

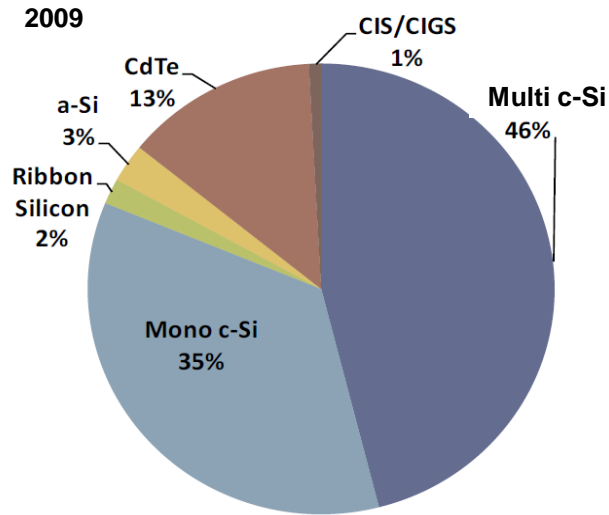
# **Photovoltaïque : du matériau à la cellule**

**Daniel MATHIOT**

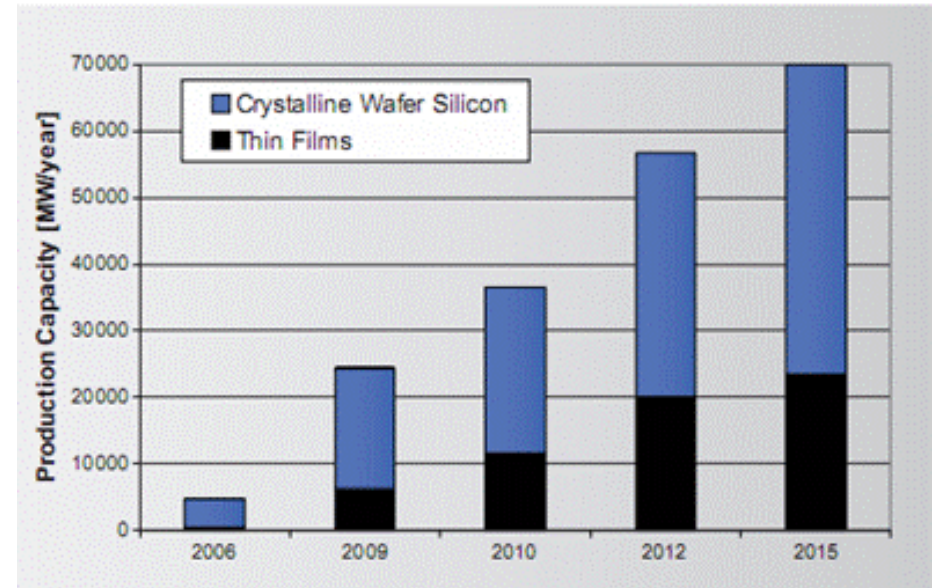
**Institut d'Électronique du Solide et des Systèmes**  
*(Université de Strasbourg et CNRS)*

## L'électricité Photovoltaïque

Aujourd'hui



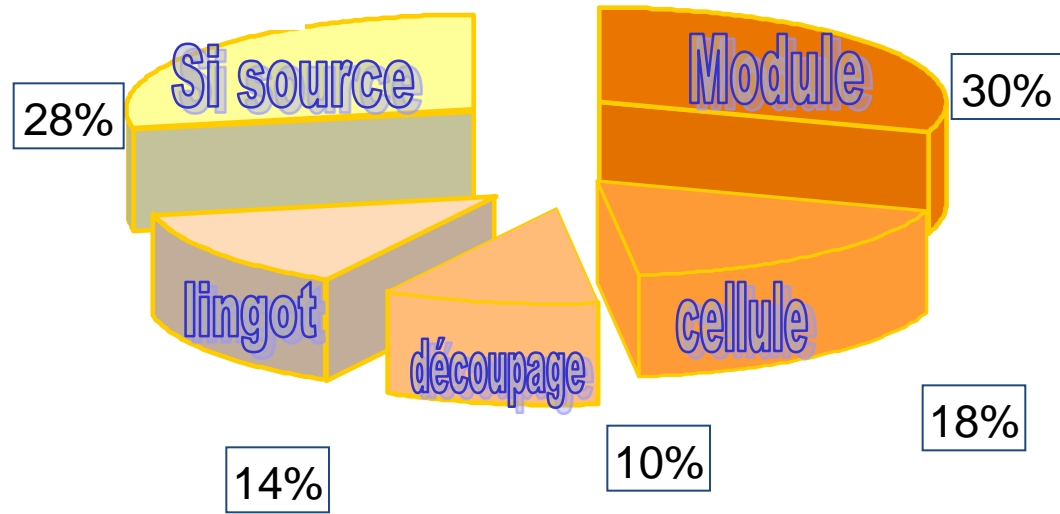
Demain



- ✓ en 2010: ~15.500 MW produits
- ✓ Industrie PV: ~ 10 Milliards Euros; ~ 60.000 emplois
- ✓ Modules à base de Silicium cristallin à ~83%
- ✓ en 2015: capacité ~70 GW → Si cristallin mince + films ultraminesces (Si, CIGS, CdTe, Organique)

**Problème de la filière conventionnel Si:**

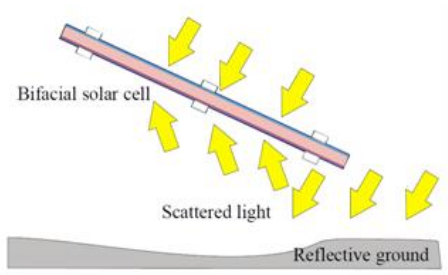
**Coût des plaquettes Silicium cristallin**  
 (e >150µm, 156\*156 mm<sup>2</sup>)  
 (52 % du coût total)



**Alternatives:**

- \* Ruban de Si par croissance directe dans un liquide (plaquette ultramince < 80 µm; ruban 10-30 µm) → **filière unique**  
 → ANR-Rubansolaire; ANR-CASIMIR
- \* Réalisation de plaquettes fines (250 – 300 µm) par moulage  
 → ANR-MOSAIQUE
- \* Films Silicium ultramince (<5µm) sur substrats verre, métal)  
 → ANR-POLYSIVERRE ; FP7-HIGHEF; ANR-SILASOL

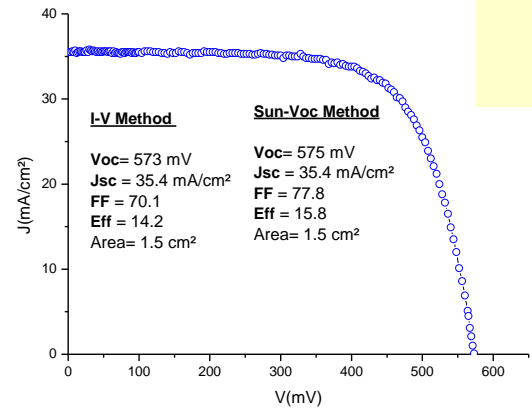
## Modules PV



## Production de rubans

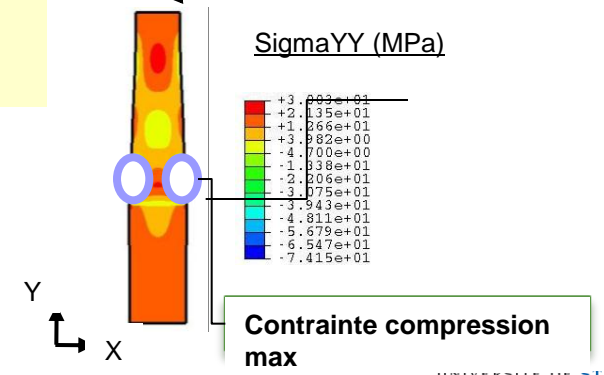


## Cellules PV



**ANR-Rubansolaire (p-Si)**  
**ANR-CASIMIR (n-Si)**

## Modélisations



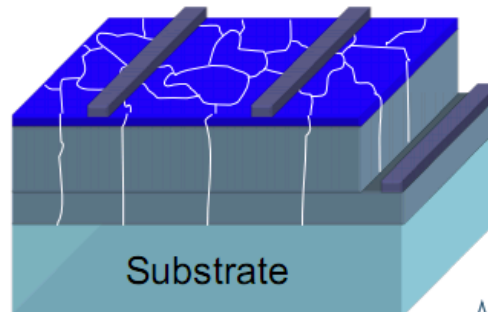
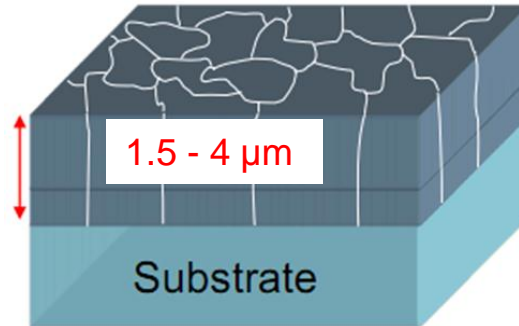
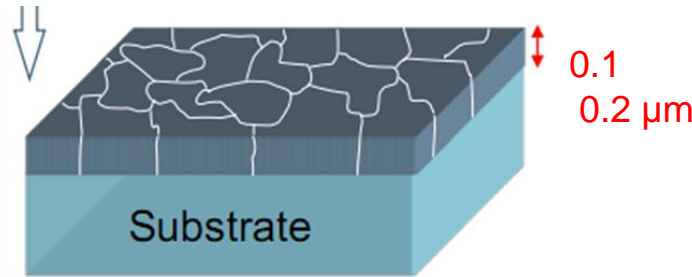
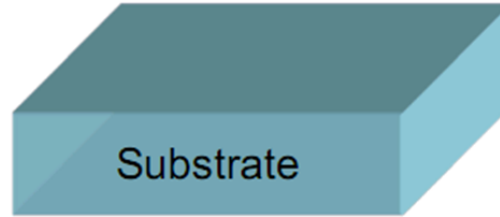
## ANR-POLYSIVERRE

Verre céramique  
(CORNING)

Cristallisation a-Si  
induite par métaux  
(InESS)

Couche active  
par Epitaxie Phase vapeur  
(InESS, INSA)

Cellules solaires  
(InESS, LPICM)  
**TOTAL**



## ANR-SILASOL

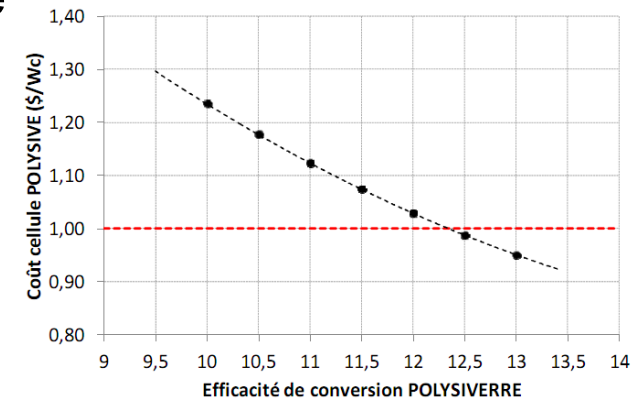
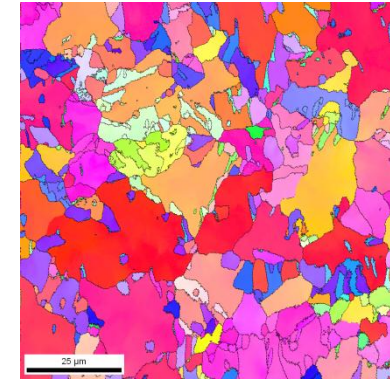
Feuille métallique  
(ARCELOR-MITAL)

Cristallisation a-Si  
induite par laser  
(InESS, Excicool)

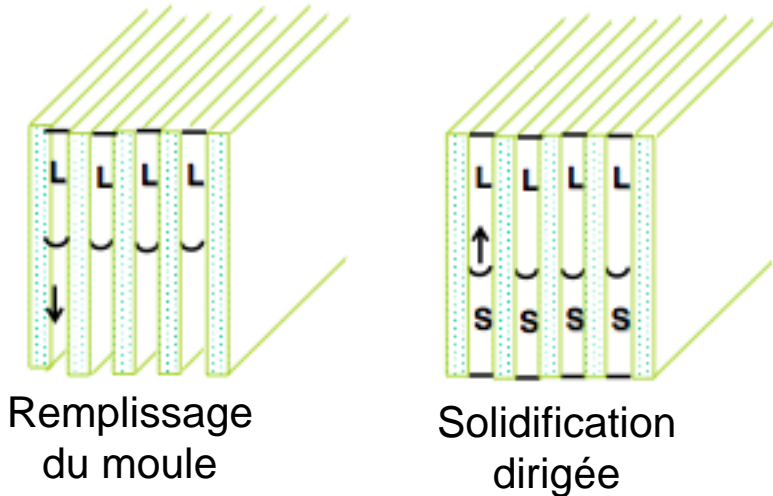
Couche active par  
Epitaxie Phase solide  
(InESS, IREPA)

Cellules solaires  
(InESS, INES)  
**SOPREMA**

- ✓ Brevet par **CORNING** pour développement de substrats adéquats compatible avec la technologie poly-Si
- ✓ Maitrise des procédés (**labos**) d'élaboration de films poly-Si (p ou n) très minces (5 $\mu$ m)
- ✓ Transferts de procédé vers Industrie (**EXCICO**, **CRITT-IREPA**)
- ✓ Compréhension (**labos**) des facteurs limitant les performances cellules dans matériaux à moyens grains
- ✓ Conception par **AET** de réacteurs prototypes de dépôt des films Si à grande vitesse / larges surfaces sur substrats divers
- ✓ Evaluation économique de la filière par **TOTAL** et **ARCELOR-MITAL**



## Représentation schématique du procédé



## ANR-MOSAIQUE

- ✓ Matériau du moule : **Carbone Lorraine Composants, CEA-LITEN**
- ✓ Revêtement : **CEA-LITEN, CLC**
- ✓ Cristallisation en plaquette : **SIMaP, CEA-LITEN**
- ✓ Qualification des plaques et optimisation par traitement thermique : **InESS, CEA-LITEN**
  - *Caractérisation des contaminations*
  - *Simulation*
- ✓ Moulage à l'échelle du procédé : **ECM Technologies**

- **Cellules en Silicium massif mince**
  - Emetteurs et BSF avancés
  - Passivation des surfaces
- **Cellules en silicium couches minces**
  - Nouveaux procédés d'élaboration des couches Si cristallin sur substrats souples
  - Management optique dans le Si ultramine
- **Nouveaux concepts pour le photovoltaïque**
  - Conversion photonique par luminescence
  - Structures Tandem en silicium
  - Structures à effet plasmonique

## ✓ Intérêt

- Technologies bas coûts
- Grandes surfaces
- Substrats souples



## ✓ Enjeux

- Rendements (encore) trop faible
- Stabilité

## ✓ Contexte scientifique

- Projets pluridisciplinaires
- Travail effectué en réseau ([www.mateohpv.fr](http://www.mateohpv.fr))

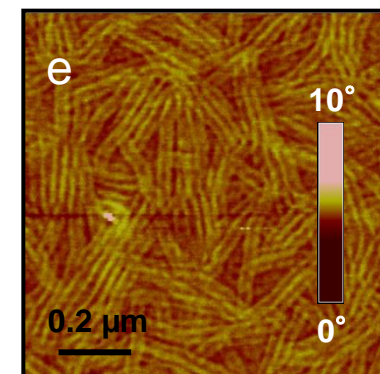
## ANR-SPIRWIND

### ✓ Partenaires :

- Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (Bordeaux), coordinateur
- Laboratoire de Chimie de Coordination (Toulouse)
- Institut de Chimie des Surfaces et Interfaces (Mulhouse)
- CEA-LITEN, (Chambéry)
- Arkema France
- Hutchinson

### ✓ Rôle InESS :

- Etudes morphologiques de la couche active (AFM).
- Transport de charge
- Elaboration et caractérisation de composants OPV.



## ANR-PICASSO

### ✓ Partenaires :

- Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg ,  
*coordinateur*
- Institut Charles Sadron, Strasbourg
- Laboratoire d'Ingénierie des polymères pour les Hautes technologies, Strasbourg

### ✓ Rôle InESS :

- Etude de la génération et du transport de charge
- Elaboration et caractérisation de composants OPV.

**Les recherches actuelles devraient permettre d'accroître la compétitivité de l'électricité d'origine photovoltaïque par une amélioration du compromis coût / rendement**

## ✓ Filière Silicium

- **Diminution du coût à rendement équivalent (*court terme*)**
  - **Économie de matière (films minces, etc...)**
  - **Utilisation de silicium "métallurgique"**
- **Augmentation du rendement à coût (environ) équivalent (*long terme*)**
  - **"3<sup>ème</sup> génération"**

## ✓ Filière organique