

# Les couches minces au secours de l'industrie photovoltaïque française



EQUIPEMENTIERS DU PHOTOVOLTAIQUE FRANÇAIS

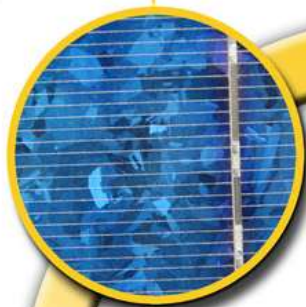
1er forum EPVF, Aix les Bains, 9 Octobre 2009.

*Alain RICAUD, CYHELIA Consultants*

- Activités de Cythelia
- Technologies comparées
- Productions et croissances comparées
- Modules en couches minces
- Avantages et limites des couches minces
- a-Si:H /  $\mu$ c-Si
- CdS-CdTe
- CIGS
- Les spécificités du marché français
- Diagnostic
- Les tentatives
- Coûts et marges
- Prospective
- Conclusion

## Photovoltaïque

Nous apportons une offre globale à nos clients, en les accompagnant dans leurs projets tout au long de la chaîne de valeur : R&D, consulting, AMO, MOE en les informant tous les mois au travers de la "Lettre du Solaire".



## Energétique du bâtiment

Concepteur de la première maison à énergie positive française, Cythelia s'appuie sur son expérience et sa vision globale du bâtiment pour conseiller les entreprises et les collectivités dans la conception et la rénovation de leurs bâtiments.



## Bilan Carbone®

Cythelia conseille les entreprises et les collectivités dans la mise en place de stratégies visant à réduire leur empreinte carbone.



## Formation

Fort de son expertise et de ses 15 ans d'expérience, Cythelia forme les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre au solaire photovoltaïque et aux bâtiments basse consommation.

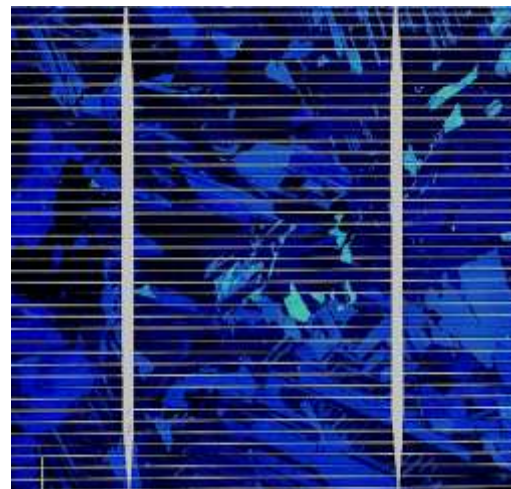


# Technologies comparées

## Du Si monocristallin aux films minces semi-transparentes



Silicium mono-  
cristallin (sc-Si)



Silicium multi  
cristallin (mc-Si)

Silicium amorphe  
en couches minces  
(a-Si:H)





# Technologies comparées

## Technologies de cellules et leur niveau de maturité

### ■ Les technologies disponibles par ordre décroissant de maturité:

■ Silicium mono-cristallin (sc-Si)	PRO
■ Silicium multi-cristallin (mc- Si)	PRO
■ Silicium amorphe (a-Si:H simple)	PRO
■ Silicium amorphe (a-Si:H tandem )	PRO
■ Hybrides a-Si:H / sc-Si (HIT)	PRO
■ Silicium sur céramique	PRO
■ Tellurure de Cadmium (Cd-Te)	PRO
■ Diseleniure de Cuivre et d 'Indium (CIGS)	PRO
■ Silicium micro-cristallin ( $\mu$ c-Si)	LAB
■ Cellules nano-cristallines à colorant (TiO <sub>2</sub> )	LAB
■ Dichalcogénures de métaux réfractaires (MS <sub>2</sub> )	LAB
■ Cellules polymères	LAB

### ■ Niveaux de rendements en R&D au laboratoire:

■ 24.4 % (UNSW)
■ 18.6 % (Georgia Tech)
■ 12.7 % (Sanyo)
■ 13.5 % (USSC)
■ 16.6 % (Sanyo)
■ 16.6 % (Astro-Power)
■ 16.0 % (Matsushita)
■ 18.9 % (NREL)
■ 9.4 % (Kaneka)
■ 6.5 % (INAP)
■ 4.0 % (HMT)
■ 3.0 % ( LIC )



### Avantages

- 2<sup>nd</sup> élément de la croûte terrestre
- Matériau le plus connu des ingénieurs
- Rendements satisfaisants  $> 14\%$
- Processus industriels banalisés
- Retour d'expérience sur une durée de vie  $> 25$  ans

### Inconvénients

- Semi-conducteur à gap indirect (matériau massif  $> 200 \mu$ )
- Du sable au modules, 40 étapes de process
- Limites sur le rendement  $< 24\%$
- Production expatriée
- L'asymptote actuelle de la baisse des coûts est de  $1\text{€}/\text{W}_c$



### Avantages

- Semi-conducteurs à gap direct : très faible quantité de matière impliquant un temps de retour énergétique de 18 mois au lieu de 5 ans. Faible bilan carbone.
- Esthétique (couleur noir profond, homogène et uniforme).
- Gamme variée de tensions et de courants (limites fixées par l'optimisation des largeurs de bandes).
- Seulement 13 étapes de process: l'asymptote actuelle de la baisse des coûts est de 0.25 € /Wc
- Capacité de faire des générateurs monolithiques de très grande taille (jusqu'à 5 m<sup>2</sup> ).
- Possibilité de les intégrer sur toutes sortes de substrats (Verre, Alu, Acier inox, Kapton)
- Faible coeff de température (meilleure intégration au bâti)
- Possibilité de vrai semi-transparence.
- Possibilité de structures tandem (multispectrales)

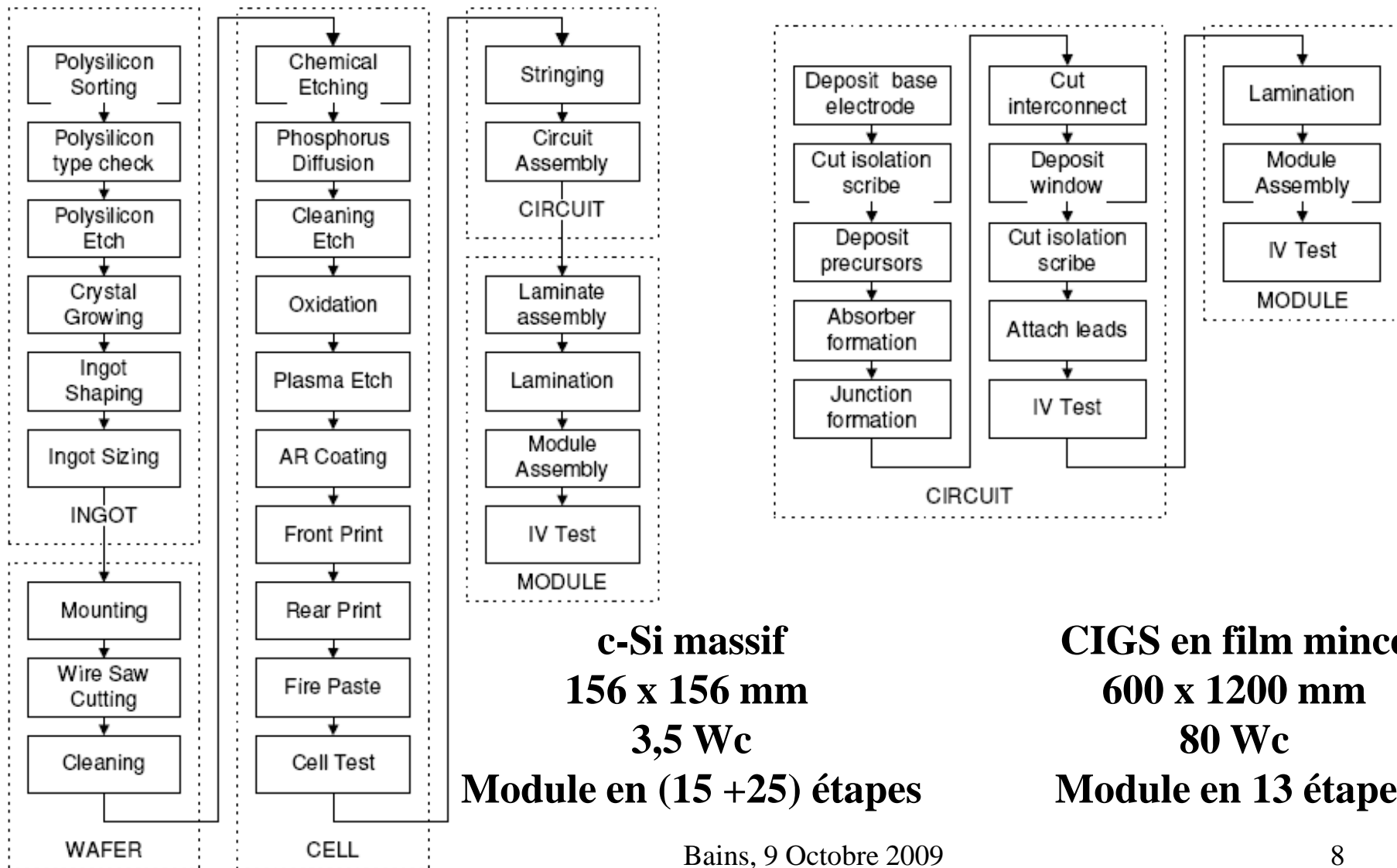
### Inconvénients

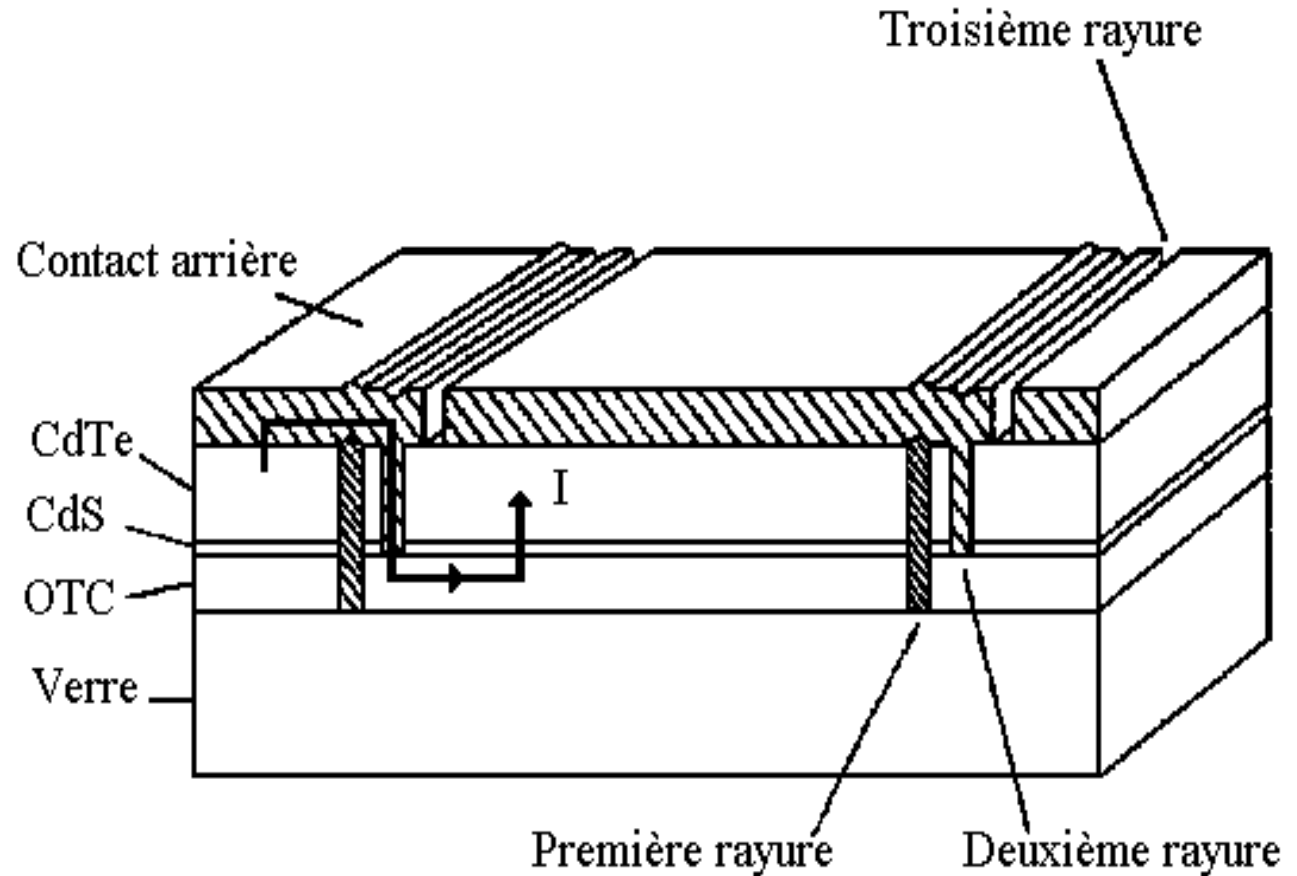
- Rendement encore limité en production (<12%)
- Processus industriels pas encore bien maîtrisés
- Retour d'expérience insuffisant sur la durée de vie
- Ressources rares



# Technologies comparées

Moins d'étapes de process... et de plus grands éléments







# Modules en couches minces

## Produits commerciaux

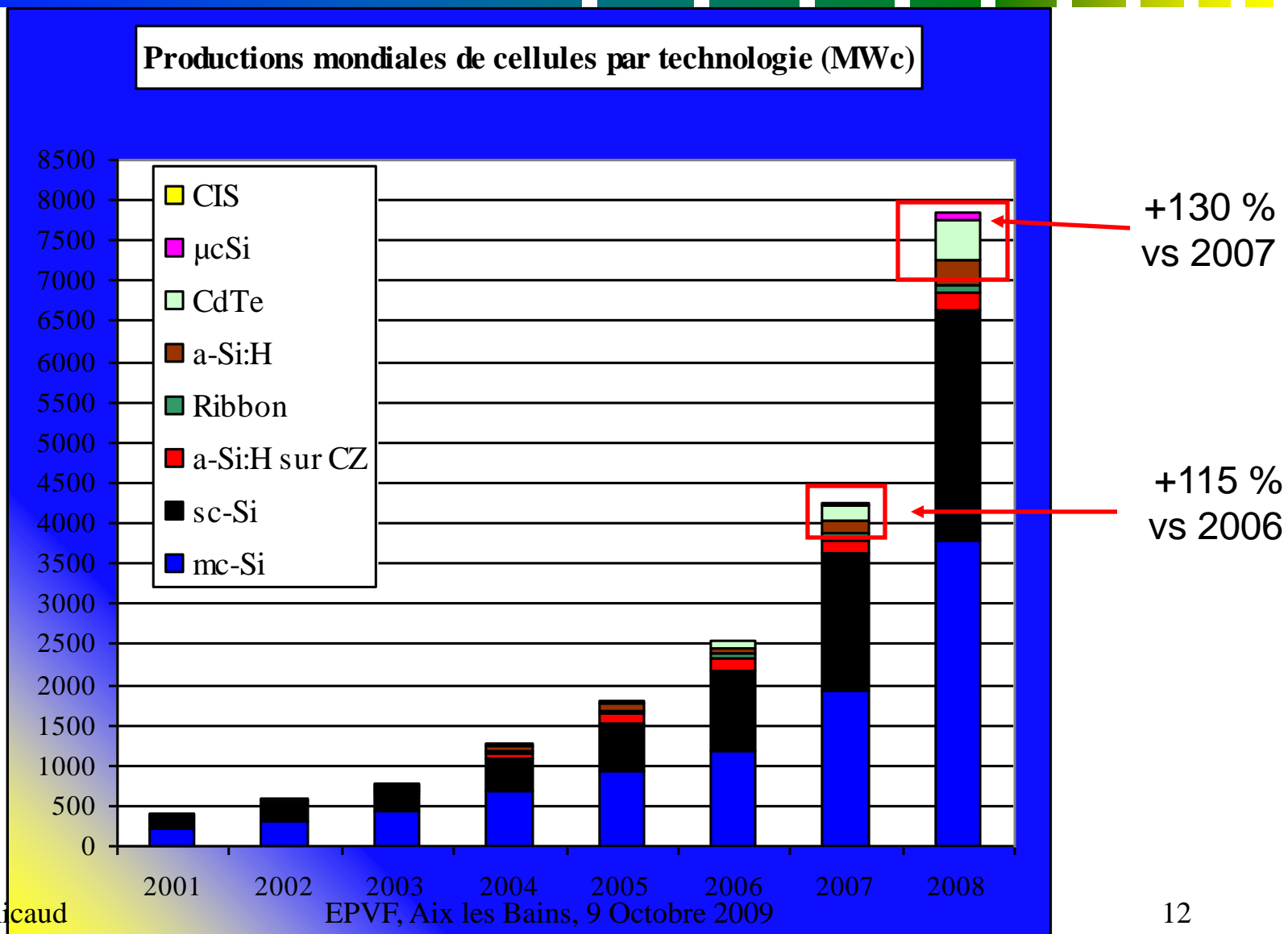
	Thin Films Manufacturers	Country	Techno	Product name	Product (Wp)	Efficiency (%)	size (m <sup>2</sup> )
1	Kaneka Corporation	Japan	a-Si:H / $\mu$ c-Si	TEC 120	120,0	6,3	1,9
2	Sharp Corporation	Japan	a-Si:H / $\mu$ c-Si	NA 850 WP	85,0	8,0	1,1
3	Bangkok Solar Co., Ltd.	Thailand	a-Si:H double	BS 40	40,0	5,1	0,8
4	Schott Solar GmbH	Germany	a-Si:H double	ASI F-100	96,6	5,2	1,9
5	Energy Photovoltaics, Inc.	USA	a-Si:H double	EPV-40	40,0	5,1	0,8
6	Tianjin Jinneng Solar Celt C	China	a-Si:H double	JN 40	40,0	5,0	0,8
7	Free Energy Europe SA	France	a-Si:H double	FEE -20-12	19,0	6,0	0,3
8	Solar+S.A.	Portugal	a-Si:H double				
9	Heliodomi SA	Greece	a-Si:H double				
10	ICP Solar Technologies (UK	UK	a-Si:H single	ATF 1200	18,0	5,9	0,3
11	Mitsubishi Heavy Industries,	Japan	a-Si:H single	MA 100	100,0	6,3	1,6
12	Soltech Corporation	China	a-Si:H single	PVS 60-24	60,0	4,9	1,2
13	Sinonar Corporation	Taiwan	a-Si:H single	SC 30-5305Z	3,0	3,2	0,1
14	Solar Cells Ltd.	Croatia	a-Si:H single	SMAL 536	60,0	4,1	1,5
15	VHF-Technologies SA	Switzerland	a-Si:H single	FLEXCELL 7	7,0	3,9	0,2
16	Kanto Sanyo Semiconductor	Japan	a-Si:H single				
17	United Solar Ovonic LLC	USA	a-Si:H triple	PVL 136	136,0	6,3	2,2
18	Fuji Electric Systems Co., Lt	Japan	a-Si:H/ a-Si:Ge	FPV4M-001	96,0	4,7	2,0
19	First Solar LLC	USA	CdTe	FS 65	65,0	9,0	0,7
20	Antec Solar Energy AG	Gemany	CdTe	ATF 50	50,0	6,9	0,7
21	Shell Solar	USA	CIGS	Eclipse 80	80,0	9,3	0,9
22	Würth Solar GmbH & Co. K	Germany	CIGS	WS 11007	80,0	11,1	0,7
23	Global Solar Energy, Inc.	USA	CIGS	P3-55	55,0	4,8	1,1
24	Sulfurcell	Germany	CIS	SCG60-HV-RI	60,0	7,0	0,8



# Productions comparées

## Production par technologie en MWc (2001-08)

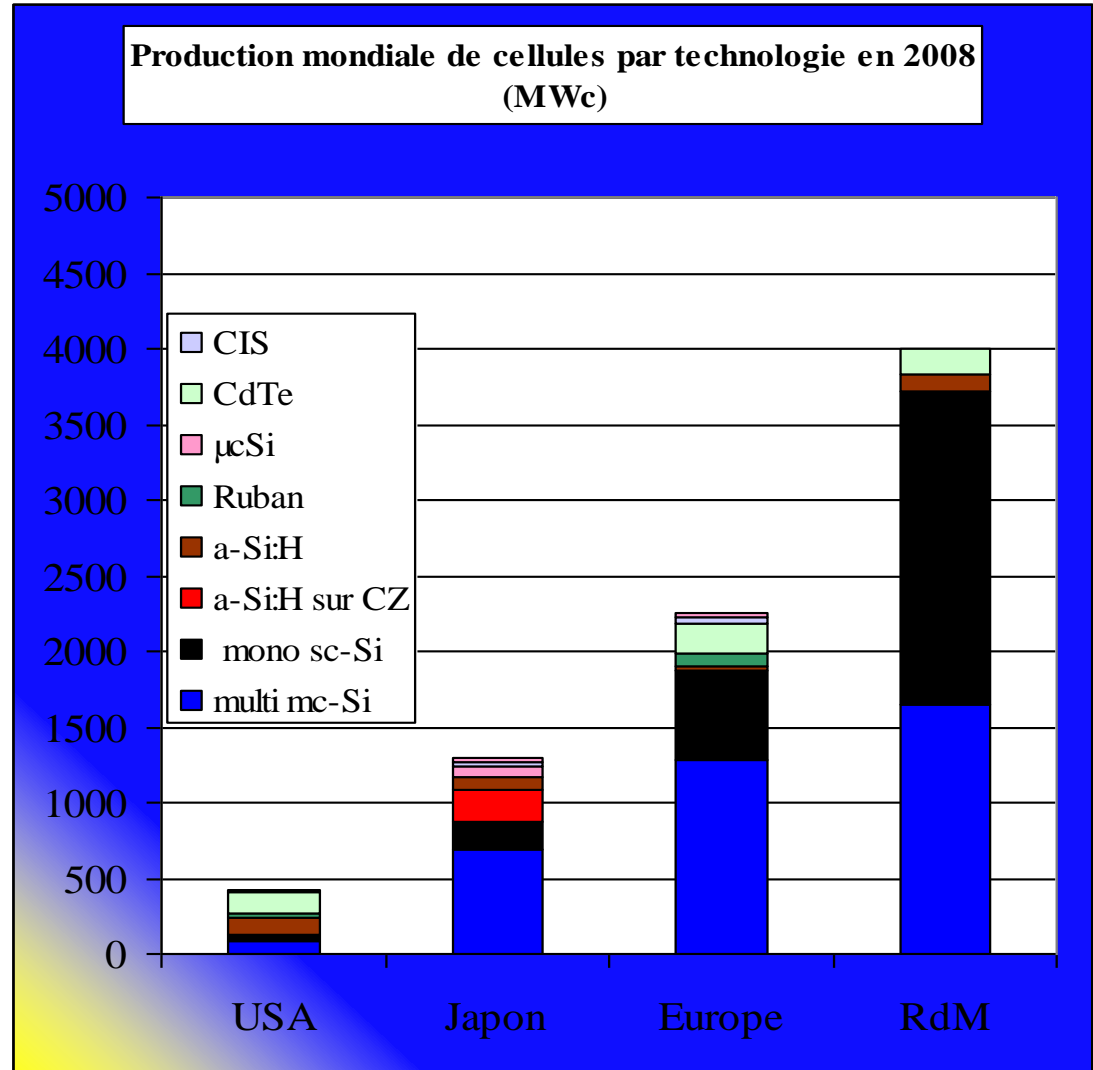
Technology	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>sc-Si</b>	<b>133</b>	<b>195</b>	<b>218</b>	<b>397</b>	<b>571</b>	<b>1101</b>	<b>1806</b>	<b>3030</b>
	32,2%	33,8%	28,3%	31,5%	31,7%	43,4%	42,2%	38,3%
<b>mc-Si</b>	<b>208</b>	<b>298</b>	<b>440</b>	<b>687</b>	<b>943</b>	<b>1 179</b>	<b>1934</b>	<b>3773</b>
	50,2%	51,6%	57,0%	54,5%	52,3%	46,5%	45,2%	47,7%
<b>Ribbon</b>	<b>23</b>	<b>27</b>	<b>34</b>	<b>42</b>	<b>52</b>	<b>66</b>	<b>94</b>	<b>107</b>
	5,6%	4,6%	4,4%	3,3%	2,9%	2,6%	2,2%	1,3%
<b>c-Si</b>	<b>364</b>	<b>519</b>	<b>692</b>	<b>1 126</b>	<b>1 566</b>	<b>2 346</b>	<b>3834</b>	<b>6910</b>
	88%	90%	90%	89%	87%	93%	90%	87%
<b>a-Si:H</b>	<b>36,0</b>	<b>35,2</b>	<b>30,5</b>	<b>48,1</b>	<b>68,8</b>	<b>119,2</b>	<b>188</b>	<b>340</b>
	8,7%	6,1%	4,0%	3,8%	3,8%	4,7%	4,4%	4,3%
<b>CdTe</b>	<b>2,1</b>	<b>4,0</b>	<b>8,0</b>	<b>13,5</b>	<b>29,0</b>	<b>68,5</b>	<b>201</b>	<b>507</b>
	0,5%	0,7%	1,0%	1,1%	1,6%	2,7%	4,7%	6,4%
<b>CIS</b>	<b>0,8</b>	<b>1,7</b>	<b>3,7</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>5,1</b>	<b>21</b>	<b>79</b>
	0,2%	0,3%	0,5%	0,4%	0,2%	0,2%	0,5%	1,0%
<b>µcSi</b>	<b>0,8</b>	<b>1,7</b>	<b>7,0</b>	<b>9,0</b>	<b>12,9</b>	<b>8,2</b>	<b>22</b>	<b>79</b>
	0,2%	0,3%	0,9%	0,7%	0,7%	0,3%	0,5%	1,0%
<b>Thin Films</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>49</b>	<b>75</b>	<b>115</b>	<b>201</b>	<b>433</b>	<b>1005</b>
	10%	7%	6%	6%	6%	8%	10%	13%
<b>a-Si:H sur CZ</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>210</b>
(HIT)	2%	3%	4%	5%	7%	6%	3,7%	2,7%
<b>Total</b>	<b>414</b>	<b>577</b>	<b>771</b>	<b>1261</b>	<b>1801</b>	<b>2536</b>	<b>4279</b>	<b>7910</b>
<b>Growth</b>	<b>40%</b>	<b>39%</b>	<b>34%</b>	<b>63%</b>	<b>43%</b>	<b>41%</b>	<b>69%</b>	<b>85%</b>

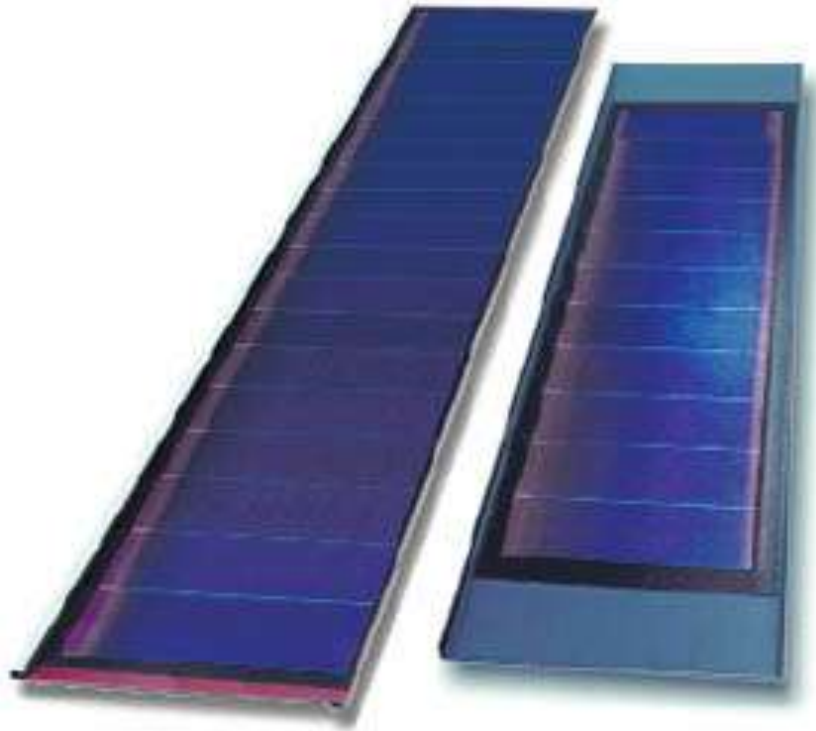


*Les USA encore le laboratoire des nouvelles technologies...*

*au Japon et à l'Allemagne les pilotes industriels...*

*à la Chine et Taïwan, les usines des produits banalisés.*

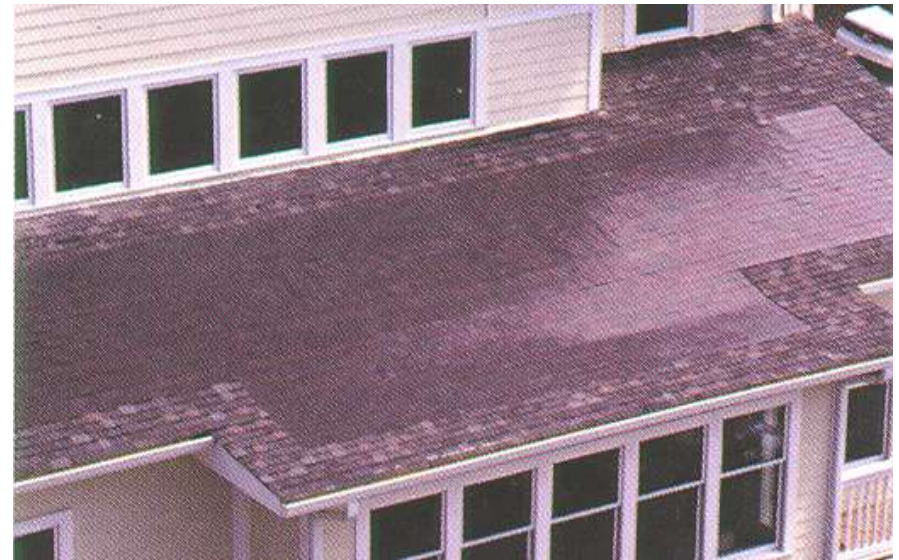




Modules souples UNISOLAR sur  
bac acier Thyssen-Solartec (2000)



Tuiles SOLEMS (1992)



Shingles SHR17 d'UNISOLAR (2000)



National Research Home  
Park  
21st Century  
Townhouse,  
Bowie, Maryland, USA



Puissance: 1,5 kWp  
type: silicium amorphe  
substrat en métal  
module: 5,8 m x 38 cm

- La Maison ZEN (Montagnole)
- Raisons d'esthétique:
  - Pas de problème d'abergement de tuiles
  - Apparence homogène sur toute la surface du toit
- Economie sur les matériaux remplacés:
  - Entre 30 et 100 € /m<sup>2</sup>
  - Coûts de pose réduits
- Tarif plus favorable:
  - 60c€/kWh pour l'intégration
  - 32c€/kWh pour le rapporté

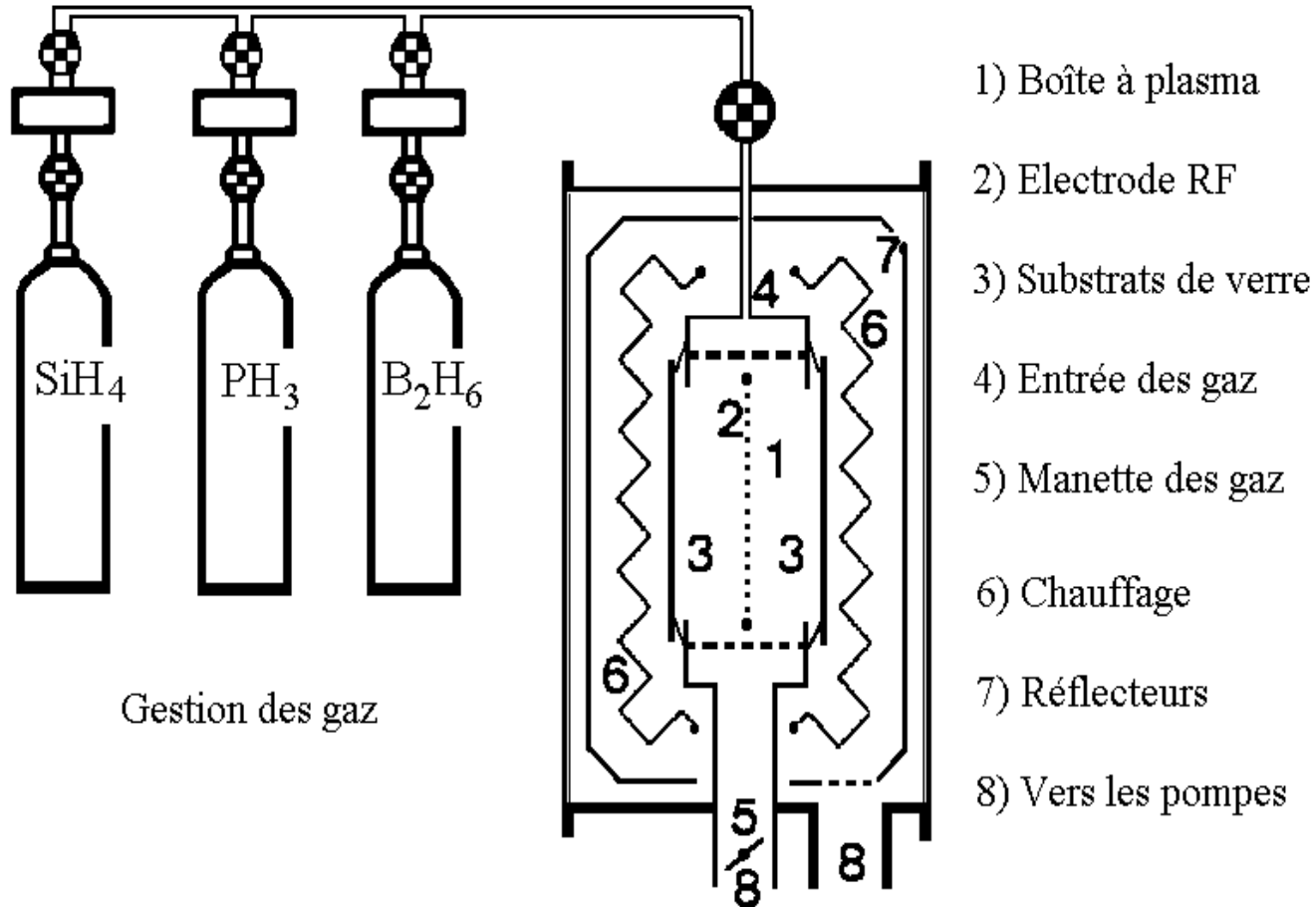


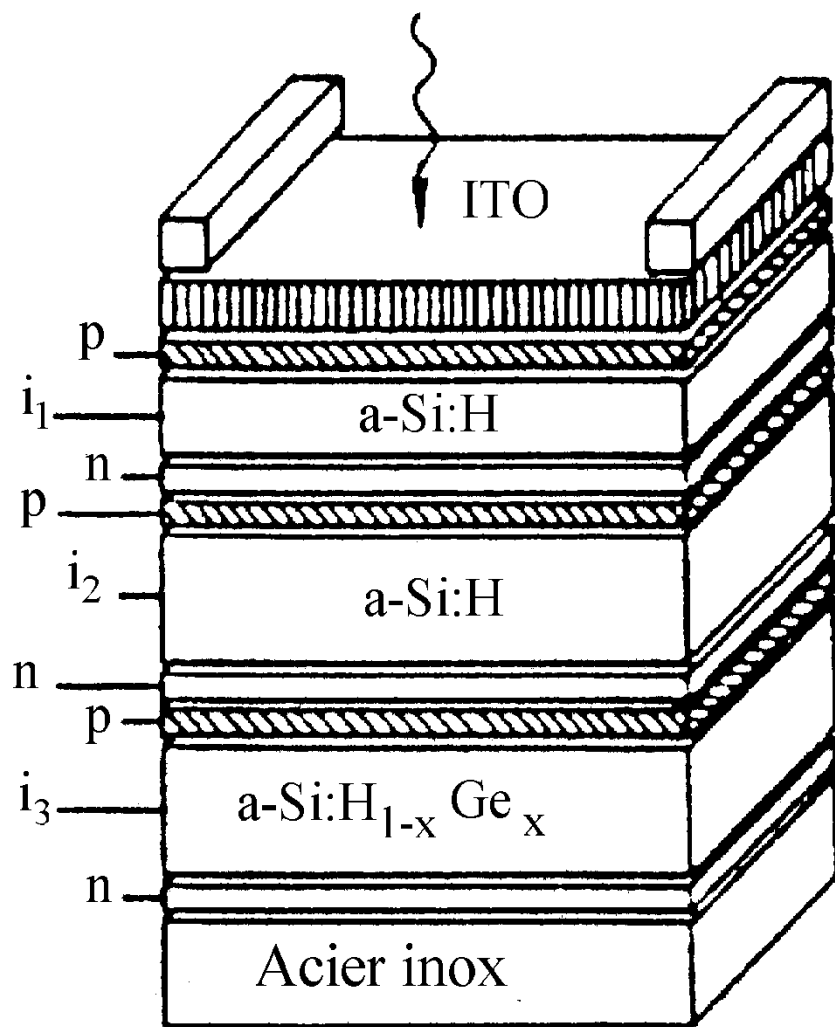


# Semi-transparence

## *a-Si thru Phototronics Solar Technik (Shott Solar)*







UNISOLAR

US, 1998

Jonction triple a-Si:H

Module commercial: US 64

$\eta_{ini} = 7,27\%$

$\eta_{stab} = 6,32\%$

$S = 10\,125\text{cm}^2$

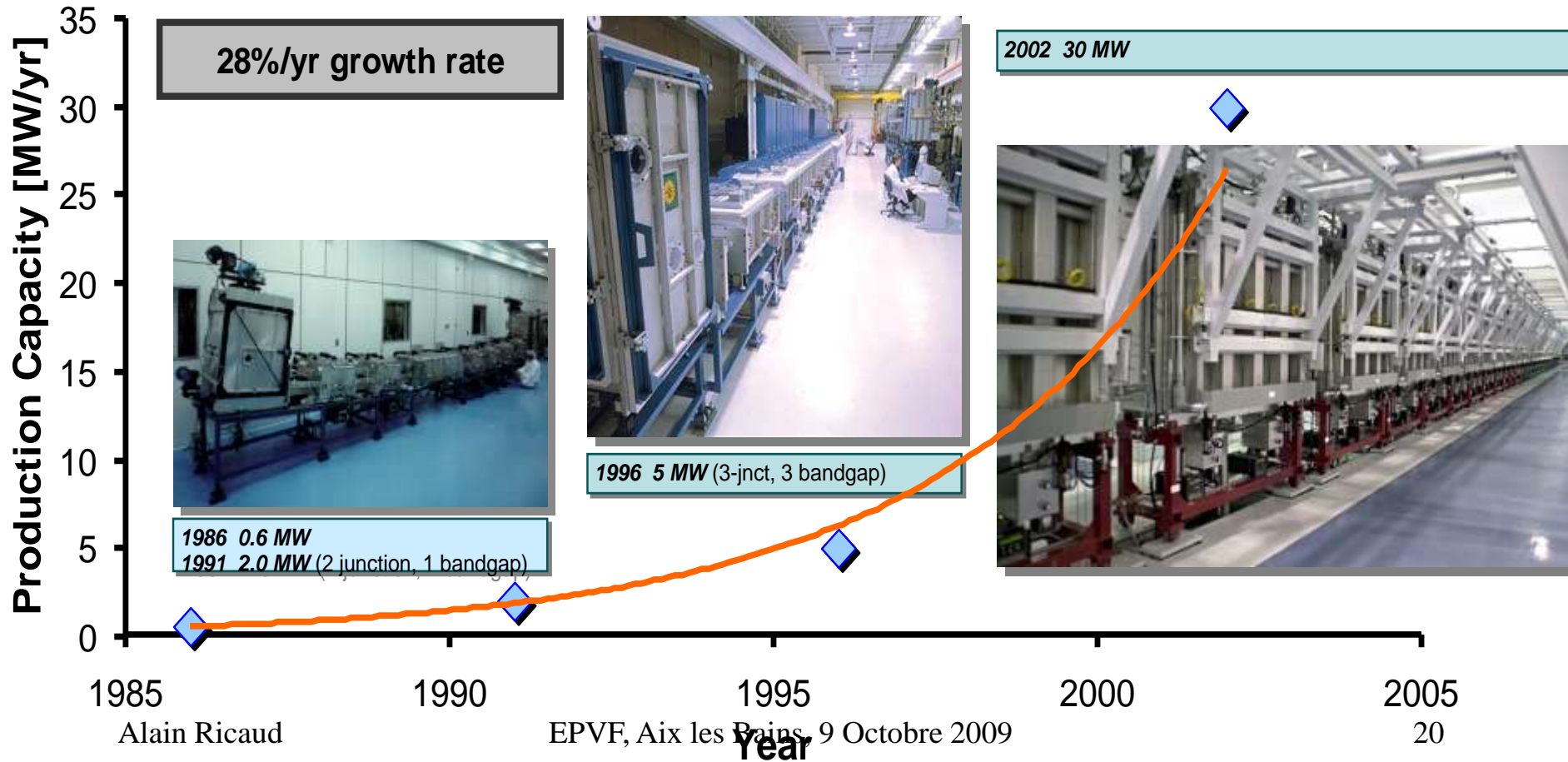
Poids = 9,17 kg (7 Wc / kg)

$P_{max} = 64\text{Wc}$

$I_{cc} = 4,8\text{ A}$

$V_{oc} = 23,8\text{ V}$

## Evolution de la capacité de production. Cellules triple jonction



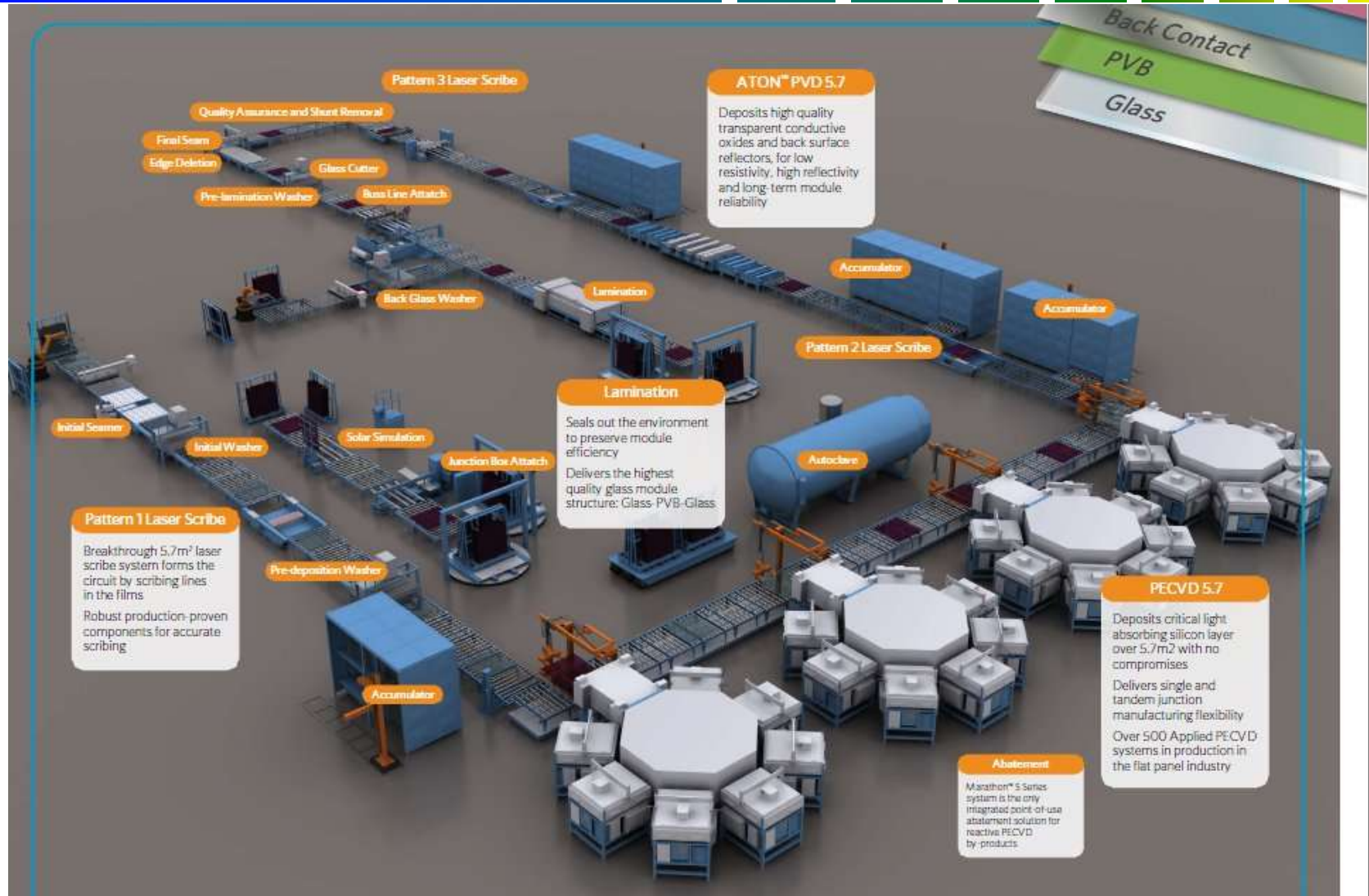


**a-Si:H**

**UNITED SOLAR SYSTEMS CORP.**

## 5MW deposition system & 25 MW plant



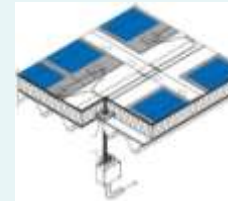


- **Type de toiture :**  
Toitures terrasse
- **Marché :**  
Bâtiments tertiaires et industriels
- Laminés Unisolar
- Raccordement Câblage par l'extérieur ou l'intérieur
- Pente minimale de 3°

**Solar Integrated**



**Evalon Solar : Alwitra**

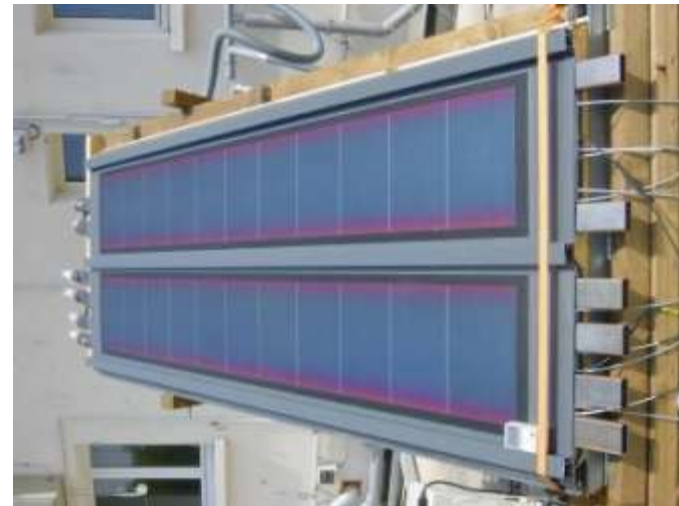


**Biosol PV : Centrosolar**



**Soprasolar : Soprema**







- Très nombreux acteurs entrant dans la filière couches minces (plus de 40 créations d'entreprises entre 2005 et 2008, dont une vingtaine en a-Si:H/  $\mu$ c-Si, une vingtaine en CIGS et trois en CdTe)
- First Solar produit depuis Avril 2007 dans 3 usines de 120 MWc de capacité chacune (Perrysburgh- Ohio, Francfort/Oder-Allemagne, et Malaisie), des modules en couches minces de type : Verre-TCO-CdS-CdTe-Alu-EVA-Verre au plus bas coût du marché.
- Les coûts de production sont annoncés en Mars 2009 à 0,98 \$/Wc
- Le montant des investissements estimé à 100 M\$ pour 100 MWc
- Son module le plus puissant (79 Wc pour 0,72 m<sup>2</sup>) fait 11 % de rendement, coûte 60 € à fabriquer et se vend au prix du marché 120 € (1.50 € /Wc en très grandes quantités).
- On imagine les marges et les capacités d'autofinancement !...



Overview



Entrance

# Coating Line

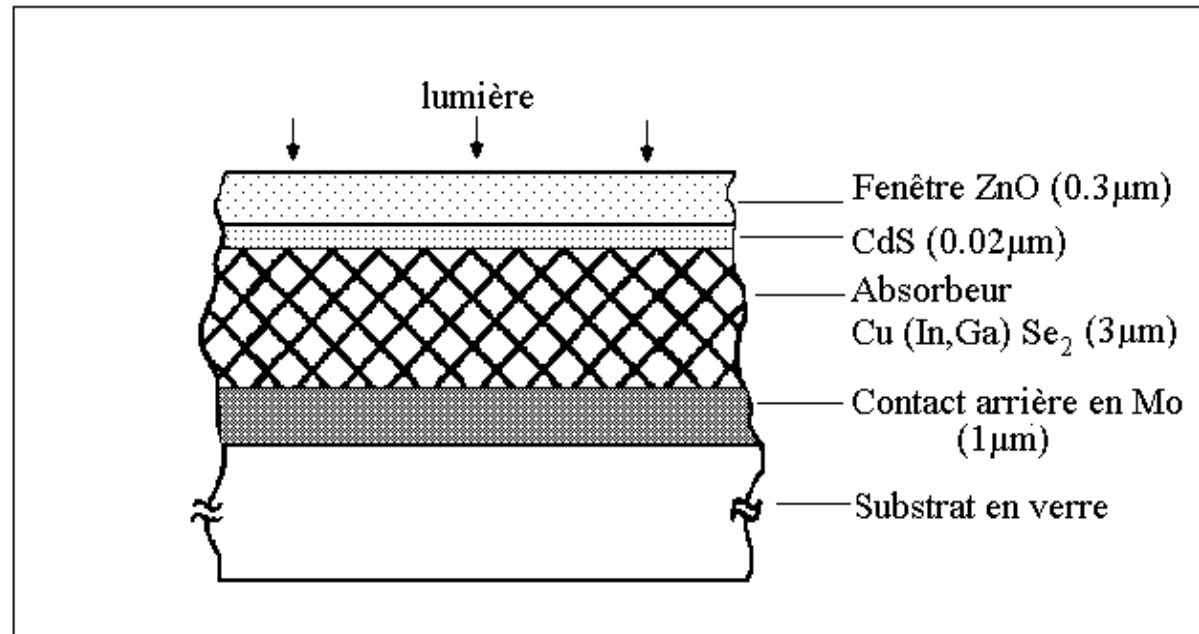


Coating



Re-Crystallization

- le rendement théorique de l'hétérojonction (n) CdS-(p)  $\text{CuInSe}_2$  est de 25 %.
- le coefficient d'absorption a à peu près le même seuil que celui du c-Si ( $E_G = 1.02 \text{ eV}$ )
- il est 100 à 1000 fois plus fort dans la gamme 1.1 à 2.6 eV ce qui permet une épaisseur d'absorbeur de 1 à 2  $\mu\text{m}$ .
- les rendements pour des petits modules et des grands modules de plus de 1 000  $\text{cm}^2$  se situent entre 14% et 11%, respectivement.



1. Pulvérisation de Mo:  
contact arrière
2. Coévaporation à  $T \approx 550^\circ\text{C}$  (substrat) de 4 sources élémentaires: Cu ( $1300\text{-}1400^\circ\text{C}$ ), In ( $1000\text{-}1100^\circ\text{C}$ ), Ga ( $1150\text{-}1250^\circ\text{C}$ ) et Se ( $300\text{-}350^\circ\text{C}$ )  $\rightarrow$   $\text{Cu(In/Ga)Se}_2$   
 $2\mu\text{m}$
3. Bain chimique: dépôt de couche tampon CdS
4. Pulvérisation de ZnO:  
contact avant

Ligne de production pilote de Würth Solar à Marbach, Allemagne



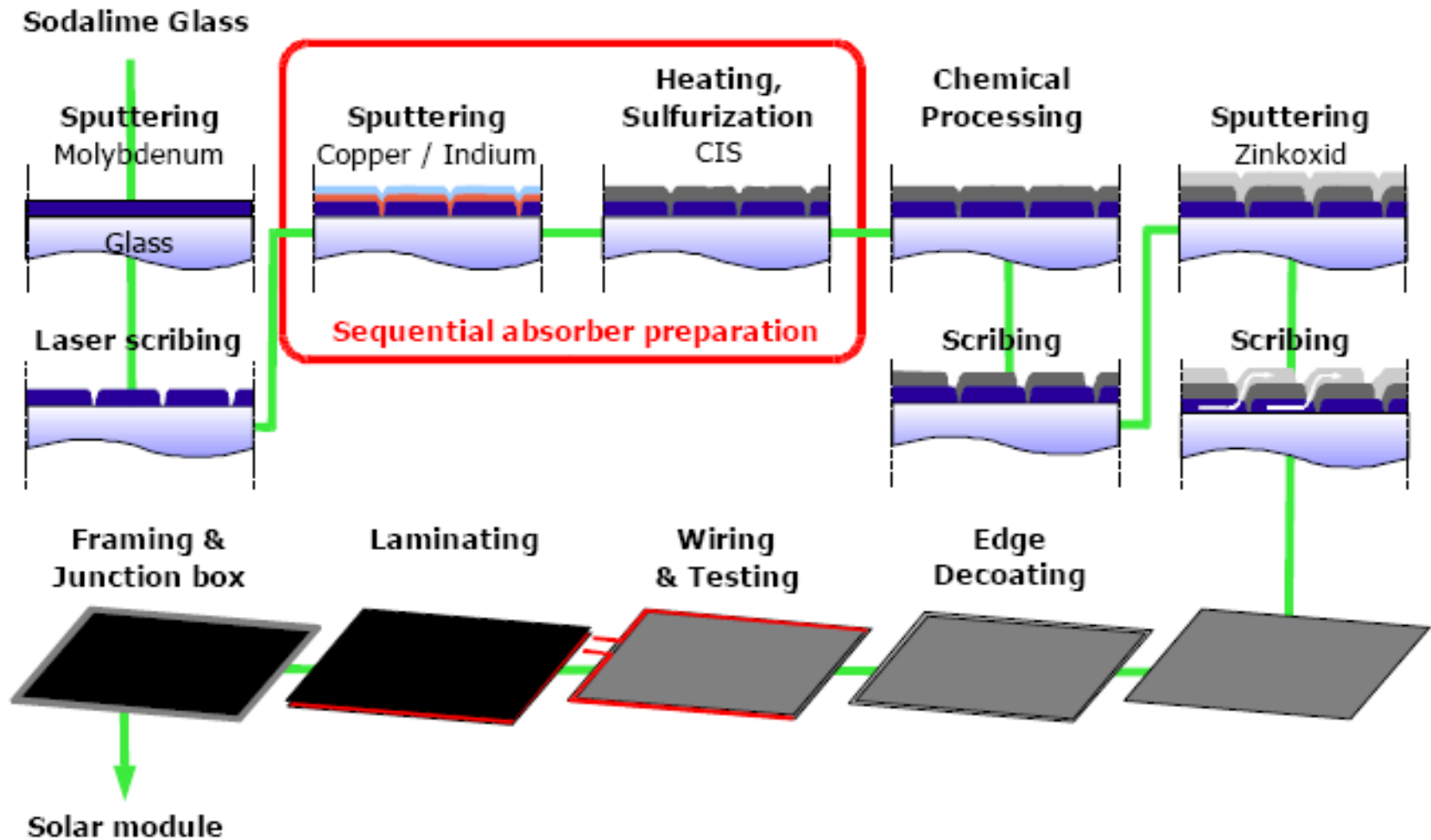
1. Pulvérisation de Mo: contact arrière
2. Pulvérisation de précurseurs de la couche active: Cu, In, Ga
3. Sélénisation (30-60 min à 400-500°C) par H<sub>2</sub>Se ou Se
4. Sulfuration par recuit (RTP) -> Eg augmente près de la face avant
5. Bain chimique -> dépôt de tampon CdS
6. Pulvérisation de ZnO: contact avant



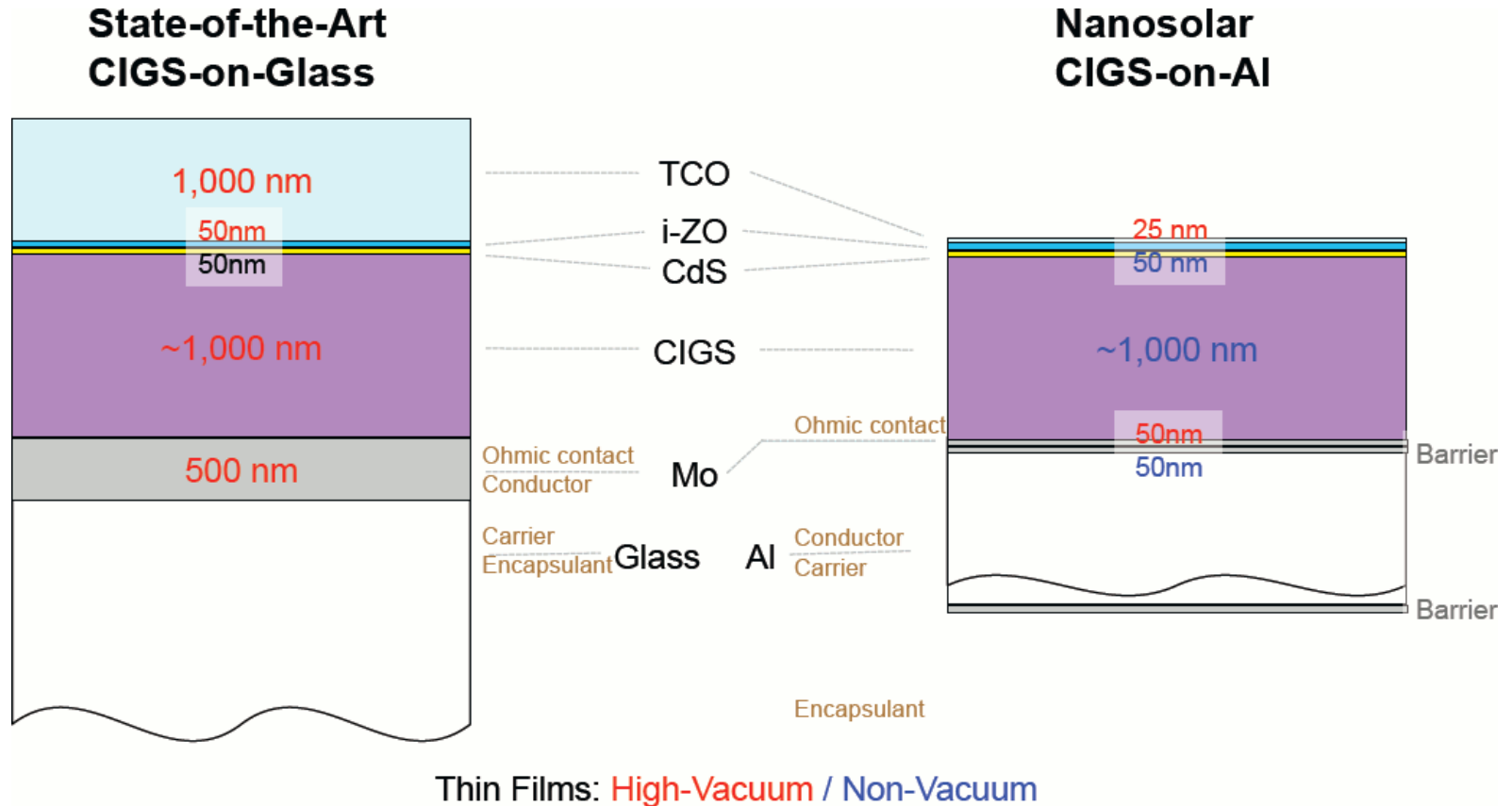
**Ligne de production pilote Shell Solar (largeur 60 cm)**

**Module CIS**





- La révolution par la baisse des coûts matière



- La révolution par le process

1. Pulvérisation cathodique (ou sérigraphie ?) de 50 nm de Mo sur feuille Alu doublé agissant en contact avant et arrière.
2. Sérigraphie d'une encre contenant des nanoparticules de précurseurs de la couche active: Cu, In, Ga, Se
3. Recuit (RTP)
4. Sérigraphie du ZnO (?)
5. Punch de trous
6. Contact avant repris par l'arrière
7. Mise en série
8. Encapsulation



### Volume cumulé à fin 2008

- **21 500 MWc** production mondiale cumulée dont **5 661** depuis le Japon (26 %), **6 114 MWc** depuis l'Europe (28%), **1 783** depuis les USA (8 %) et **7 957** Reste du Monde (37 %).
- Les installations cumulées: **14 450 MWc** fin 2008 pour les installations connectées au réseau et **16 600 MWc** tous segments confondus.

Les stocks ont encore augmenté (+ 4 900 MWc)

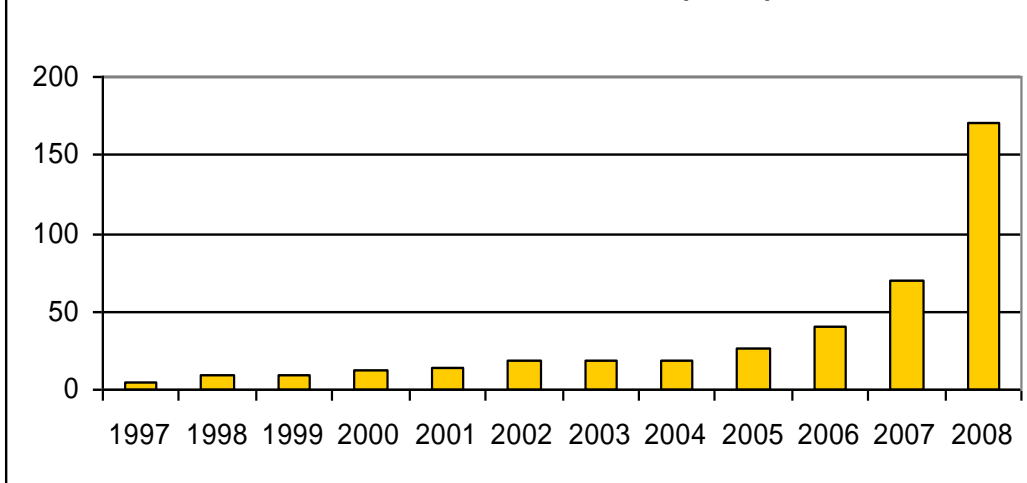
### Performances

- **6 - 16%** rendement d'ouverture , **20-25** ans de garantie performance

### Coûts

- **1.5 – 2.0 € / Wc** prix de vente usine modules
- **0.25 - 0.50 € / kWh** réseaux distribués
- **0.20 - 0.40 € / kWh** centrales solaires

PV en France + Dom Tom (MWc)

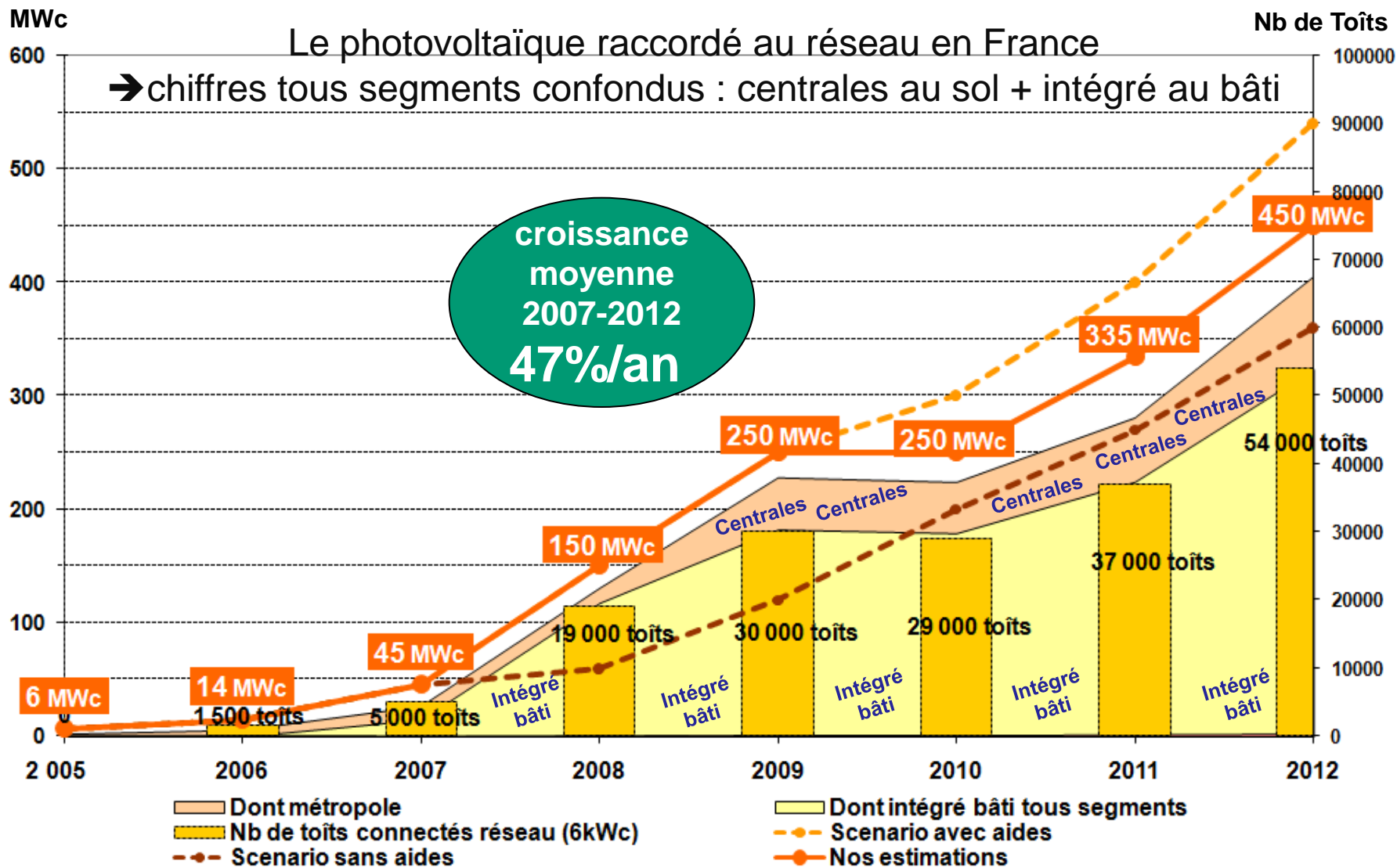


## Inconvénients

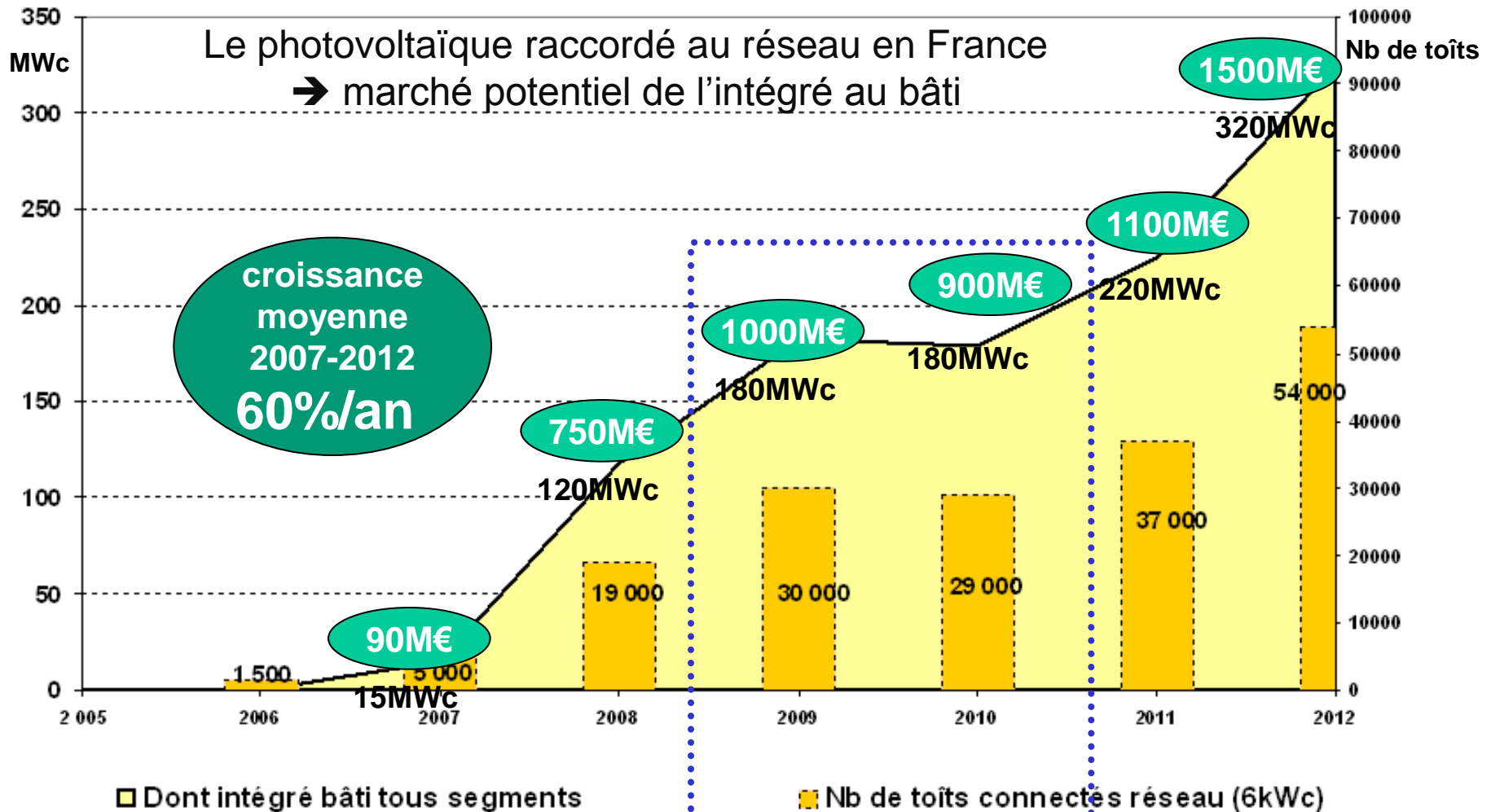
- Barrières administratives ...
- Connection réseau: files d'attente...
- Déficit de distributeurs, d'installateurs
- Démarrage laborieux de la certification CSTB (ATEC)
- Temps de retour systèmes rapportés au bâti et non intégrés (30 c€/kWh) : > 15 ans
- Fiscalité changeante

## • Avantages

- Bon ensoleillement
- Excellente notoriété auprès du grand public
- Compétition ouverte, le premier arrivé est le premier servi
- Le meilleur tarif au monde : 60 c€/kWh pour l'intégré au bâti
- Crédit d'impôt de 50% pour le matériel jusqu'à 8000 € sur 5 ans
- Temps de retour systèmes intégrés 3 kW < 10 ans
- Démarrage facilité par la présence historique de trois acteurs : PHOTOWATT, TENESOL, et BP SOLAR



Source : SOLAPRO données historiques ADEME jusqu'en 2007 estimations EPIA corrigées 2008-2012



Source : SOLAPRO données historiques ADEME jusqu'en 2007 estimations EPIA corrigées 2008-2012

- Des offres « clés en mains » financement compris principalement en vente directe à domicile aux particuliers type « push »

<p><b>1</b></p> <p><b>PHOTON TECHNOLOGIES</b> ~40M€ Partenaire et filiale EDF</p> <p><b>evasol</b> ~30M€ Partenaire Teneosol</p>	<p><b>3</b></p> <p><b>TRYBA solar</b> ~1 à 5M€ Tryba fenêtre</p> <p><b>KPAR</b> ~1 à 5M€ KparK (St-Gobain)</p> <p><b>energia</b> ~5-10M€ Concessions</p> <p><b>IDEM</b> ~5-10M€ Côté au ML</p>
<p><b>2</b></p> <p><b>solairedirect</b> ~30M€ Opérateur financé VC</p> <p><b>SUNNCO</b> ~20M€ Installateur financé BA</p>	<p><b>soleil en tête</b> 'n'M€ Franchise</p> <p><b>CLIPSOLEIL</b> 'n'M€ Concessions</p>
<p><b>4</b></p> <p><b>Cervin</b> +/-15M€ Côté au ML, Franchise</p> <p><b>Facilasol</b> 13M€ Côté au ML</p>	<p><b>PANGSOL</b> ~5-10M€</p> <p><b>solewa</b> ~5-10M€</p> <p><b>solargie</b> ~5-10M€</p> <p><b>midisolaire</b> 'n'M€</p> <p>Etc...</p>



- *Deux raisons structurelles et une raison conjoncturelle.*
- *Elle arrive trop tard: depuis 2001, la loi EEG a d'abord favorisé l'essor du marché allemand et la concurrence la plus acharnée provient désormais de Chine et de Taïwan ... grâce à l'Allemagne qui, profitant de sa forte tradition de pourvoyeur de machines-outil, a su exporter les lignes de production clé en mains vers les pays émergent. La France ne sait pas faire cela.*
- *La deuxième raison structurelle, est la conséquence du choix de 1974 d'avoir fondé notre production d'énergie électrique sur le tout nucléaire. Ce choix a stérilisé pour plusieurs décennies les recherches sur les énergies alternatives. On en paye aujourd'hui les conséquences.*
- *L'augmentation vertigineuse des capacités de production ainsi que l'apparition continuelle de nouveaux acteurs, ont entraîné l'industrie mondiale dans une situation de surcapacité, l'offre surpassant largement la demande depuis un an (près de 8 500 MWc de modules en stock à fin 2009)*

- *Options possibles ? Stratégie de suiveur ou stratégie de rupture ?*
- *Produire à bas coûts des technologies standards ? Trop tard ! Les chinois sont omiprésents. Même par rapport à des concurrents européens, l'écart de taille et d'expérience semble impossible à combler. Chaque année, Photowatt perd des parts de marché*
- *Se concentrer sur quelques niches ? Spécificité de l'intégration au bâti.*
- *La recherche et l'innovation ? l'INES doit travailler sur les fondements de la conversion photovoltaïque - il y a 20 points de rendement à gagner sur les cellules multi-spectrales - et aussi sur les nouvelles techniques de croissance du Silicium en couches minces, sur les nouvelles méthodes de dépôt du CIGS. L'avantage technologique devrait donc devenir le critère prépondérant. Des innovations de rupture permettant de dépasser les rendements théoriques des cellules simple jonction (24%) pourraient modifier la donne.*

- *Pour recréer de vraies filières industrielles, il faut d'abord être maître de technologies bordées par de la propriété intellectuelle, savoir la transférer sur un pilote avec de bons ingénieurs process, trouver facilement l'argent pour investir (les montants actuels sont de l'ordre de 400 M€ pour une unité de 200 MWc),*
- *Seul First Solar a trouvé la bonne combinaison (augmentation des rendements à 11%, tout en réduisant les coûts à 1\$/Wp) – mais sur un matériau jugé politiquement incorrect. Il reste donc de bonnes idées à trouver du côté des couches minces au CIGS ou du silicium micro cristallin.*
- *Pour relancer l'embryon d'une industrie en France, il faut donc investir massivement dans la recherche, privée et publique, et assurer des ponts entre les deux pour favoriser les transferts de technologie. C'est ce qu'essaye de faire le CEA depuis trois ans avec l'aide du crédit d'impôt recherche.*
- *Les pouvoirs publics devront être également capables de mettre en place les structures nécessaires pour favoriser la croissance rapide de nouvelles entreprises. Mais ... « On ne résout pas un problème avec les modes de pensée qui l'ont engendré » (Albert Einstein).*

- *Enfin, avant de se demander comment la volonté politique pourra se traduire en une réalité industrielle durable, ne devrions-nous pas commencer par structurer la **filière aval** dont on sait que c'est elle qui sera créatrice d'**emplois locaux non délocalisables**.*
- *Entre l'installateur local débordé, le bureau d'études pas formé, la start-up enchantée, le grand groupe prédateur, et les distributeurs inexistantes - l'effervescence actuelle créée par le **tarif à la française** suscite une **joyeuse pagaille** que les allemands observent avec envie et... **circonspection**.*



CIGS sérigraphié

En partenariat avec le CEA-LITEN et  
le CEA Investissements



Objectifs: Rendements à 11% sur du 15 x 15 en 2012

Rendements en production > 13% sur 60 x 120  
et coût module < 0.5 €/Wc en 2015

En façade : mur rideau, allèges, bardage



En pare  
soleil



En verrière





Programme SPACE Transférer à l'échelle industrielle les résultats déjà obtenus en labo



Organiser les efforts de la filière autour du même objectif industriel



Partager le risque avec les investisseurs privés afin de déclencher l'investissement



**Les objectifs:**



**Réduction du coût à 1€/Wc dès 2012**

**Rendements à 12% en petite dimension en 2015**



**Construire un pilote** partie intégrante d'une plateforme de R&D :

✓ Pour confirmer le transfert en grande taille (1,1 x 1,3 m) des technologies développées par le LPICM et Solems

✓ Pour assurer une évolution continue des produits et procédés (rendement porté à plus de 12%, coût en baisse)

**Construire un LabFab clé en main** capable:

✓ De livrer le marché dès 2011

✓ D'accueillir dès 2012 les procédés améliorés qui auront été mis au point dans le pilote

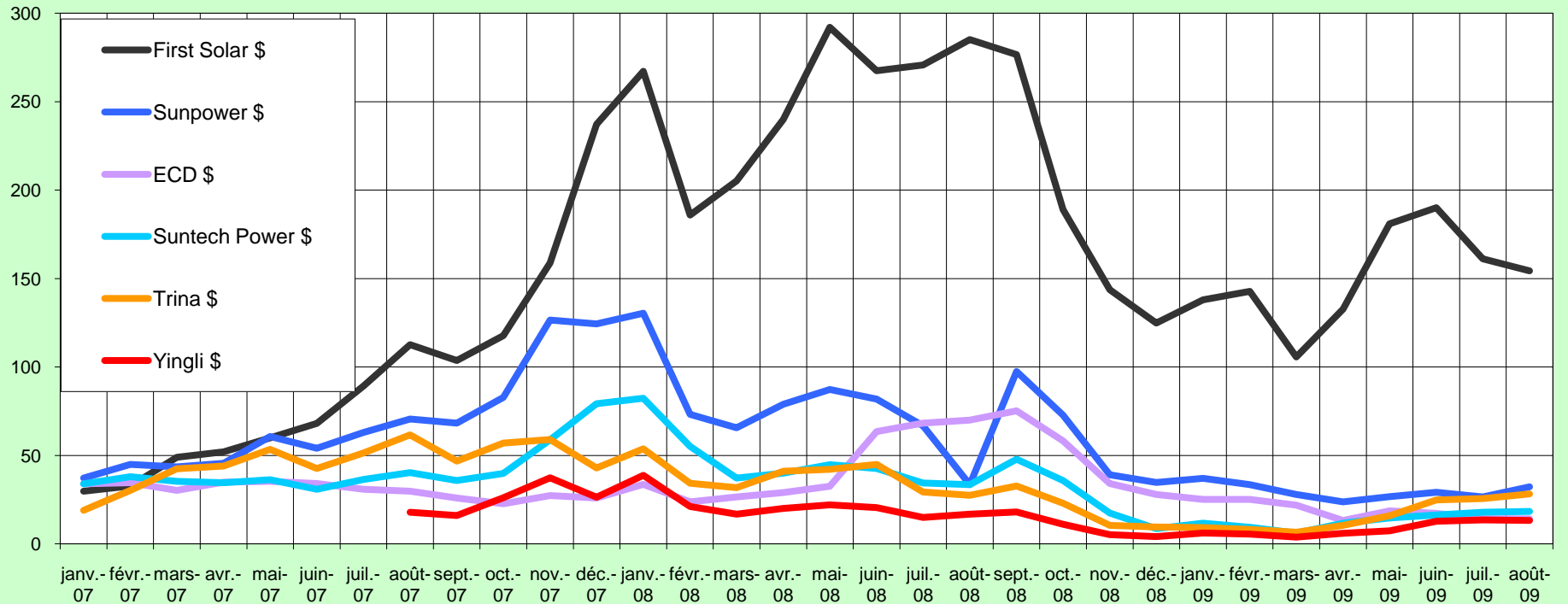




# Stock index

*The fabulous story of First Solar...*

**PPVX stock index in USD**  
(Source Photon International)



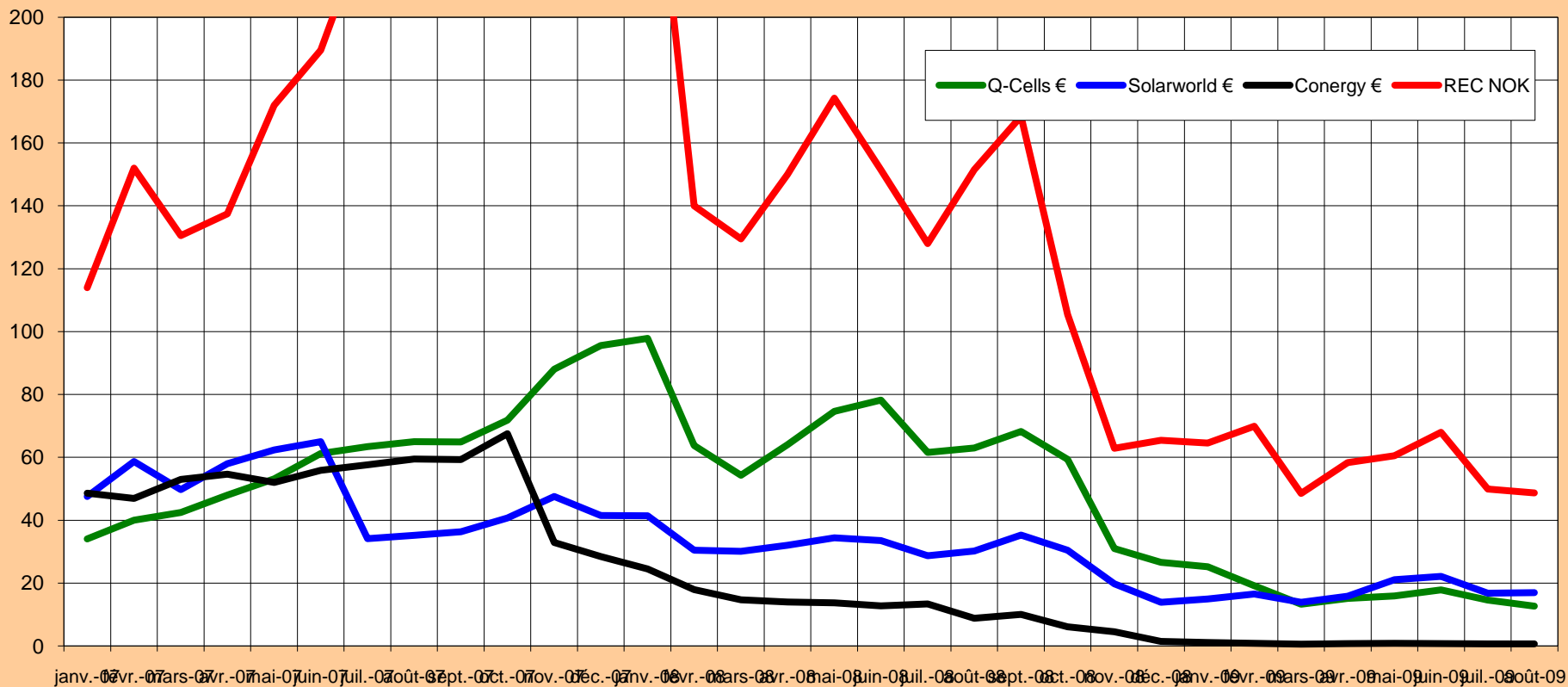


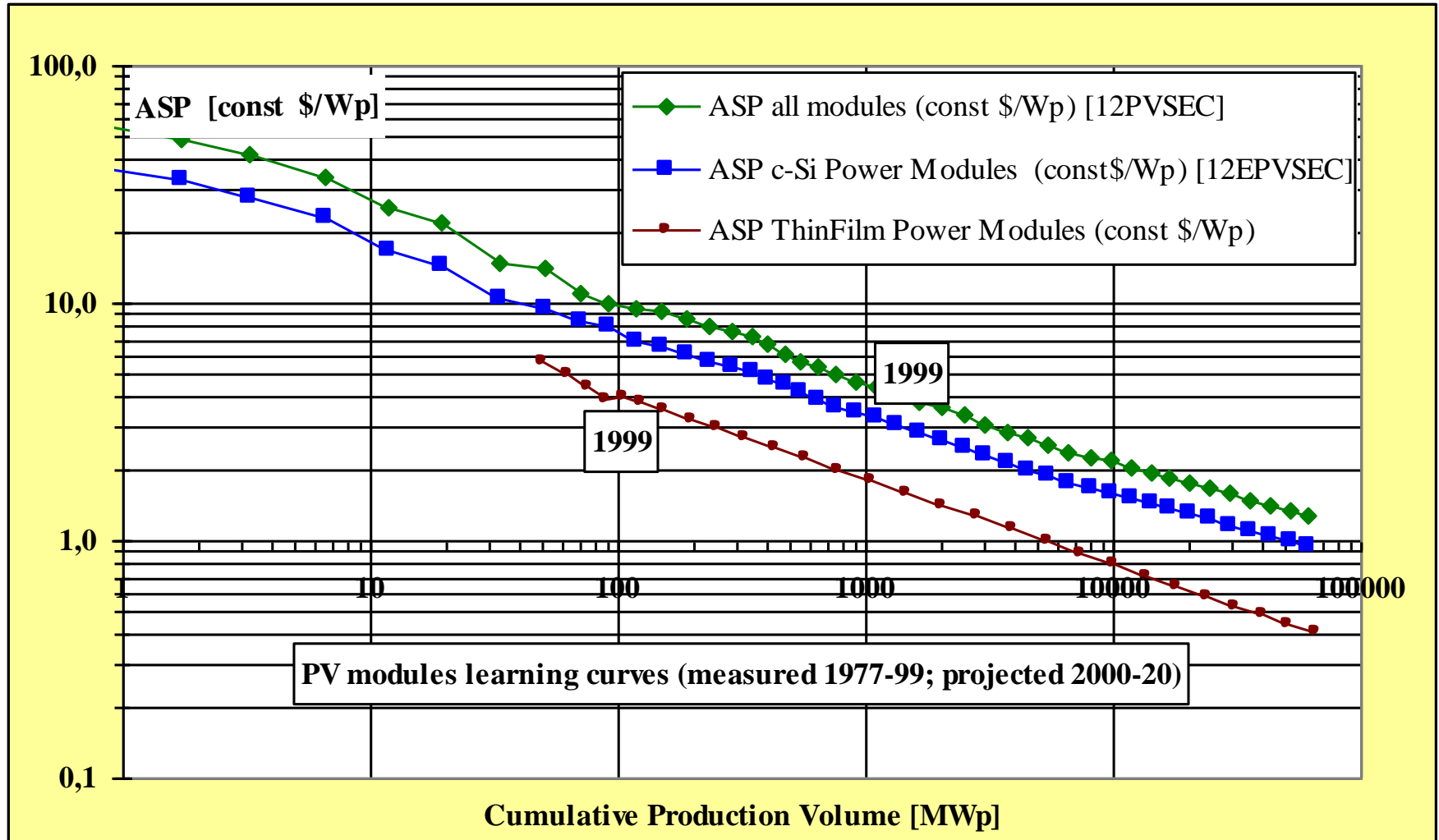
# Stock index

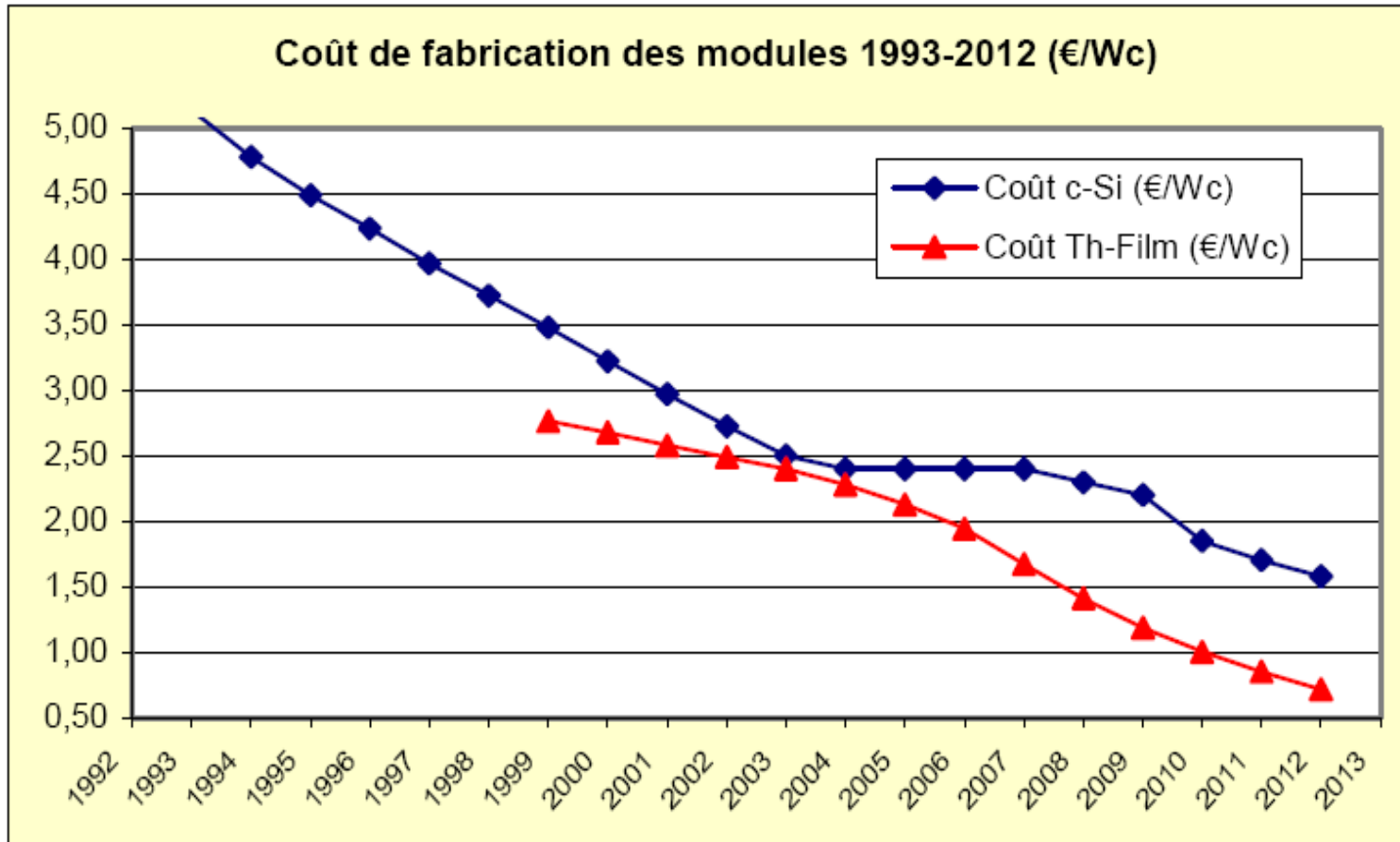
## REC, a rocky road toward profitability...

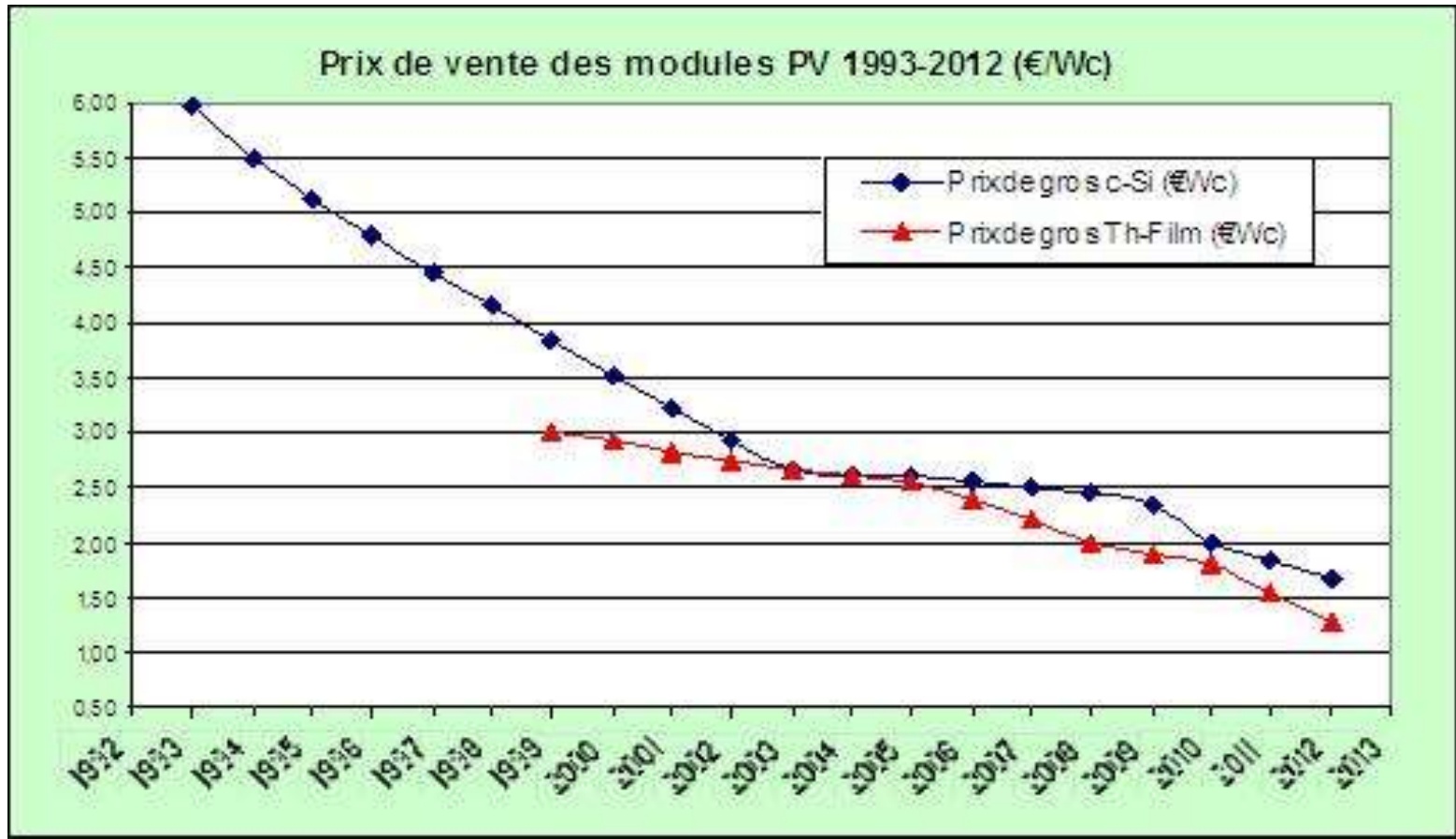
PPVX stock index in €

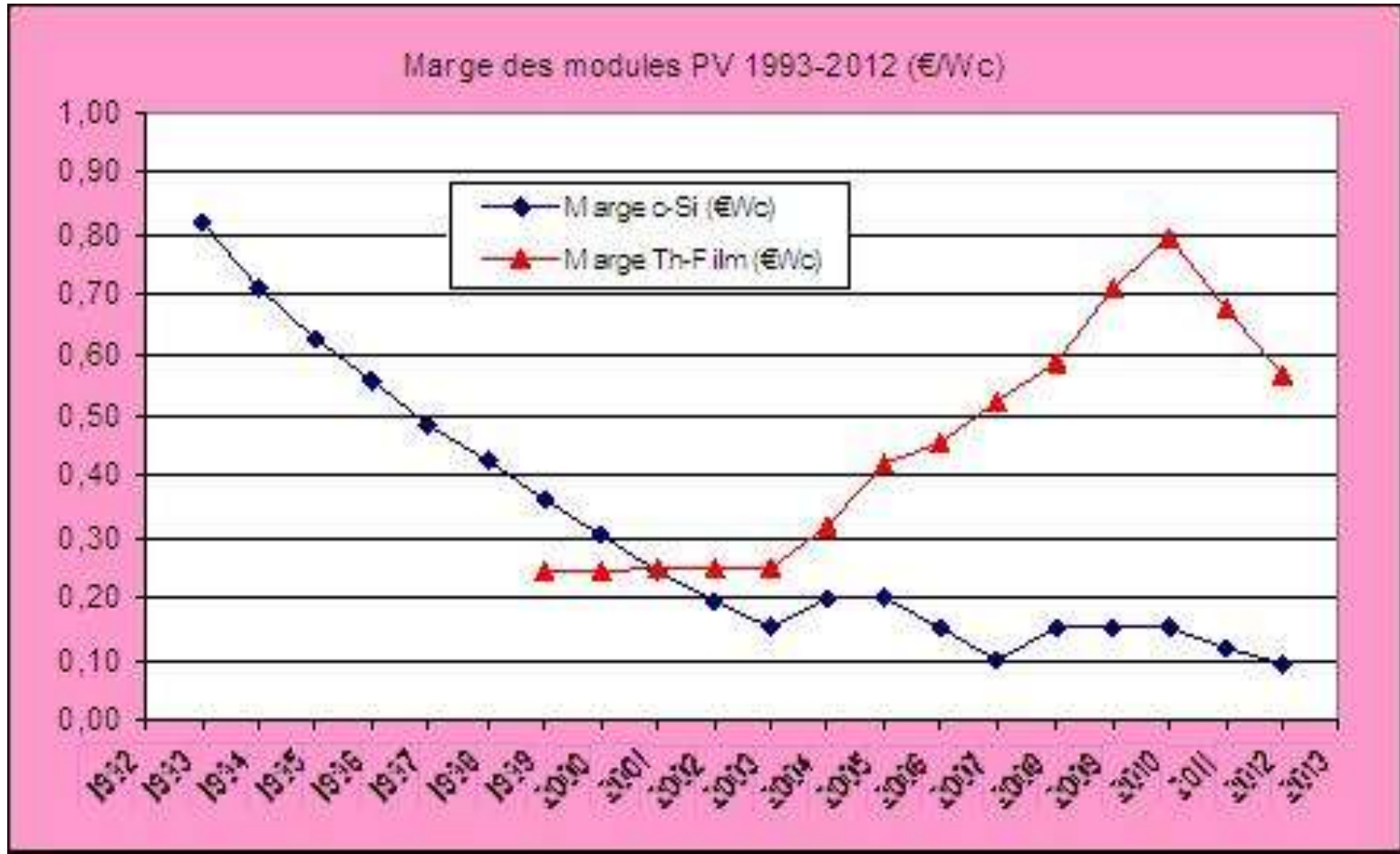
(Source Photon International)







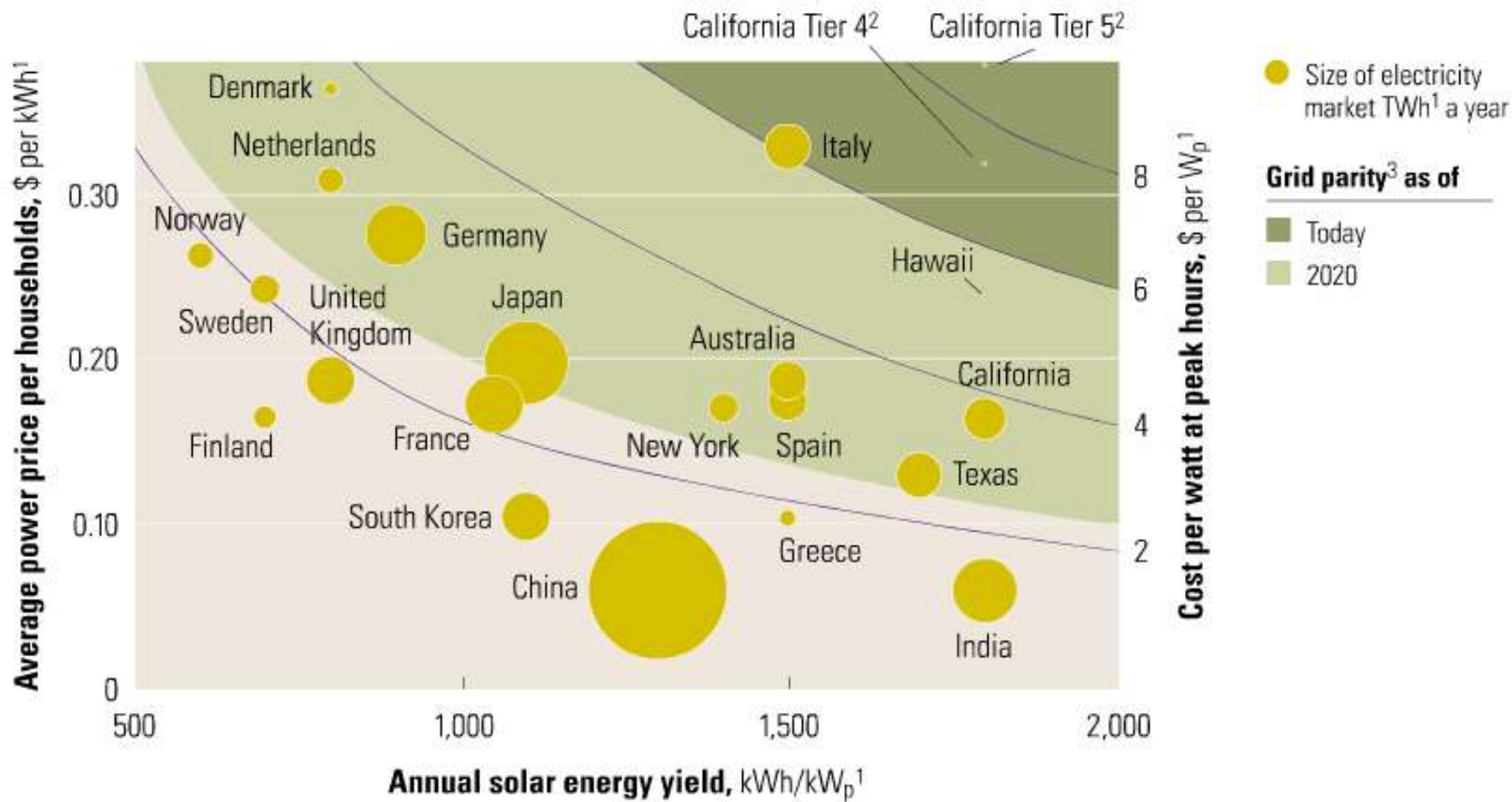






# Prospective

## Prévision de prix du kWh solaire / prix du réseau



Source : [http://www.mckinseyquarterly.com/Energy\\_Resources\\_Materials/Strategy\\_Analysis/The\\_economics\\_of\\_solar\\_power\\_2161](http://www.mckinseyquarterly.com/Energy_Resources_Materials/Strategy_Analysis/The_economics_of_solar_power_2161)

- Les couches minces (a-Si:H, CdTe, CIGS) existent en pilote depuis plus de 20 ans
- Elles ont un grand avenir industriel au cours des 10 ans qui viennent.
- Les conditions de leur productions en France sont liées à la R&D et à la propriété industrielle
- Plusieurs acteurs français se positionnent en 2009: 44 SOLAR, NEXCIS, SCREEN SOLAR, SOLSIA.
- Un coût de production des modules  $< 0.5 \text{ € /Wc}$  pourrait assurer la parité réseau en France dès 2015.