

Couches minces de silicium pour l'énergie solaire photovoltaïque: une réalité industrielle et un grand avenir

Pere Roca i Cabarrocas

Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces

CNRS, Ecole Polytechnique

pere.roca@polytechnique.edu

LPICM

Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces

interclima+elec

du 9 au 12 février 2010 Paris Porte de Versailles

1



Plan

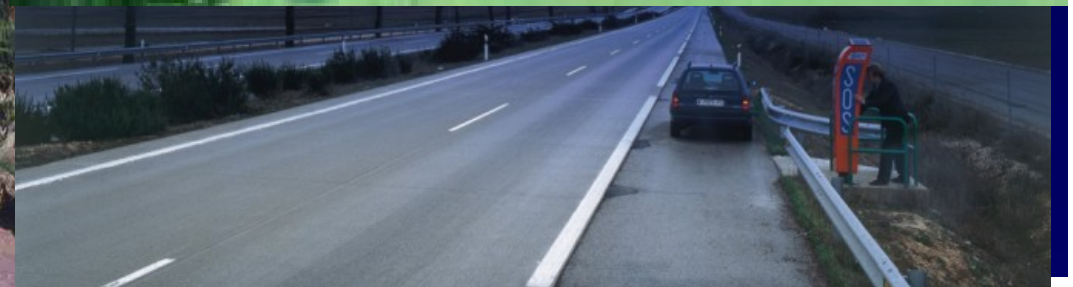
1. Contexte

2. Couches minces de Silicium

- Silicium amorphe
 - Silicium microcristallin
 - Nanofils de silicium
 - Couches épitaxiées
- } **Passé et Present**
- } **Avenir**

3. Bilan et perspectives

Les marchés du PV (1)



LPICM

Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces

interclima+elec

du 9 au 12 février 2010 Paris Porte de Versailles

3



Les marchés du PV (2)

Jerez de los Caballeros, 10 MW

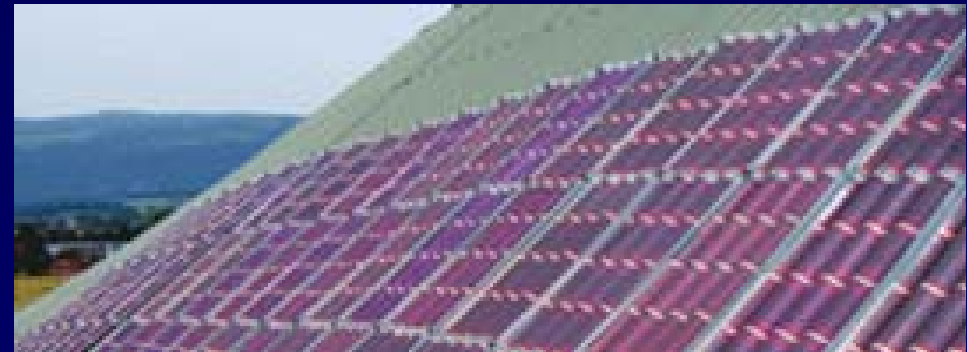


Les marchés du PV (2)

Moura (Portugal): 40 MW



Les marchés du PV (3)



LPICM

Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces

interclima+elec
du 9 au 12 février 2010 Paris Porte de Versailles

6



Les marchés du PV (3)

Centrale solaire de 12 MW sur le toit de l'usine de General Motors à Zaragoza



UniSolar

LPICM

Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces

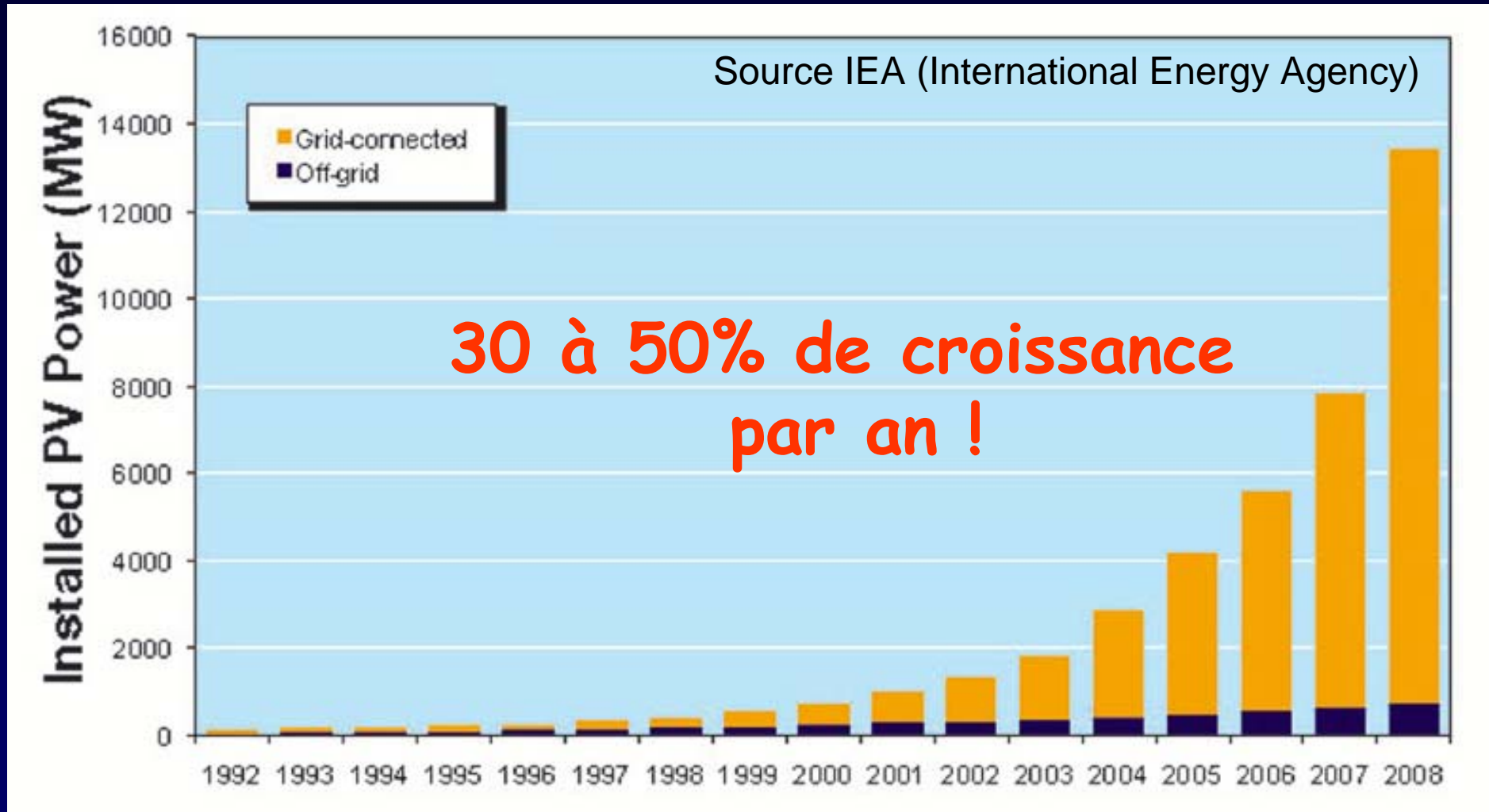
interclima+elec

du 9 au 12 février 2010 Paris Porte de Versailles

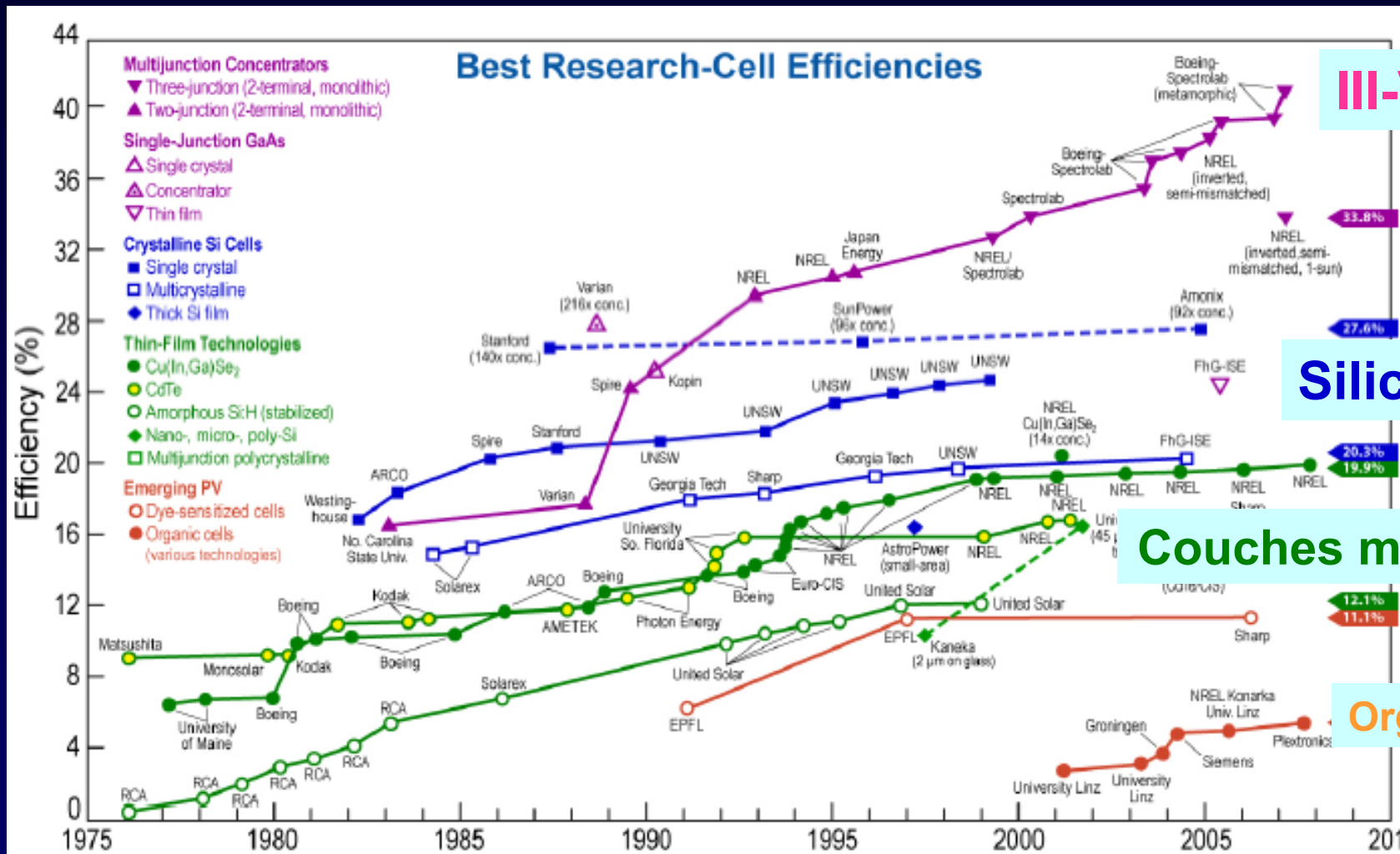
7



Le marché: puissance PV installée

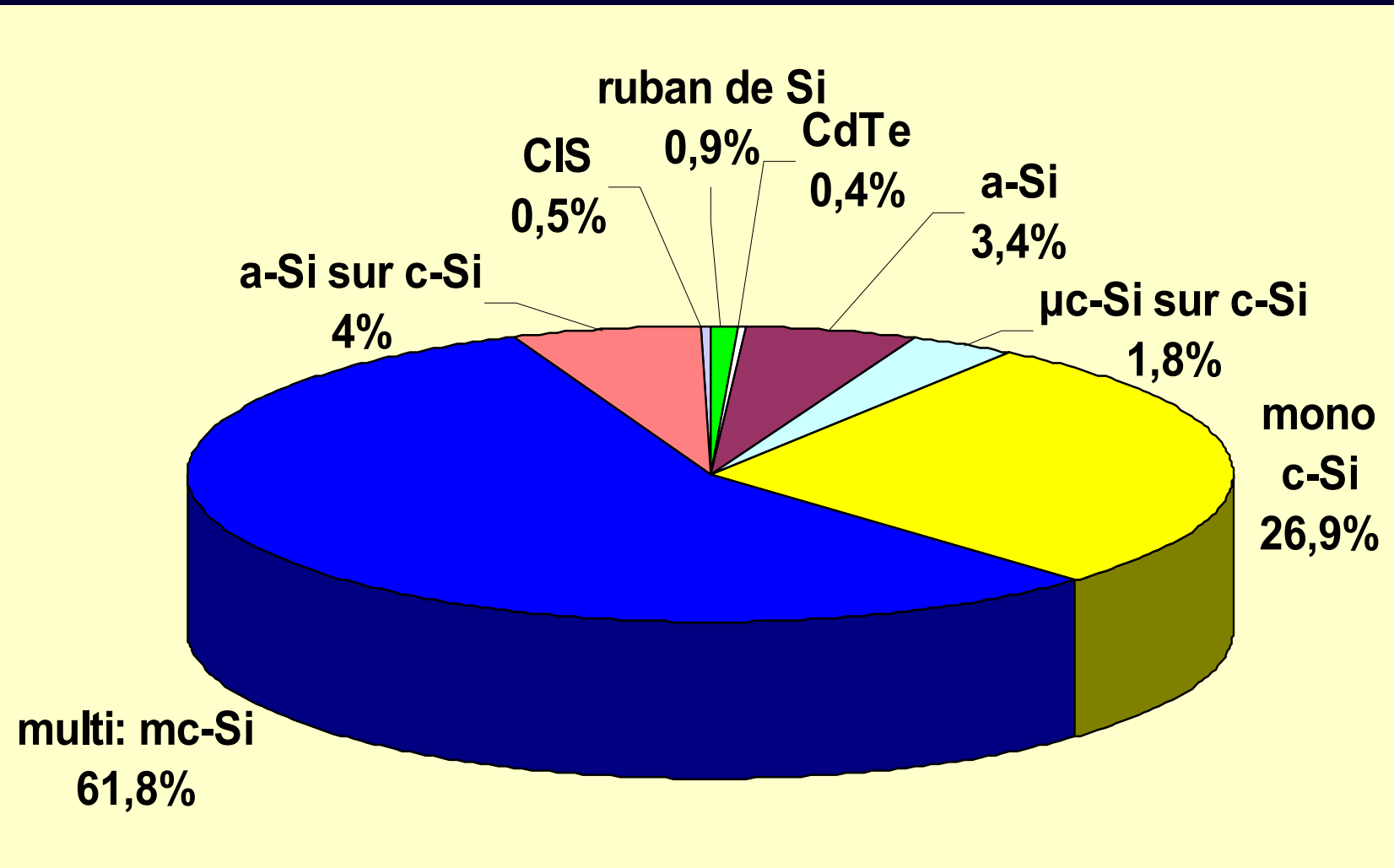


Le rendement par filière

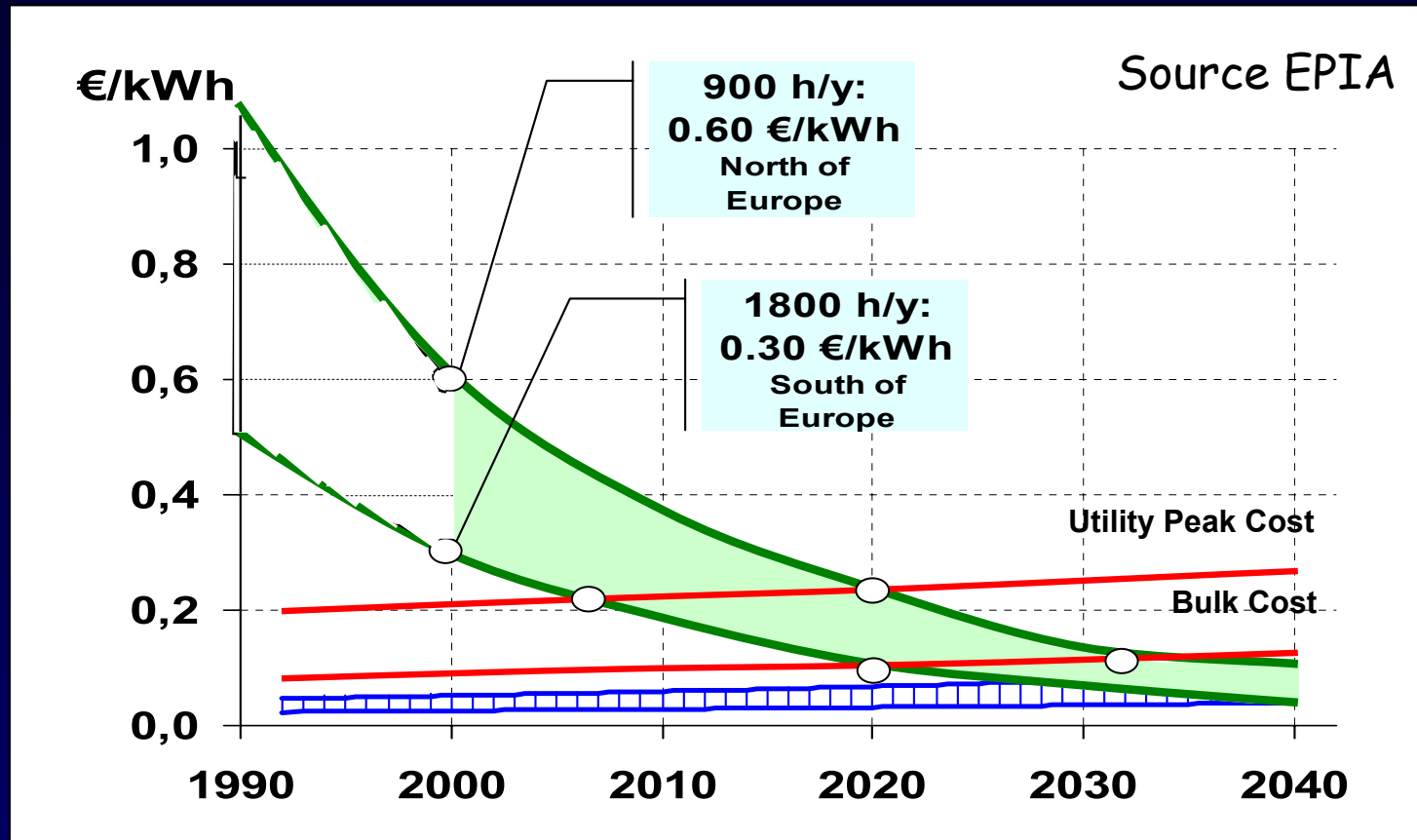


Source: Kazmerkski (2007, NREL, USA)

et le marché par filière



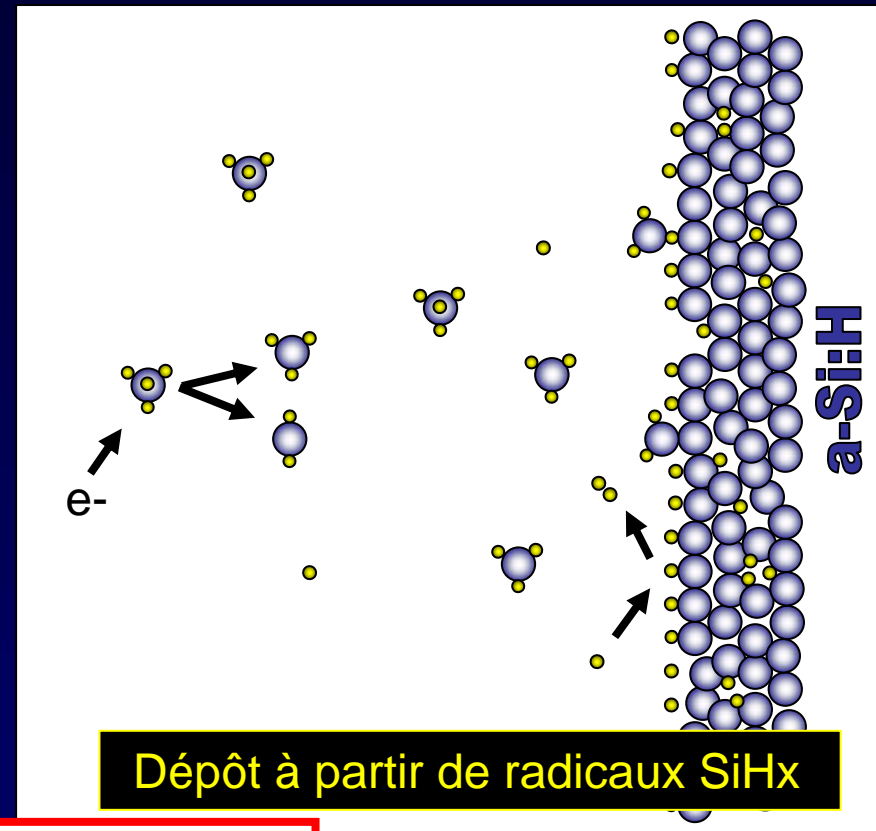
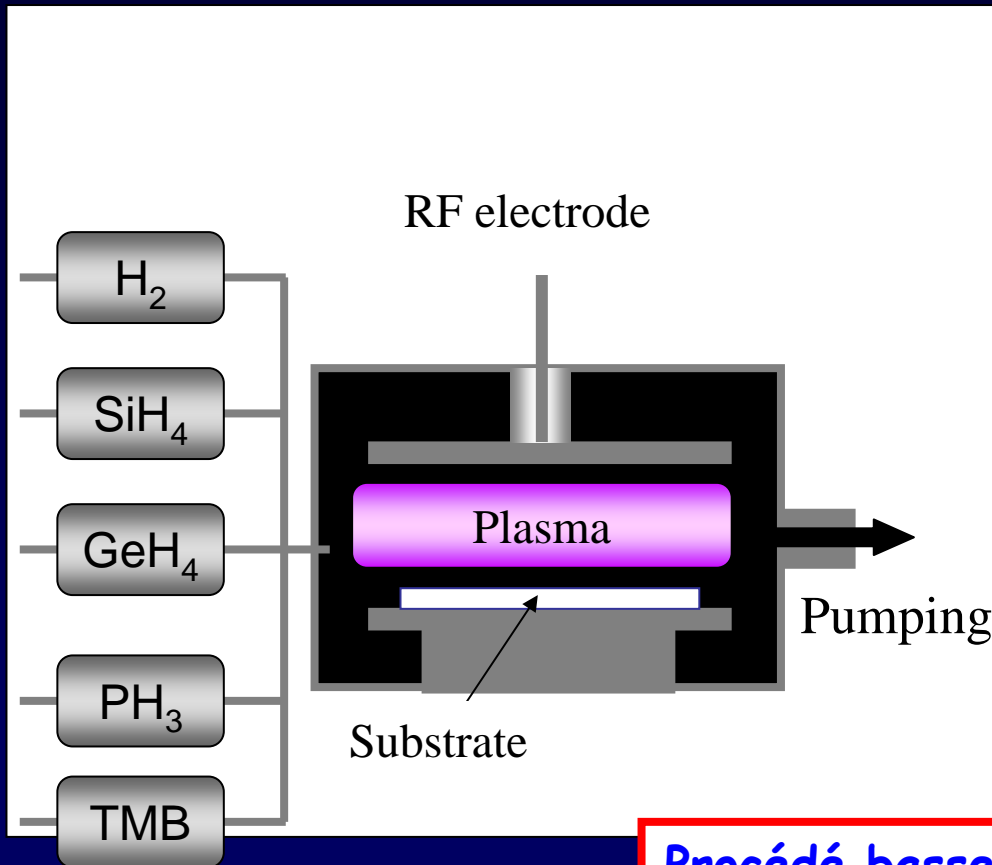
Mot d'ordre: réduire le coût (€/KWh)



Comment ? Augmenter la productivité
Augmenter le rendement

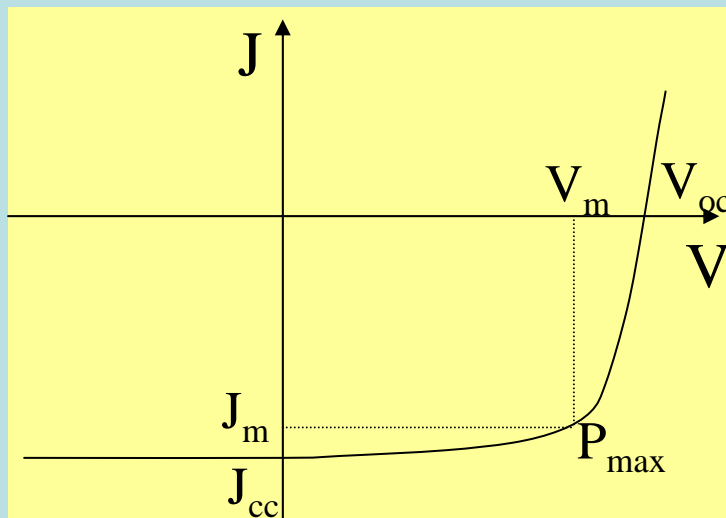
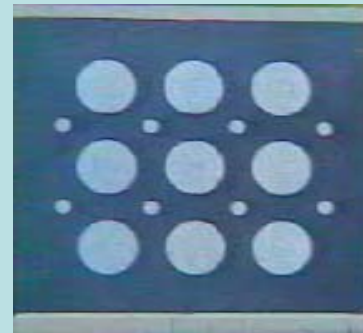
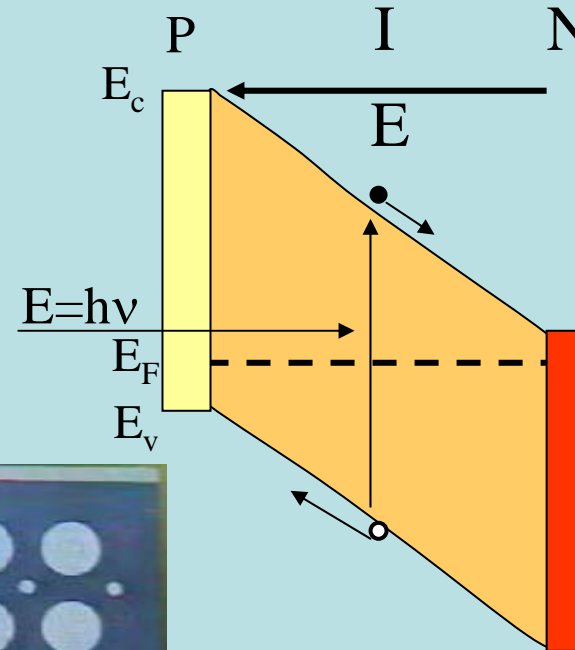
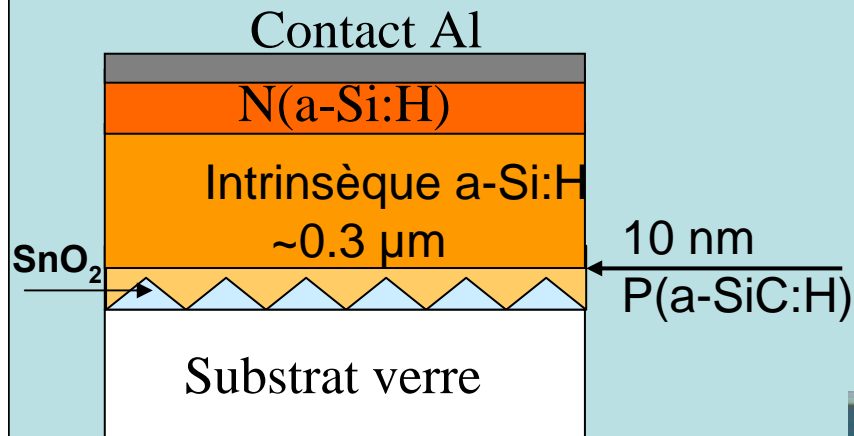
Silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H)

- Dépôt par plasma à basse température (~ 200 °C)



Procédé basse température
Grandes surfaces
Palette de matériaux large

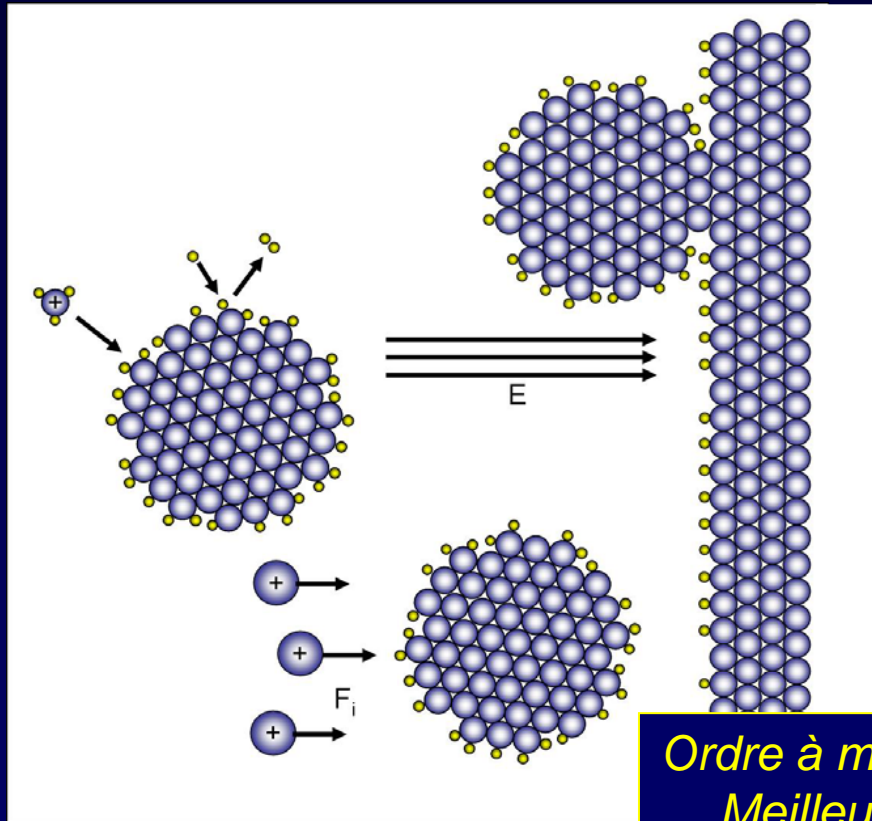
Comment fait-on une cellule solaire ?



$$\eta = \frac{J_m \cdot V_m}{P_{incident}} = \frac{FF \cdot J_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{incident}}$$

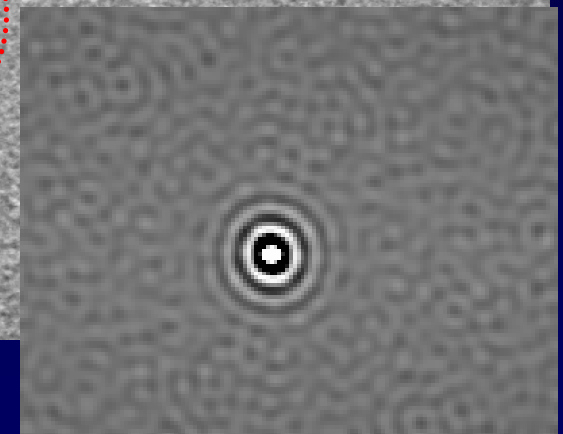
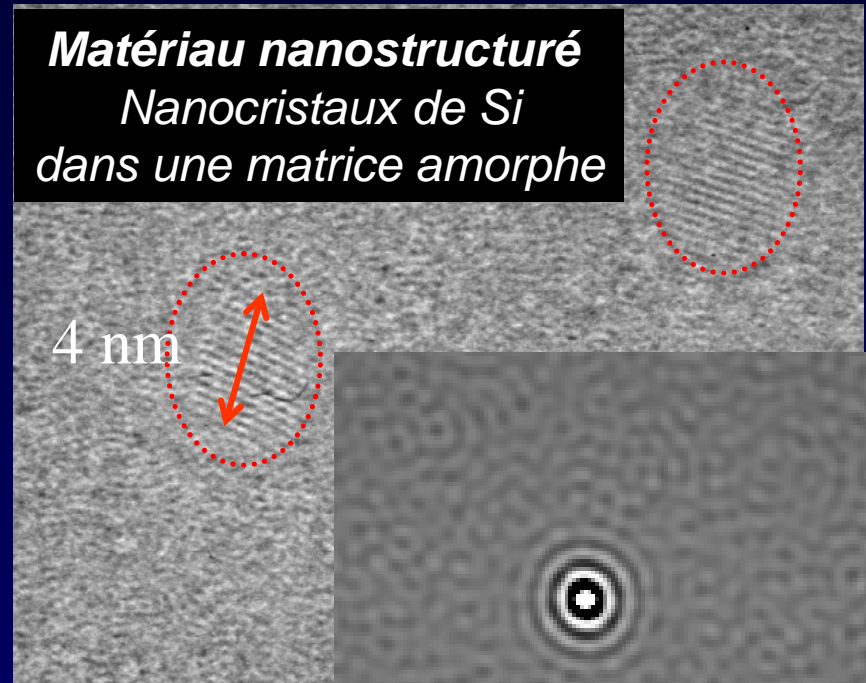
Comment augmenter la vitesse de dépôt ?

- Dépôt à partir de radicaux et de nanocristaux

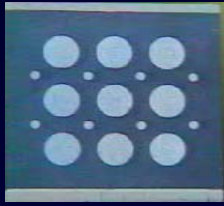


*Ordre à moyenne distance
Meilleures propriétés
électroniques*

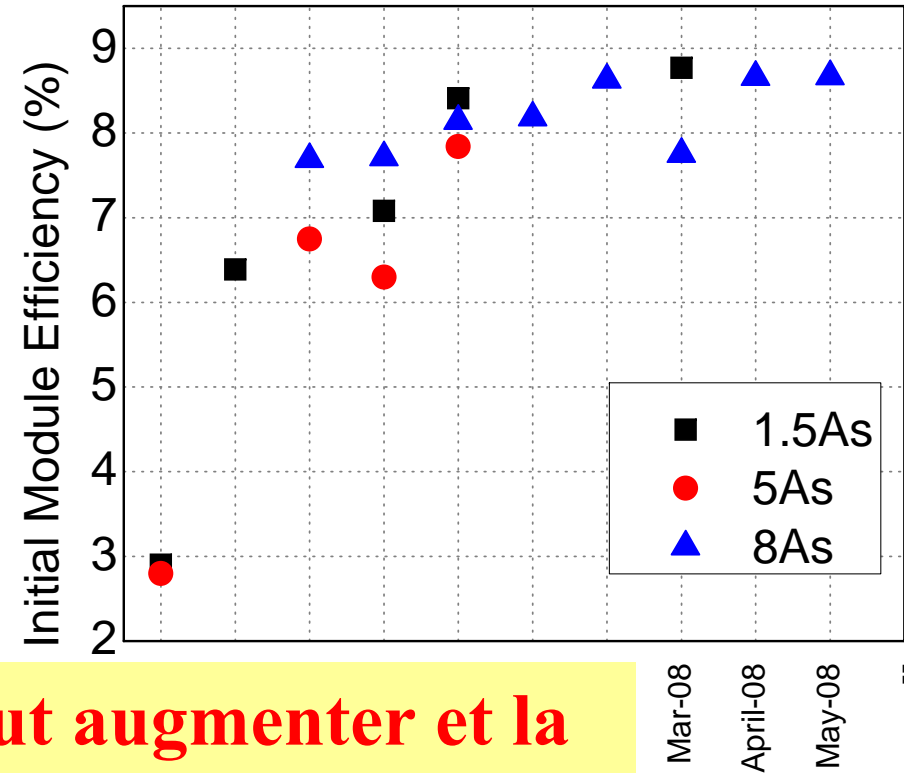
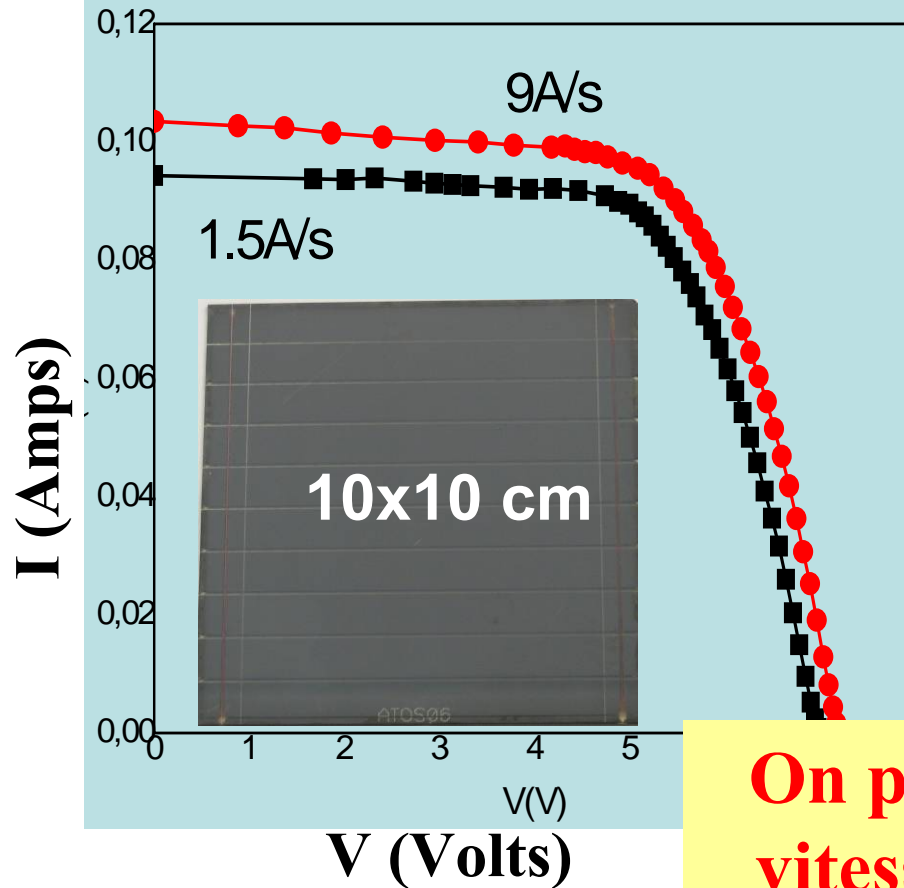
*Matériau nanostructuré
Nanocristaux de Si
dans une matrice amorphe*



Fonction d'autocorrélation

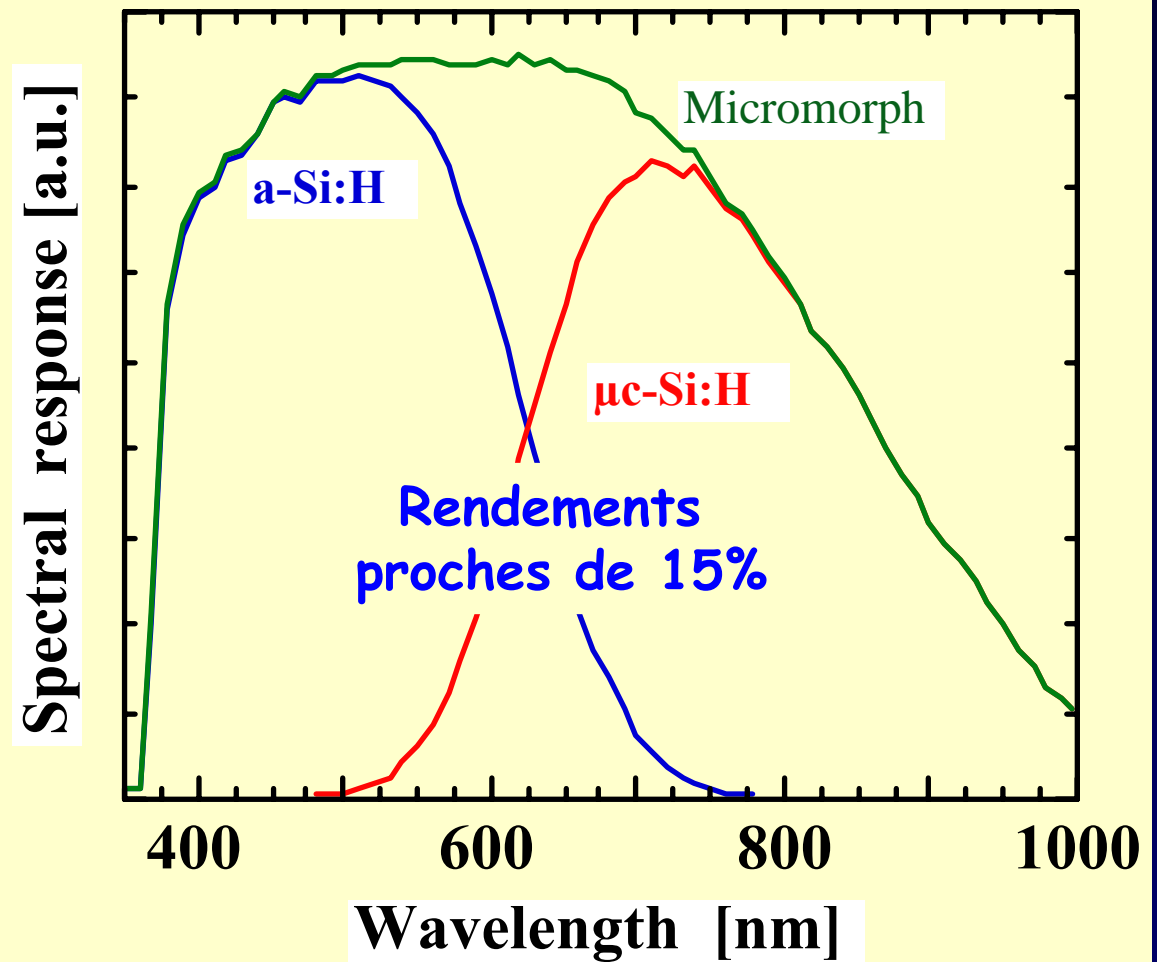
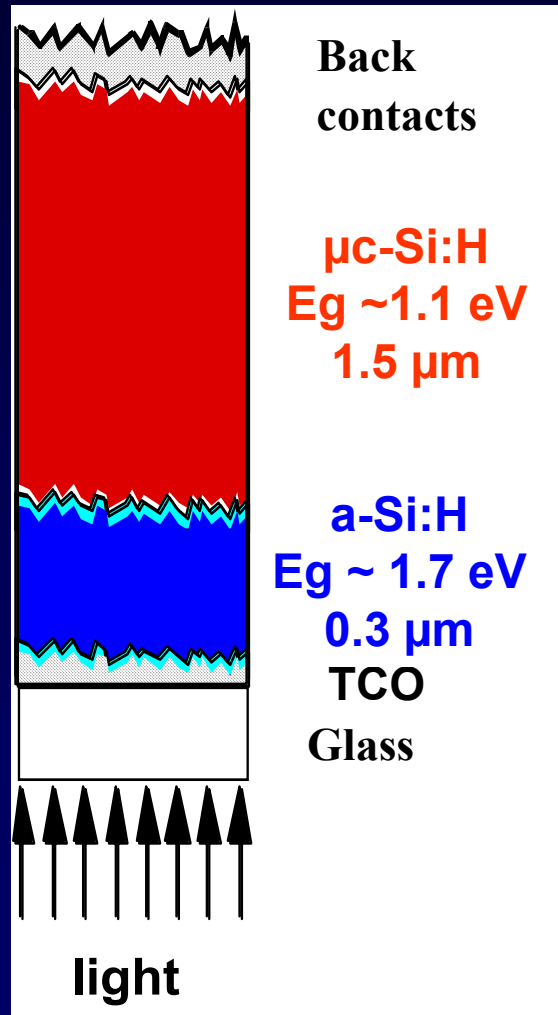


De la cellule au module

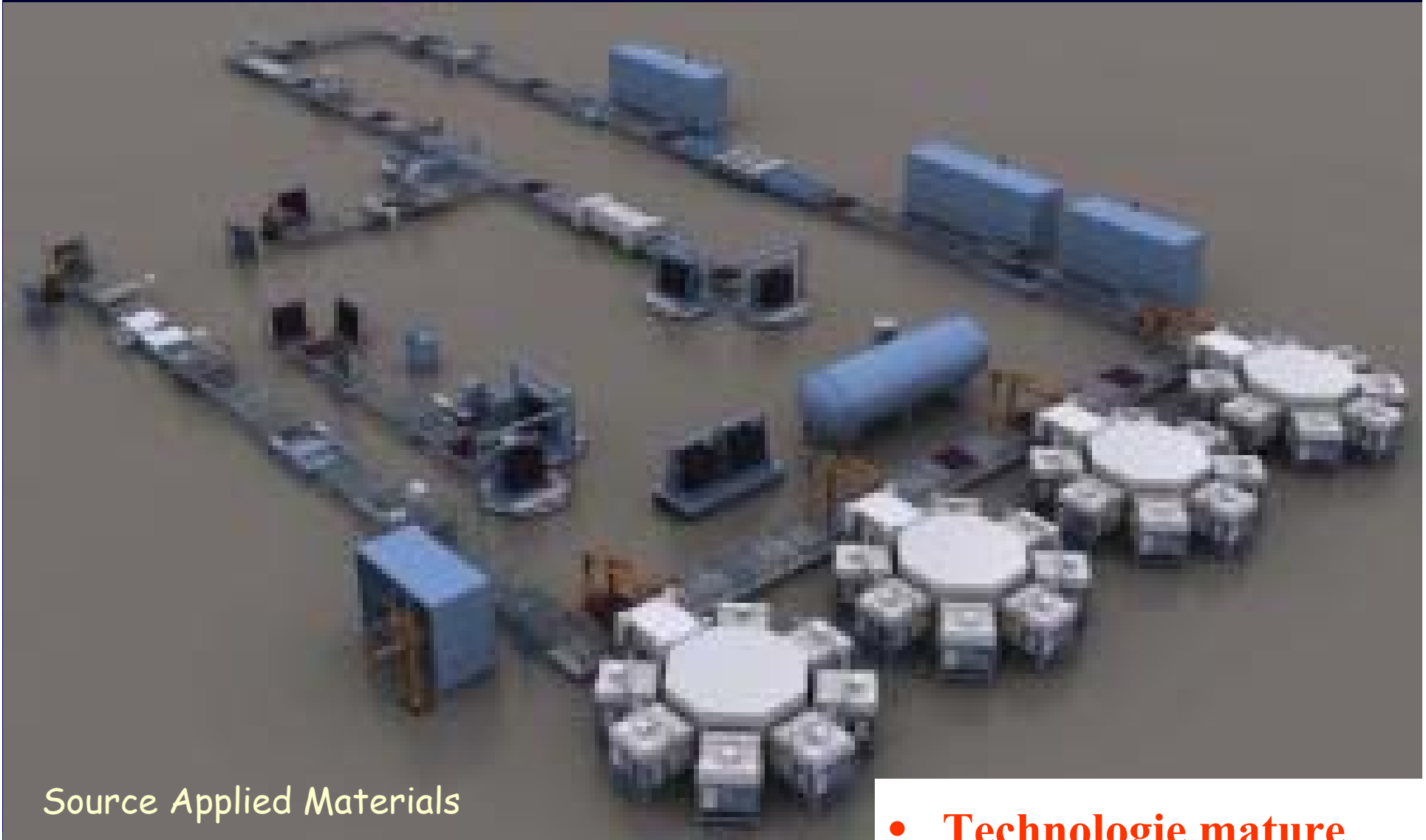


**On peut augmenter et la vitesse et le rendement !
Projet ANR ATOS**

Comment augmenter le rendement ?



Lignes de production "clé en main"



Source Applied Materials

LPICM

Laboratoire de Physique des Interfaces et Co

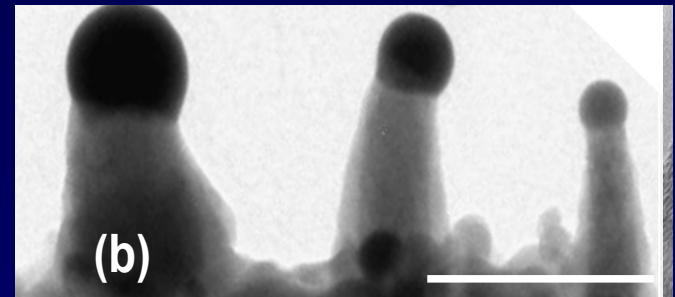
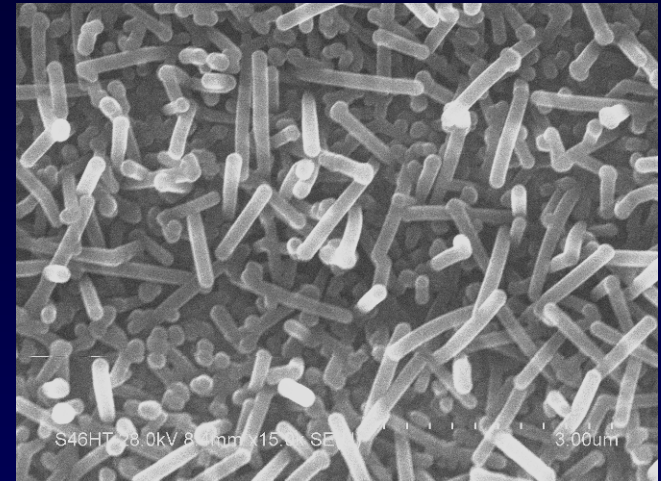
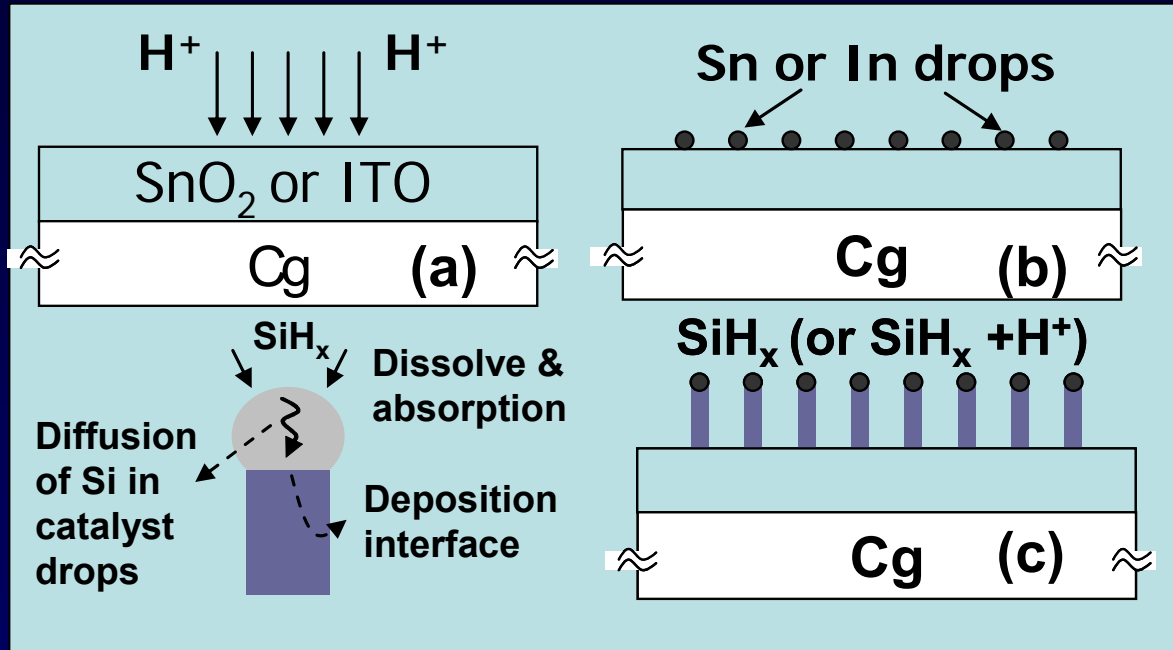
interclima+elec
du 9 au 12 février 2010 Paris Porte de Versailles

- Technologie mature
- Panneaux PV de 5.7m²

Comment dépasser 15% ?

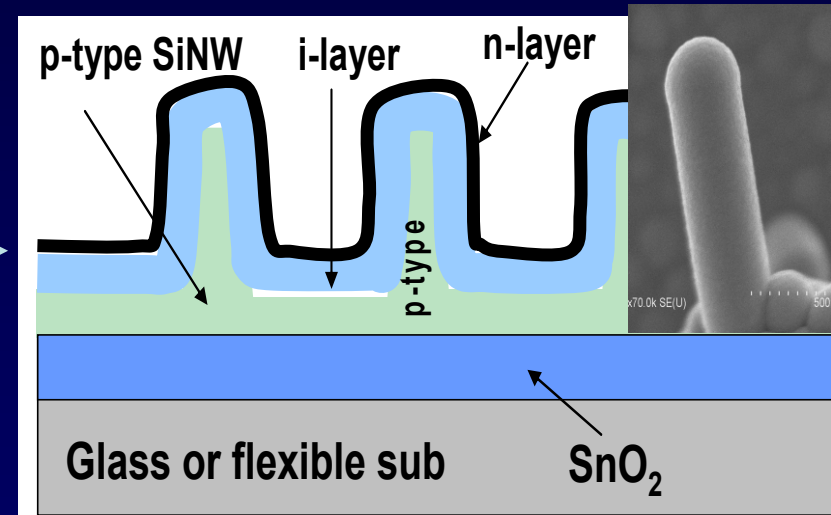
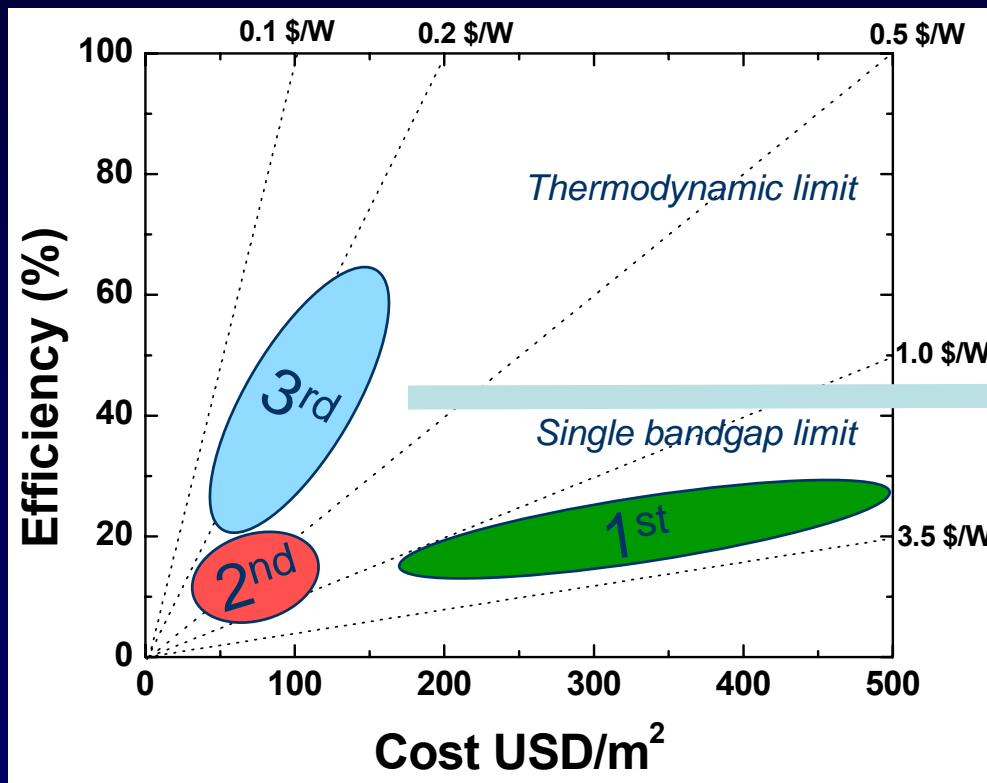
- 1. Cellules à base de nanofils
- 2. Silicium cristallin en couches minces
- 3. Structures à puits quantiques
- 4. Nanocristaux (QDs)
- ...

Croissance de nanofils de silicium

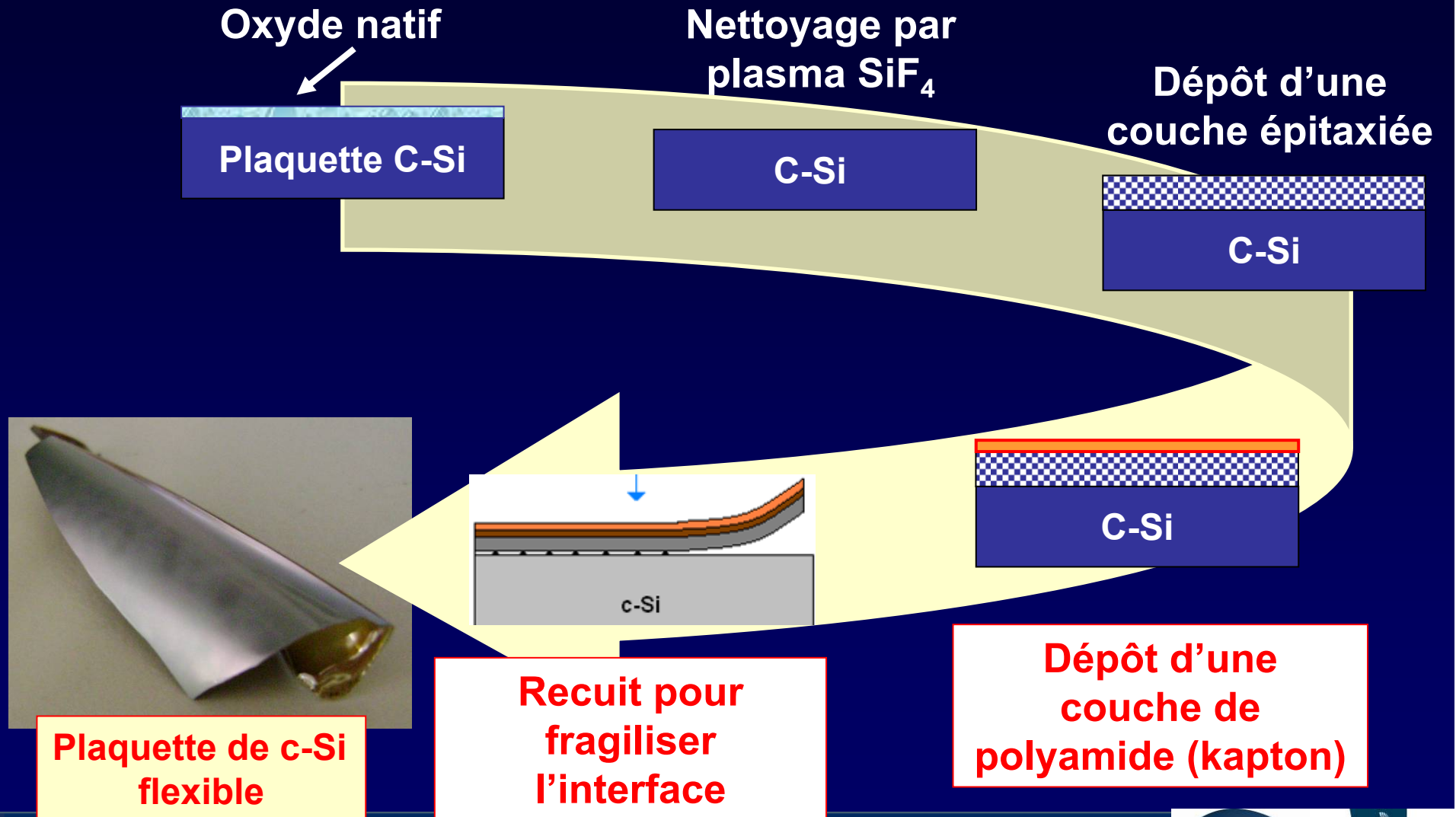


- Procédé basse température et grande surface
- Piégeage de la lumière dans la "forêt de nanofils"

Cellules PIN sur nanofils de Si : vers les cellules de 3^{ème} génération



Des pellicules de silicium cristallin ultraminces ~ 1 micron



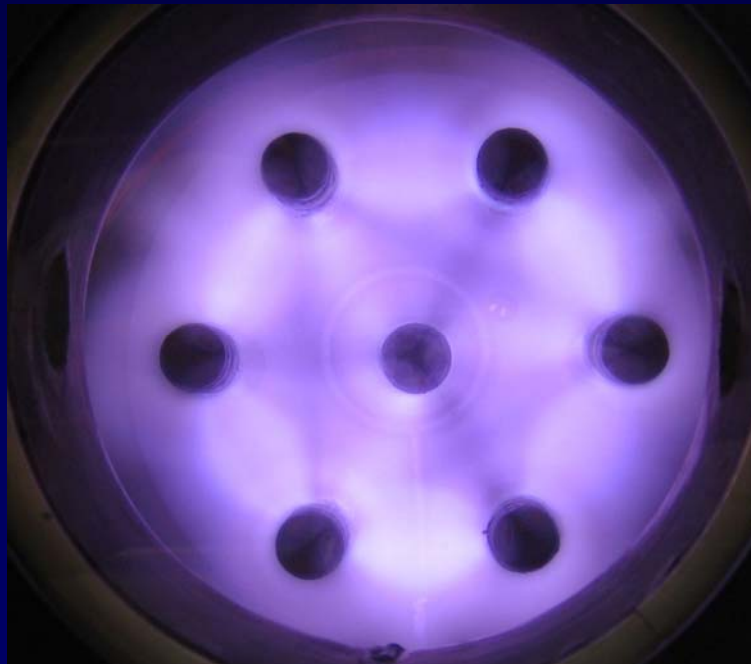
Bilan & Perspectives

Matériaux:

- a-Si:H
- pm-Si:H
- $\mu\text{c-Si:H}$
- Epitaxie
- MQW
- Nanocristaux
- Nanofils
- Ge, C,...

Procédés:

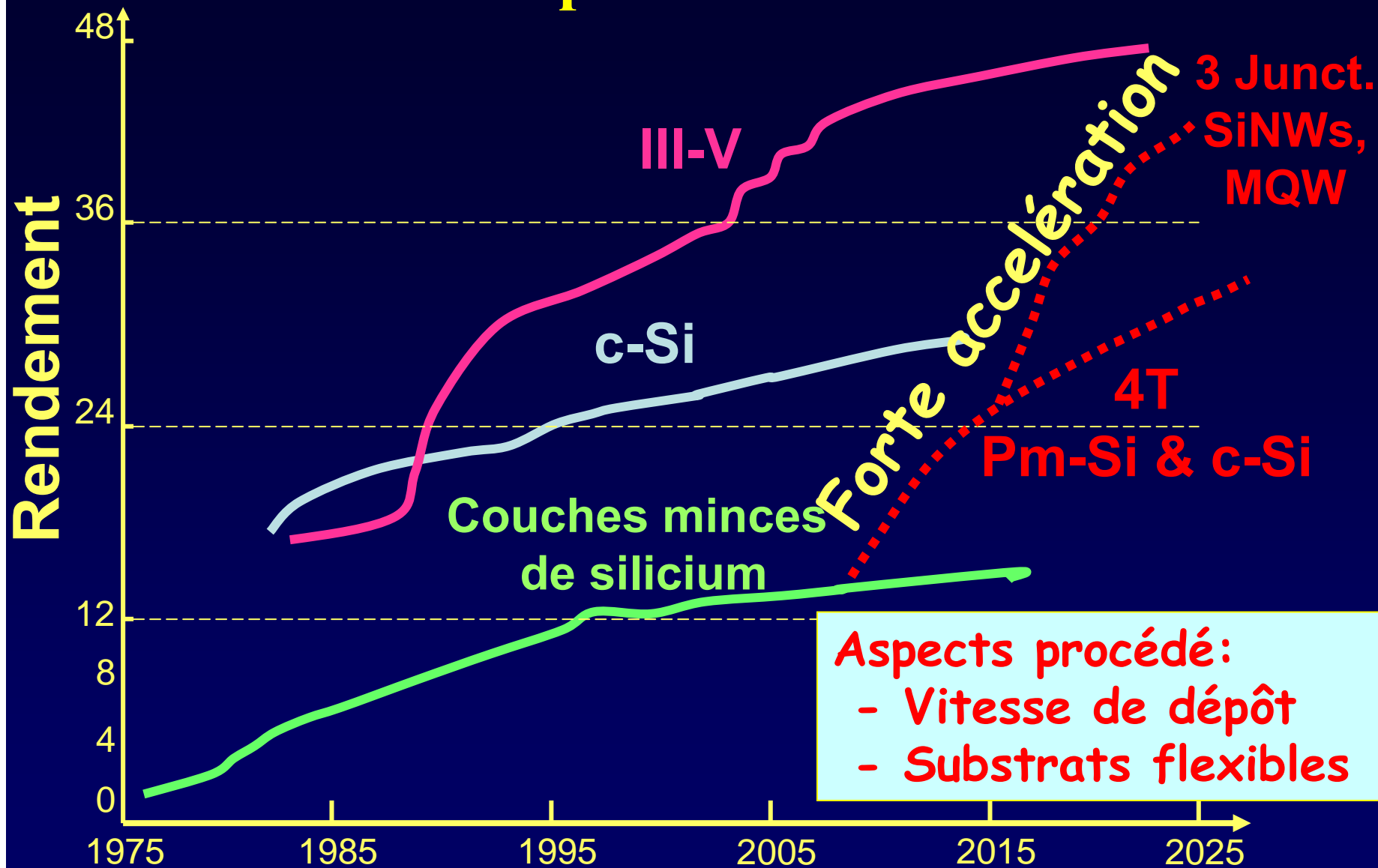
- Procédé CVD plasma à basse température



Structure de cellule:

- PIN
- Tandem
- Multijunction
- 4 terminaux
- Approche système

Feuille de route pour le silicium couches minces



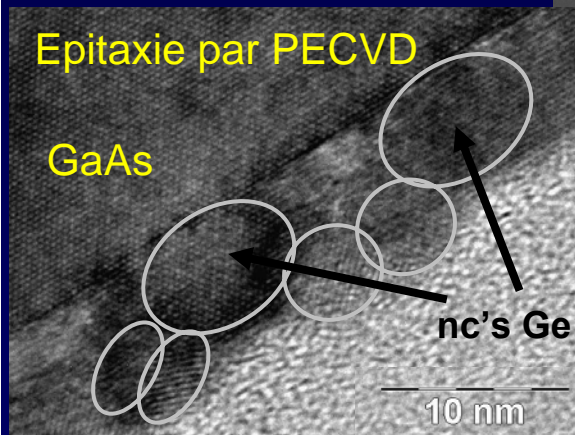
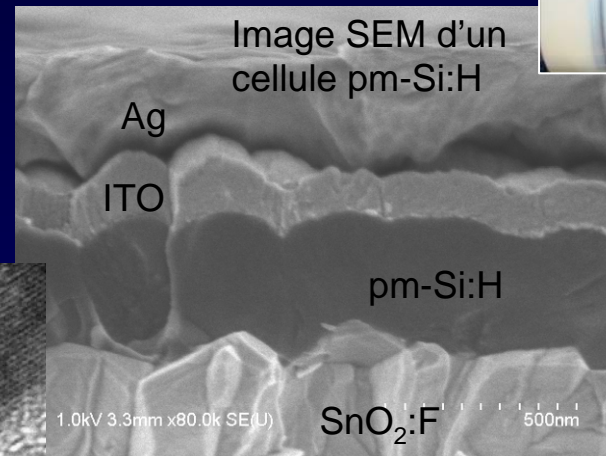
Couches minces de Si pour le Photovoltaïque : une réalité industrielle et de grandes perspectives

Procédé Helianthos
« Roll-to-Roll »

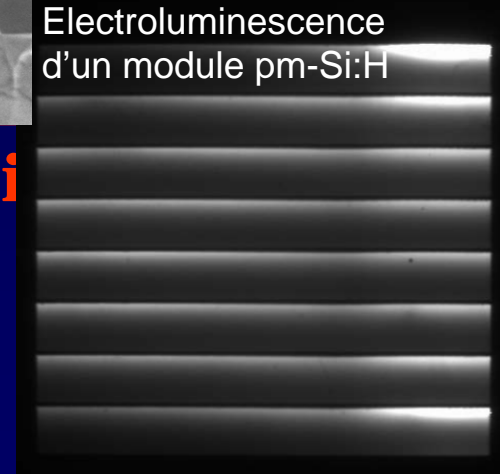


tion sur

100mm x 100mm
Module pm-Si
sur verre



Electroluminescence
d'un module pm-Si:H

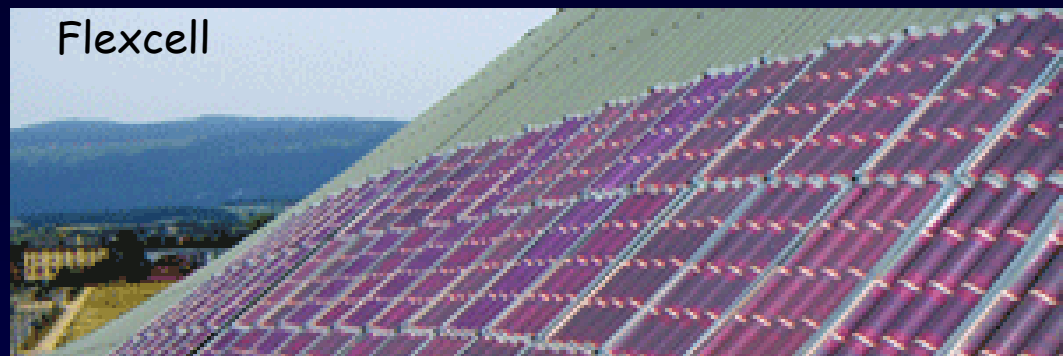


ation de dispositi



Source plasma MDECR

Etudes matériaux
Études procédés



Merci de votre attention !



LPICM

Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces

interclima+elec
du 9 au 12 février 2010 Paris Porte de Versailles

25

