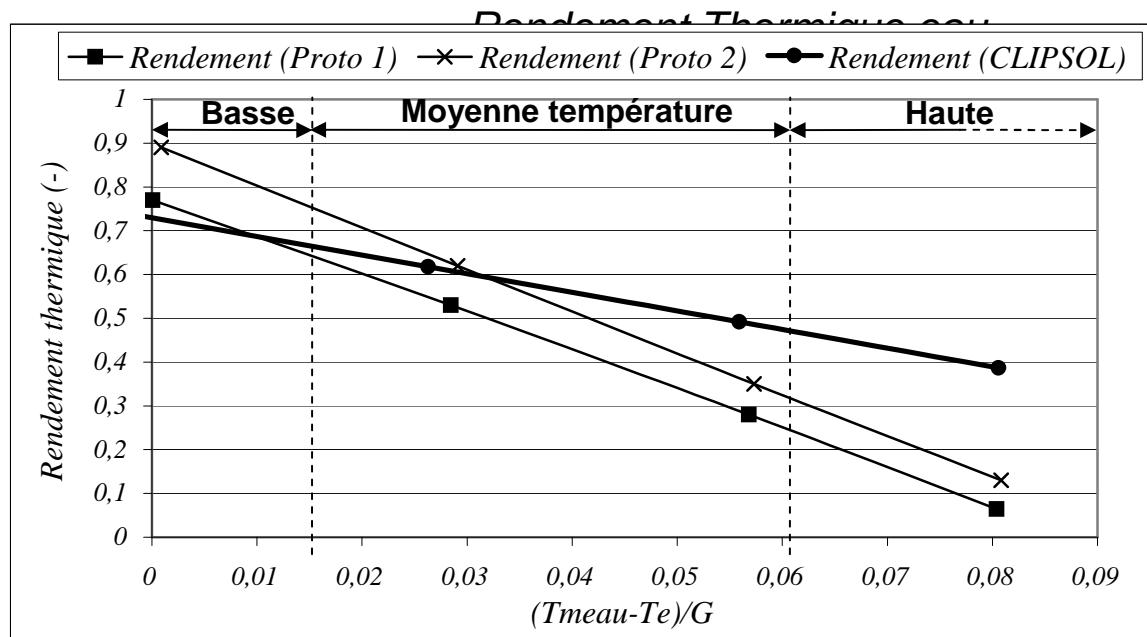
PHENOMENE

COMPOSANT

INTEGRATION



⇒ *Brique logiciel modulaire*



*Confrontation exp. Kit E.C.*

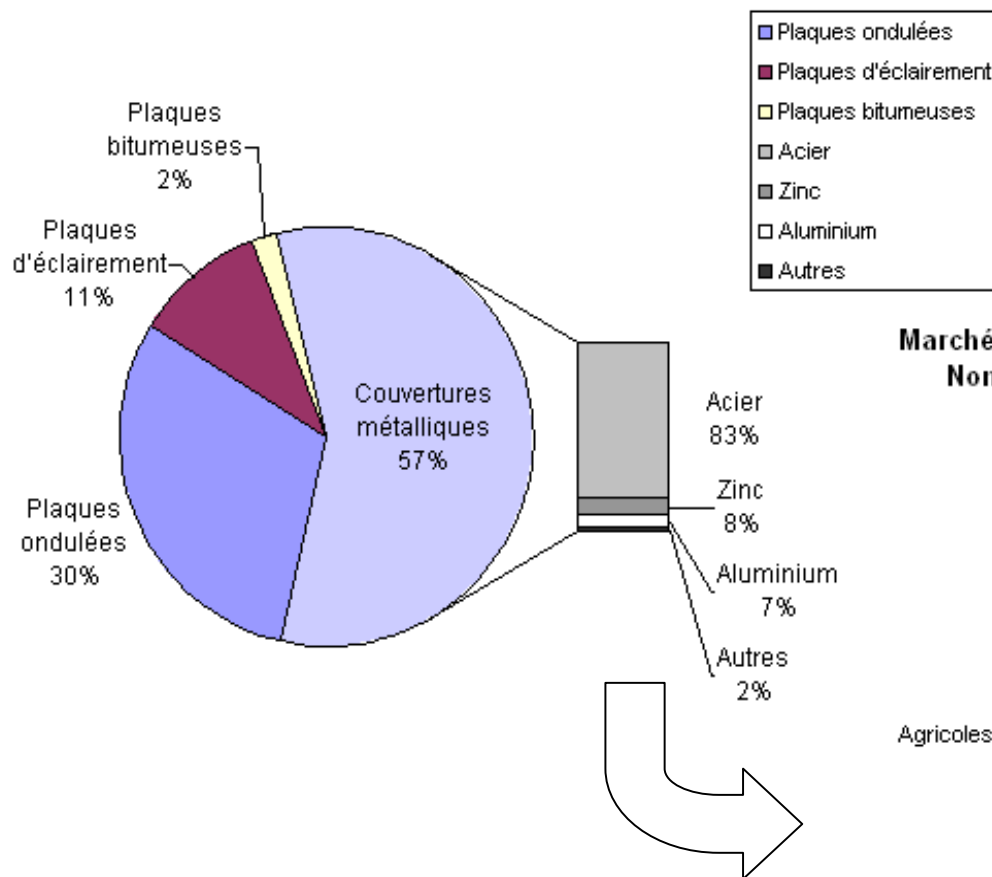
L  
A  
N  
D  
  
2  
1

## Le marché des éléments de couverture

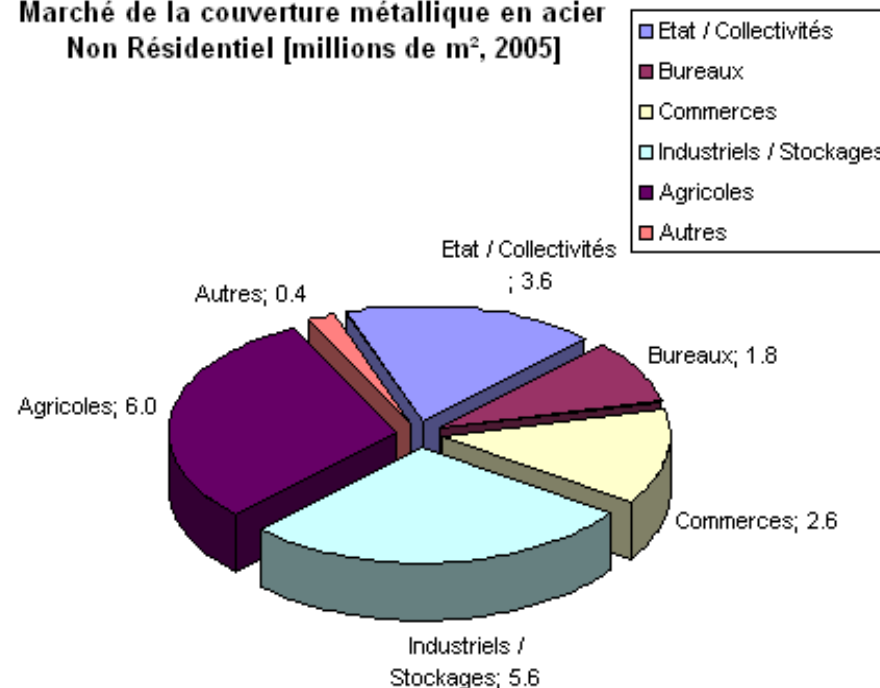


En 2006, le marché français des matériaux de couverture de toits s'établissait par type de matériau, de la manière suivante, pour un volume total de 147.8 millions de m<sup>2</sup> installés

		Mm <sup>2</sup>
<b>PETITS ELEMENTS (53%)</b>		<b>79.5</b>
	Tuiles en terre cuite	56.2
	Tuiles en béton	5.5
	Tuiles métalliques	0.5
	Ardoises naturelles	11.4
	Ardoises en fibres ciment	4.4
	Bardeaux bitumeux	1.5
<b>GRANDS ELEMENTS (32%)</b>		<b>45.7</b>
	<b>Couverture métallique (19%)</b>	<b>27.9</b>
	Plaques ondulées	12.6
	Plaques d'éclairage	4.4
	Plaques bitumeuses	0.8
<b>ETANCHEITE TOITURE (15%)</b>		<b>22.6</b>
	Asphalte	1.7
	Membranes bitumineuses	16.8
	Membranes synthétiques	3.7
	SEL	0.4



**Marché de la couverture métallique en acier Non Résidentiel [millions de m<sup>2</sup>, 2005]**



Les couvertures métalliques sont principalement destinées

(hors agricole – 6.0 Millions de m<sup>2</sup> en 2006) :

- aux bâtiments industriels et de stockage (5.6 Millions de m<sup>2</sup> en 2006),
- aux commerces (2.6 Millions de m<sup>2</sup> en 2006),
- et aux bureaux (1.8 Millions de m<sup>2</sup> en 2006),



Plusieurs facteurs affectent le marché des matériaux de couverture de toits en France, à savoir :

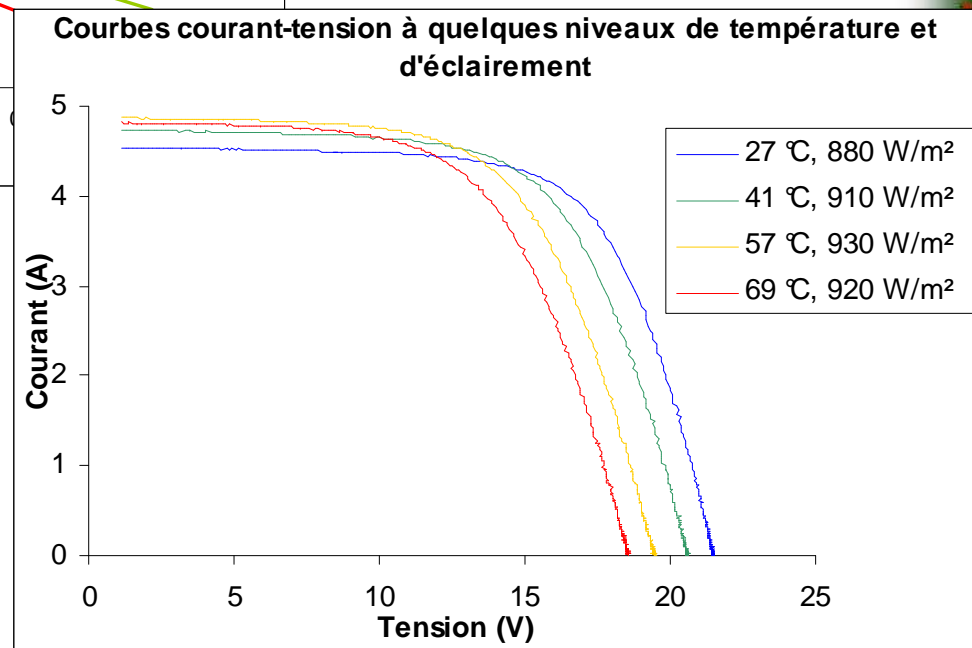
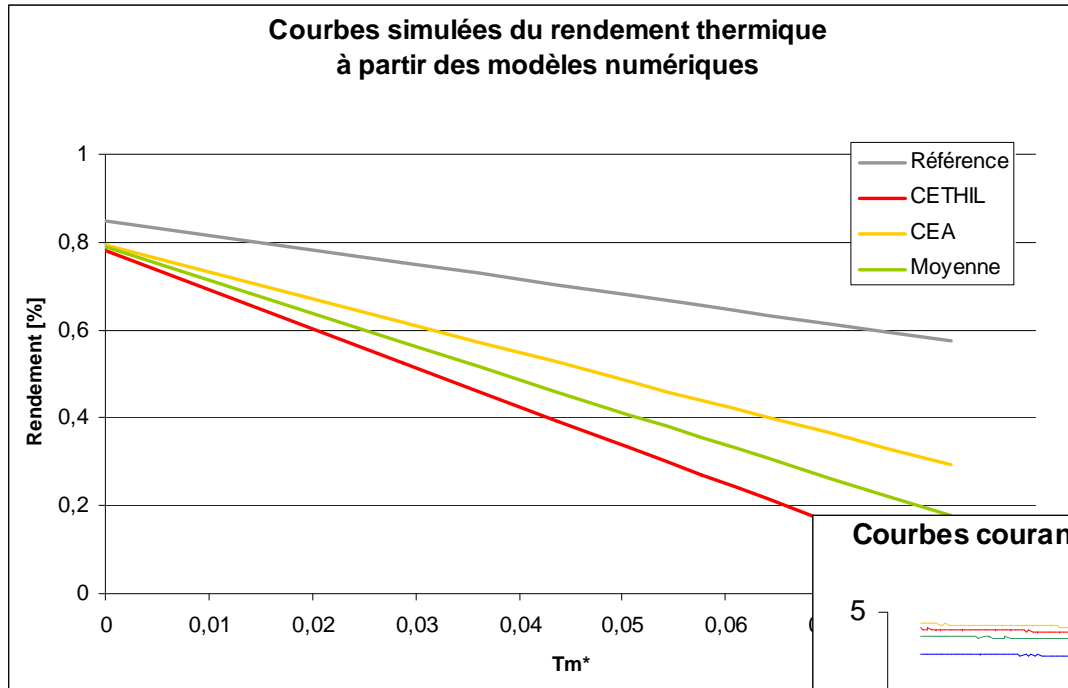
- la **conjoncture économique** (niveau des taux d'intérêt),
- l'**activité de construction** neuve et d'entretien-rénovation (dépend des investissements privés, de la situation budgétaire des autorités locales et leur volonté à subventionner des constructions publiques, des systèmes fiscaux mis en place par le gouvernement comme la TVA à 5,5% )
- les **normes et la législation** (la réglementation interdisant l'utilisation de l'amiante dans la couverture des bâtiments décret n°96-97 du 7 février 1996 renforcé le 13 septembre 2001, le plan de modernisation des bâtiments d'élevage depuis Janvier 2005)
- les **tendances architecturales** (traditions architecturales, exigences des ABF en matière de politique du patrimoine), et les **caractéristiques régionales** (spécificités en termes de conditions climatiques : montagne ou plaine, proximité d'une carrière...),
- les **catastrophes naturelles** (tempête 1999 : toitures en petits éléments ont moins soufferts que les toitures en grands éléments – arrachement),
- le **coût des matériaux et de la pose** (coût de fabrication de l'acier, l'aluminium, le cuivre, le plastique, le plomb et le zinc, lié au cours du pétrole brut, ont vu leurs cours progresser fortement)
- les **innovations** (meilleures performances en terme de longévité, d'esthétique, de facilité de pose, et d'entretien)

S  
U  
N  
L  
A  
N  
D  
2  
1

# Caractéristiques thermique et photovoltaïque du « bac acier solaire PV-TH »



S  
U  
N

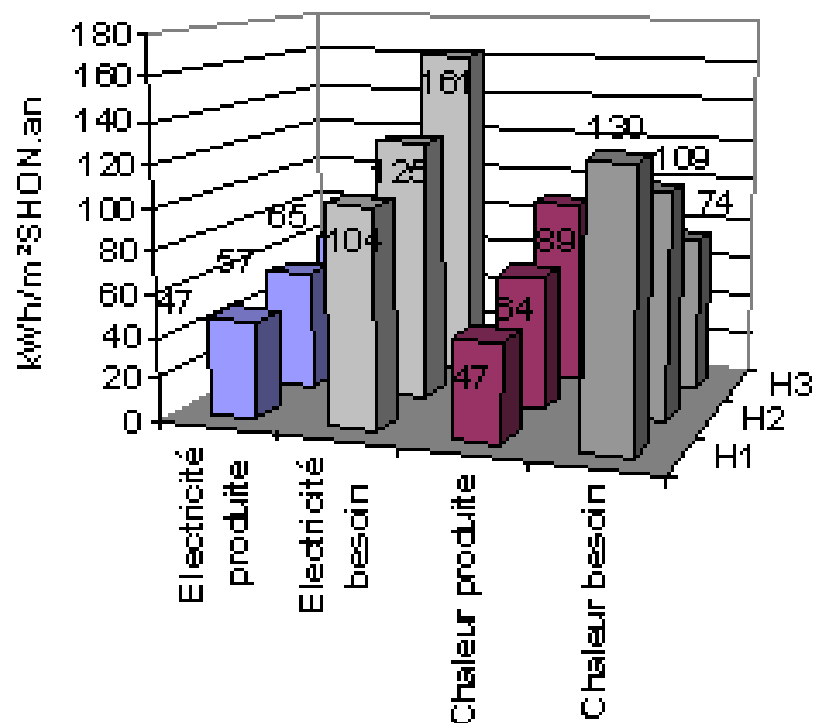




# Projection de la toiture « bac acier solaire PV-TH » sur le marché



Exemple sur les Bâtiments de Commerce  
 Surface de vente de 2500 m<sup>2</sup> (Type « Bricolage »),  
 Système constructif bac acier mur et toiture



Besoin électricité = clim. + bureautique + éclairage + ventilation  
 Besoin chaleur = ECS + Chauffage

Puissance PV installée : 189 kWc  
 Surface Solaire Thermique : 490 m<sup>2</sup>

H1	Productible kWh/an	Taux couverture %
Photovoltaïque	116660	45,0
Thermique	117724	36,1

S  
U  
N  
  
L  
A  
N  
  
D  
  
2  
1



## TOIT PV TH

- **Phase 2:**
  - ***Définition d'un kit thermique linéaire, flexible, insérable en usine ou in situ.***
  - ***Mode d'assemblage rapide sur les panneaux nervurés support, autorisant :***
    - ***l'accès par l'extérieur***
    - ***la libre dilatation sur le support acier encastré***
- ***Viabilité économique du kit thermique***

S

U

N

L

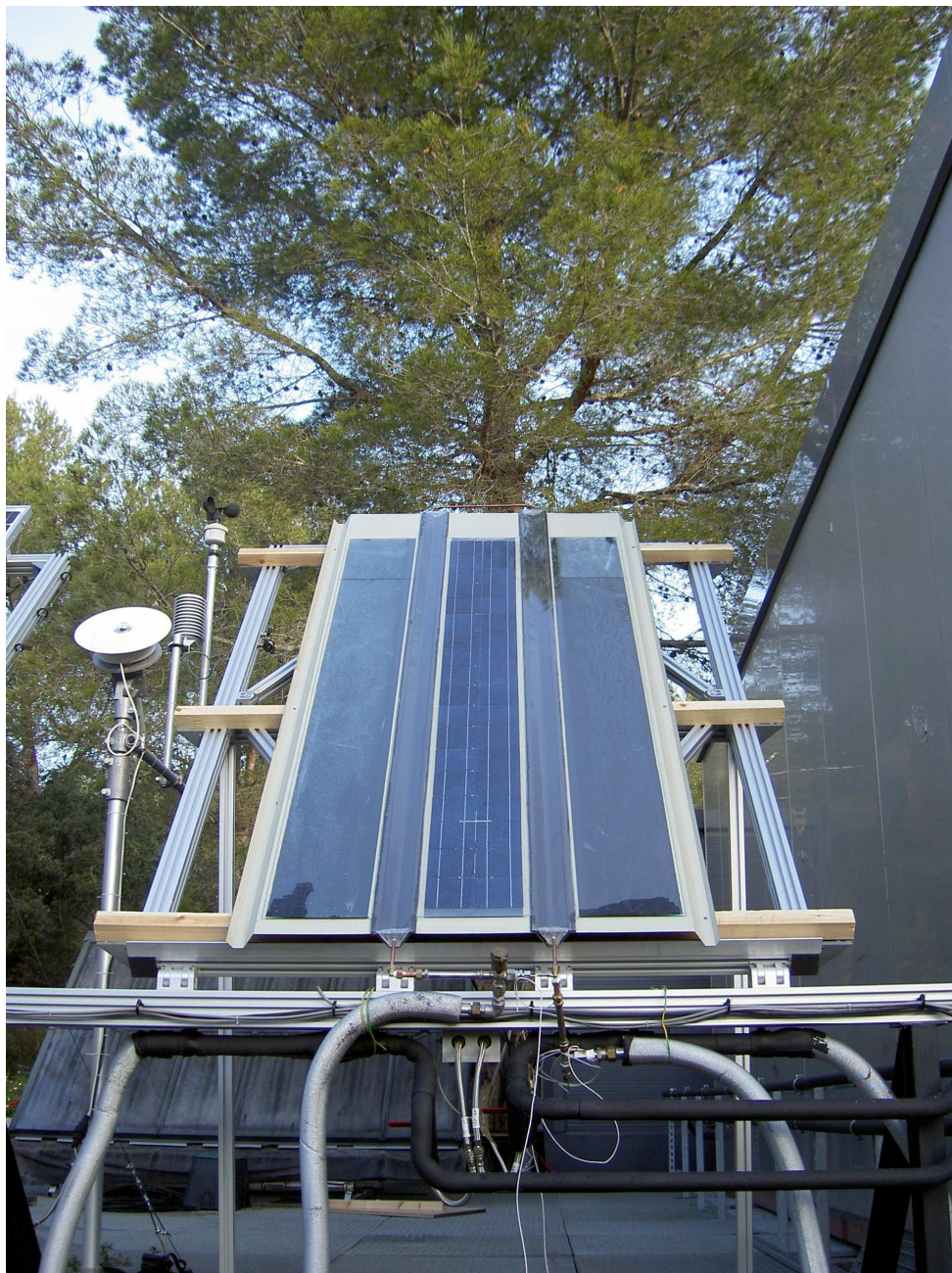
A

N

D

2

1



S  
U  
N  
L  
A  
N  
D

2  
1

# TOIT PV TH



## 7 ) Conclusions:

- *Module de calcul dynamique par analogie électrique disponible*
- *Forte Sensibilité du capteur Th aux ponts thermiques le long des kits linéaires*
- *Précision du modèle dynamique à affiner à partir des premières mesures réalisées sur prototype.*
- *Campagne de mesure poursuivie au CSTB pour consolider les températures limites atteintes dans la zone de raccordement aux panneaux acier ( ponts thermiques )*
- *Viabilité économique du panneau PV Th pilotée par un composant sensible du kit thermique.*