

Solaire Photovoltaïque

Programmes PSPV 2005-2007, HABISOL 2008-2010

Bilan et perspectives scientifiques

Daniel Lincot, vice-président du comité HABISOL

Remerciements : Pascal Bain

Contexte

Solaire PV Habisol Progelec

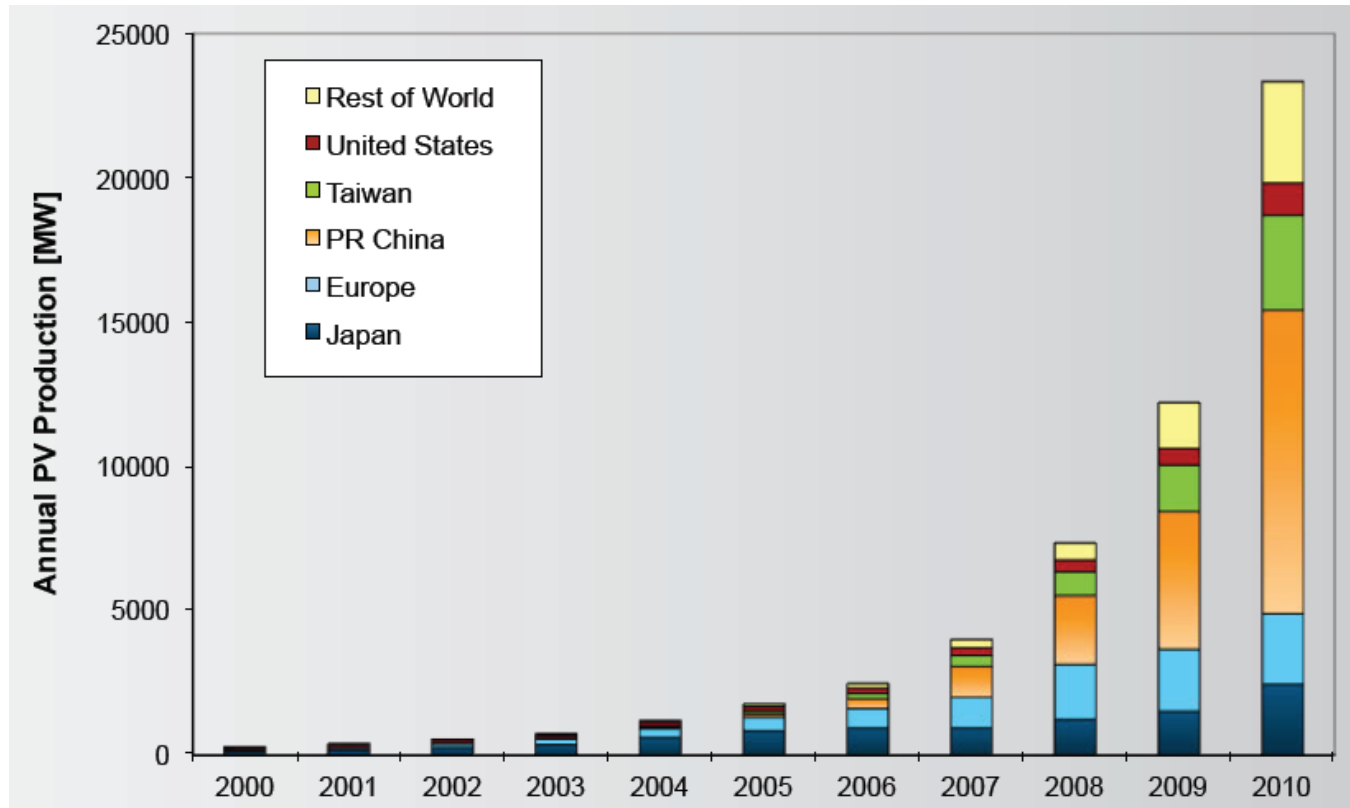
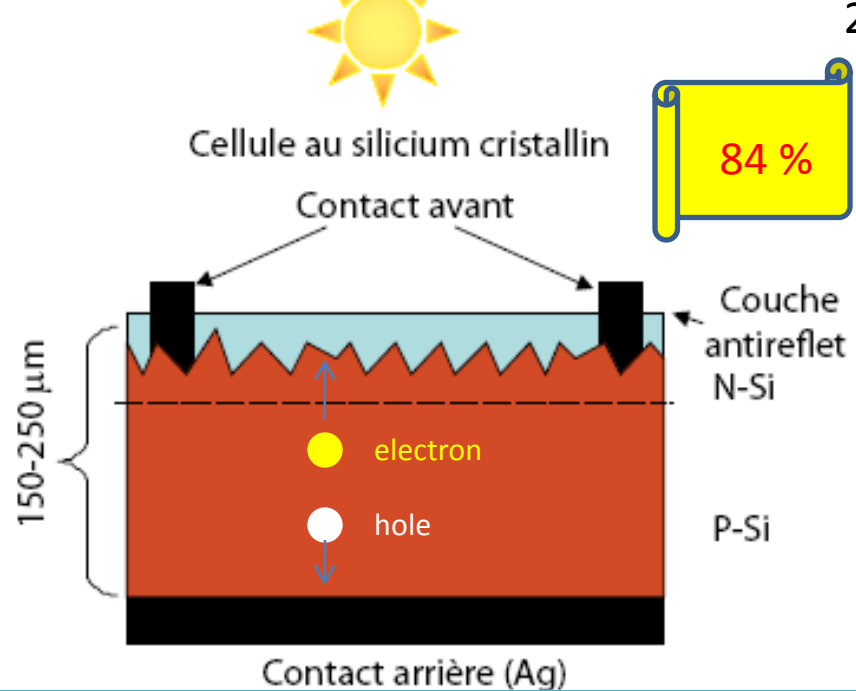


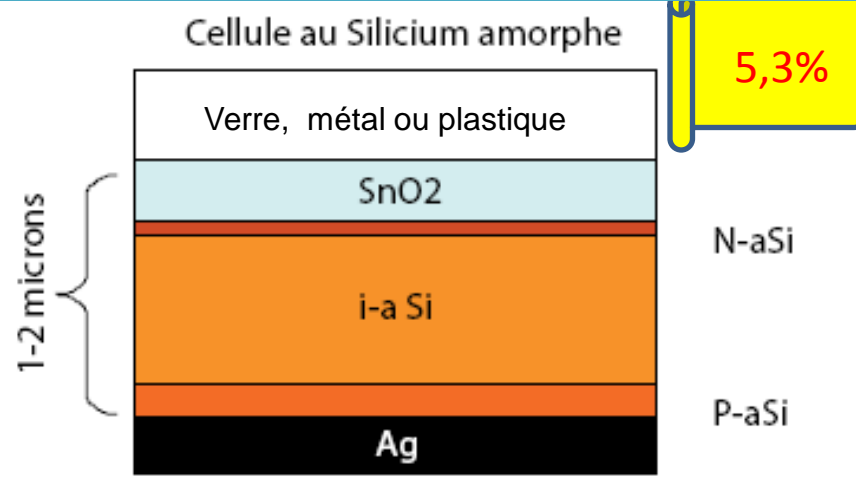
Fig. 1: World PV Cell/Module Production from 2000 to 2010
(data source: Navigant [Min 2010, 2011], Photon International [Pho 2011], PV News [Pvn 2011] and own analysis)

Source : PV Status 2011, A. Jaeger Waldau



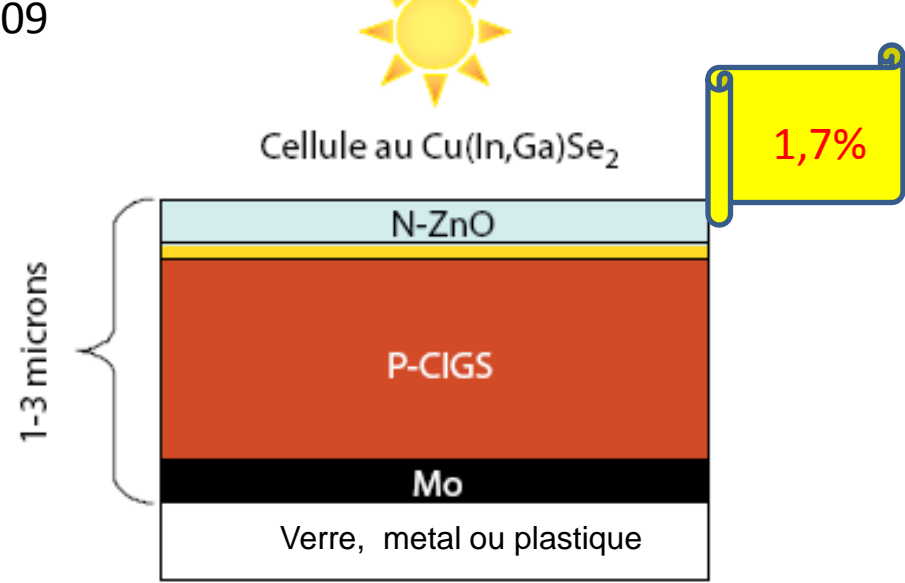
84 %

Max Cell : 25% Mc 20 %pc Mod : 13-20 %



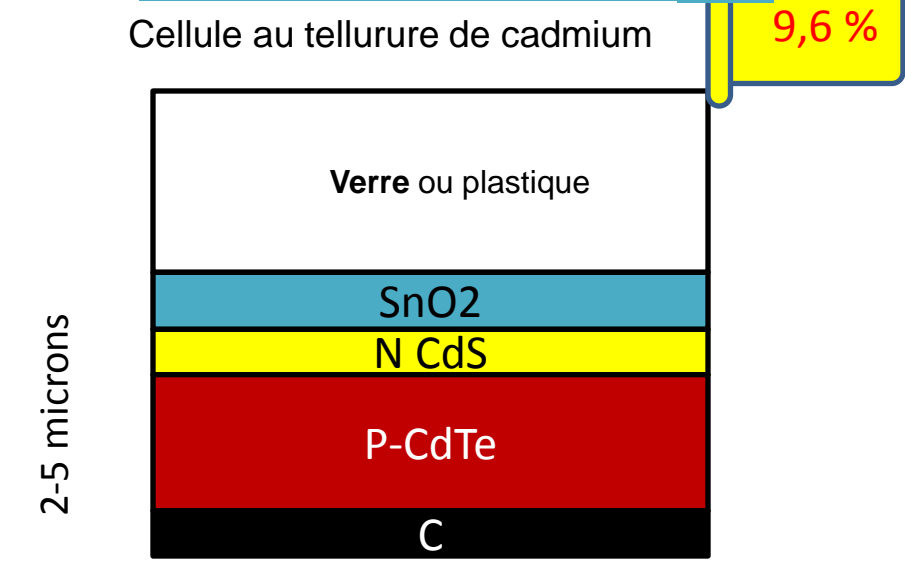
5,3%

Max Cell : 13% Mod : 6-10 %



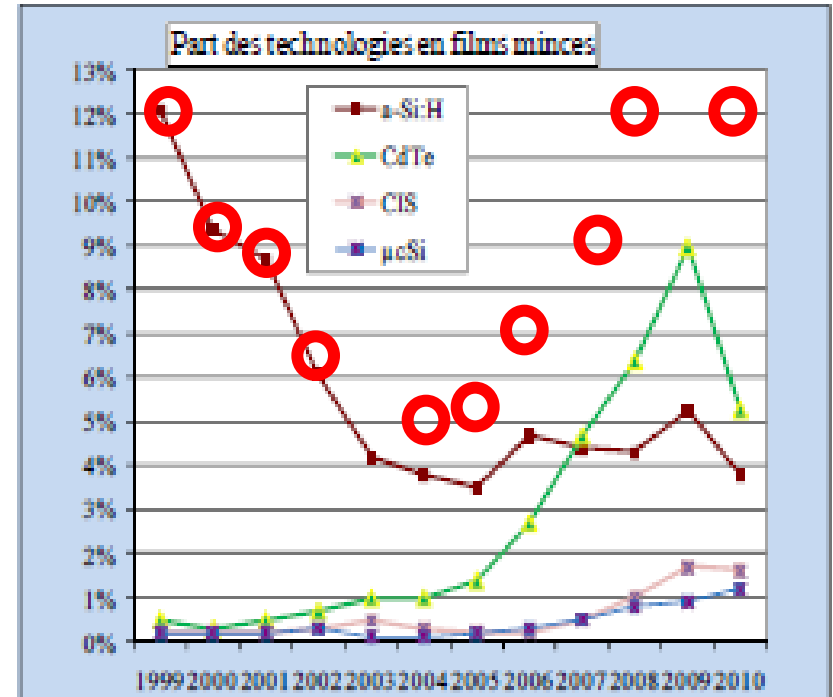
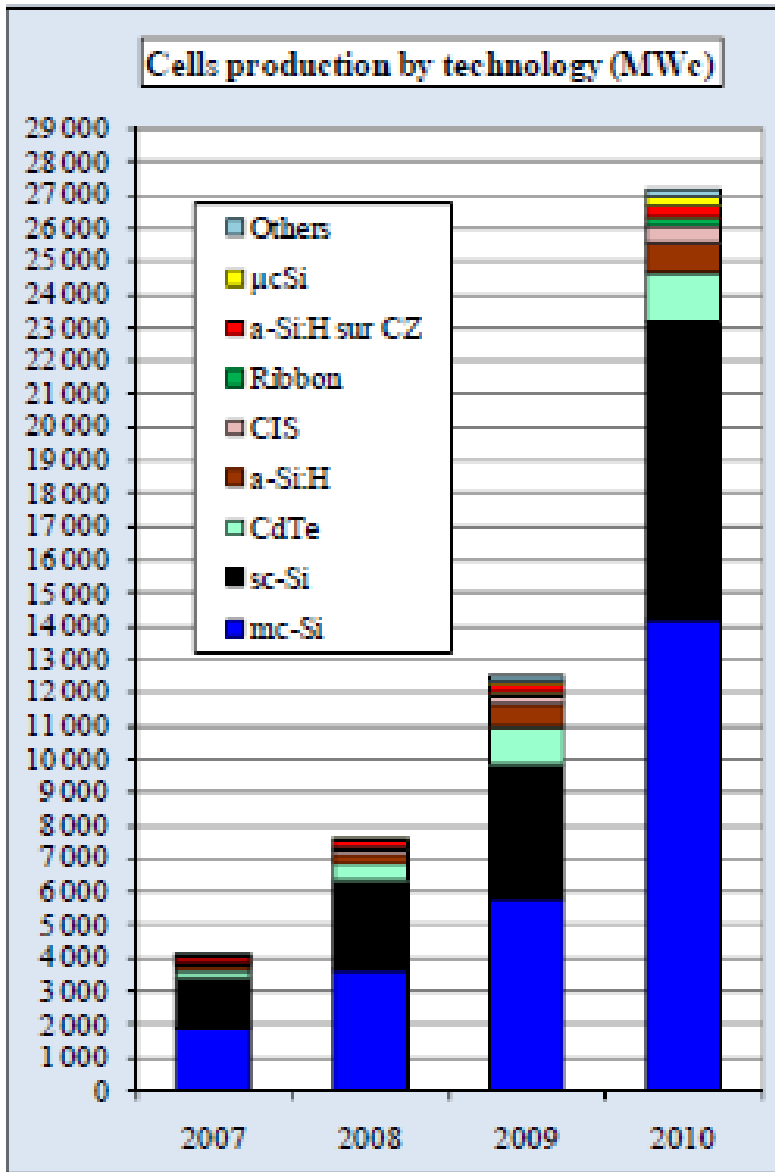
1,7%

Max Cell : 20% Mod : 11-15 %



9,6%

Max Cell : 17% Mod : 10-12 %



Source : Cythelia, La lettre du Solaire Avril 2011

Une réduction spectaculaire des prix des modules photovoltaïques



Vers la parité réseau (2011-2015)

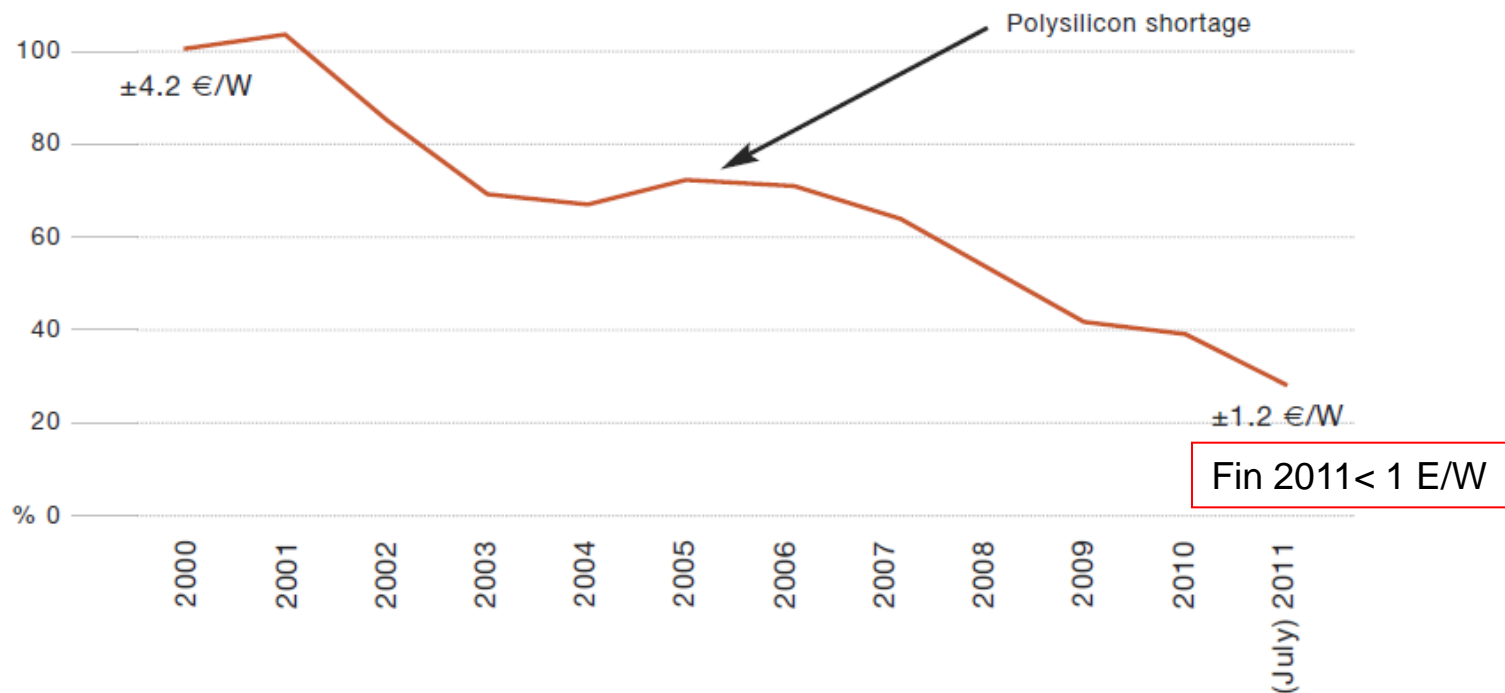
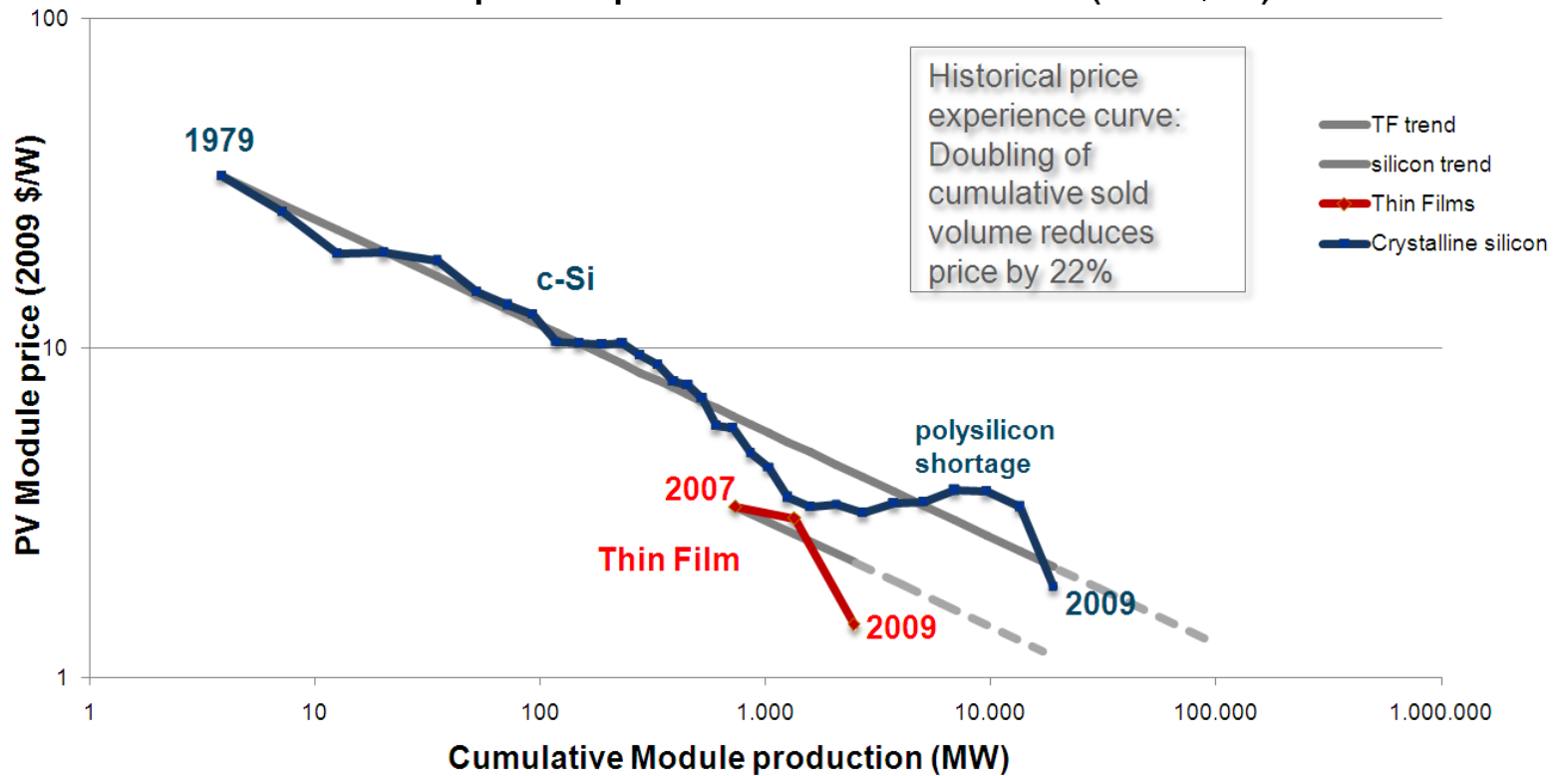
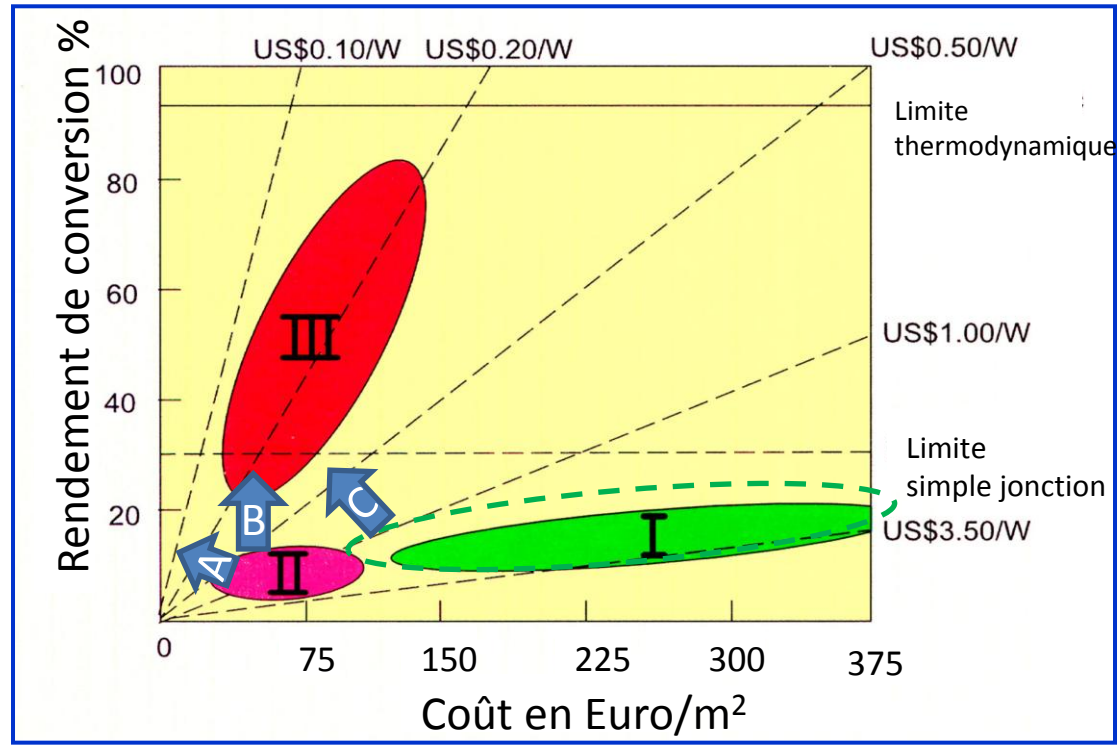


Figure 3 - Evolution of the average PV module price in Europe

source: Price data based on Paula Mints (Navigant Consulting).

PV Module price experience Curve since 1979 (2009 \$/W)





I- Silicium cristallin (état de l'art actuel)

II- Couches minces (état de l'art actuel)

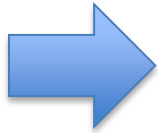
III- Multijonctions et nouveaux concepts très haut rendement (perspective)

A-B Positionnement stratégique de s couches minces

C Positionnement stratégique Silicium Wafer

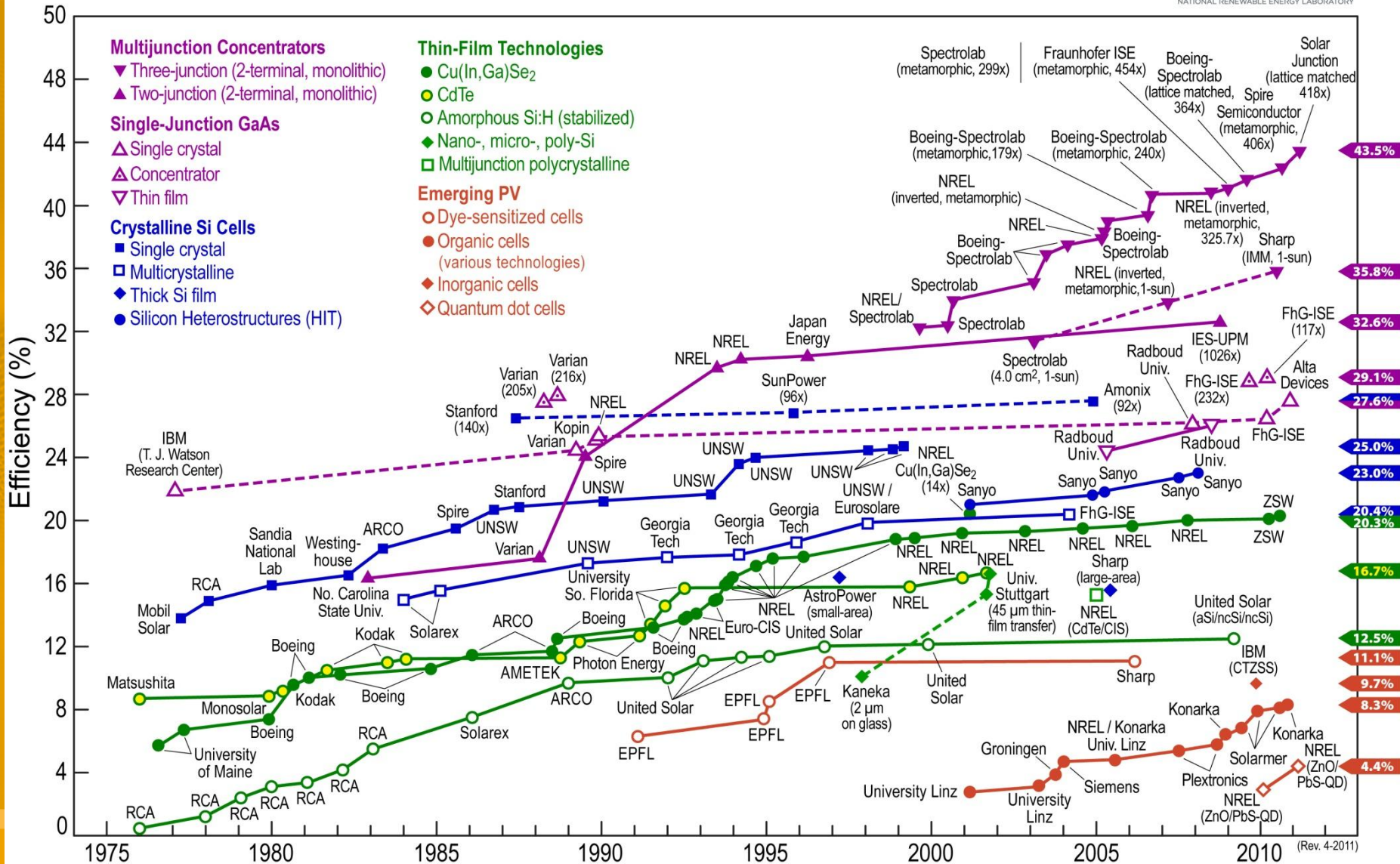
Éléments stratégiques

- Diminution des coûts de production
 - Procédés
 - Coûts des matières premières
 - Economies de matière (couches plus fines)
 - Effets d'échelle
- Augmentation des rendements



Recherches incrémentales
Recherche de ruptures

Best Research-Cell Efficiencies



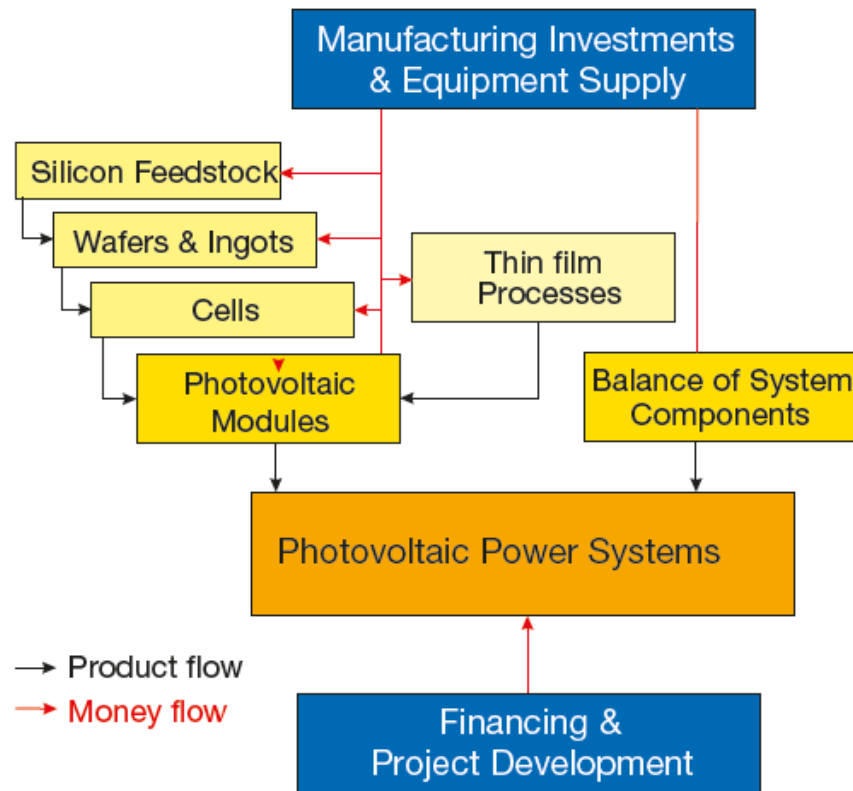


Figure 11 – Photovoltaic (PV) industry supply chain

Objectifs et positionnement du programme ANR

Les objectifs du programme de recherche:

- **Attirer des équipes de recherche** (chimie, sciences des matériaux, nanotechnologies...) qui ne s'étaient pas intéressées à ce domaine mais qui peuvent apporter des innovations permettant de se différencier, dans un marché mondial très concurrentiel.
- **Accélérer le transfert des résultats de travaux de recherche fondamentale académique vers une recherche industrielle en partenariat public/privé**, afin booster la compétitivité d'acteurs industriels français.
- **Viser des créneaux à forte valeur ajoutée**, où les jeux ne sont pas encore faits.
- **Structuration de la recherche pour gagner en efficacité**

Les impacts visés:

- réduire le rapport €/kWh électrique produit : la R&D joue sur le **coût de fabrication** (€), le **rendement** (Wc) et la **durée de vie** (h).
- développer les technologies pour une **intégration fonctionnelle** (connectiques, onduleur, électronique...) et **architecturale** (photovoltaïque intégré en toiture) dans le bâtiment

Thématiques et objectifs des programmes ANR

Filières du silicium cristallin massif

- optimisation des procédés de fabrication, utilisation de matières premières moins chères
- objectifs : augmentation des rendements et baisse des coûts

Filières des couches minces, silicium et CIGS

- procédés bas coûts, utilisation de nouveaux substrats, nouvelles architectures, économies matière
- objectifs : augmentation des rendements et fiabilité

Nouveaux concepts photovoltaïques

- voie des très bas coûts avec le solaire organique et hybride
- voie des très hauts rendements : multijonctions, nano-structuration, ingénierie photonique...

Systèmes photovoltaïques et intégration au réseau électrique

- onduleurs, génie électrique, systèmes de gestion multi sources
- objectifs : gestion optimisée de l'énergie photovoltaïque

Un bilan chiffré des projets ANR 2005-2010

Nombre de projets financés : 56 sur 156 propositions

Taux de sélection : 36 % (mais en baisse continue depuis 2005: 24 % en 2010)

Nombre moyen d'équipes par projet : 5.7

Aide totale apportée par l'ANR : 46,9 M€

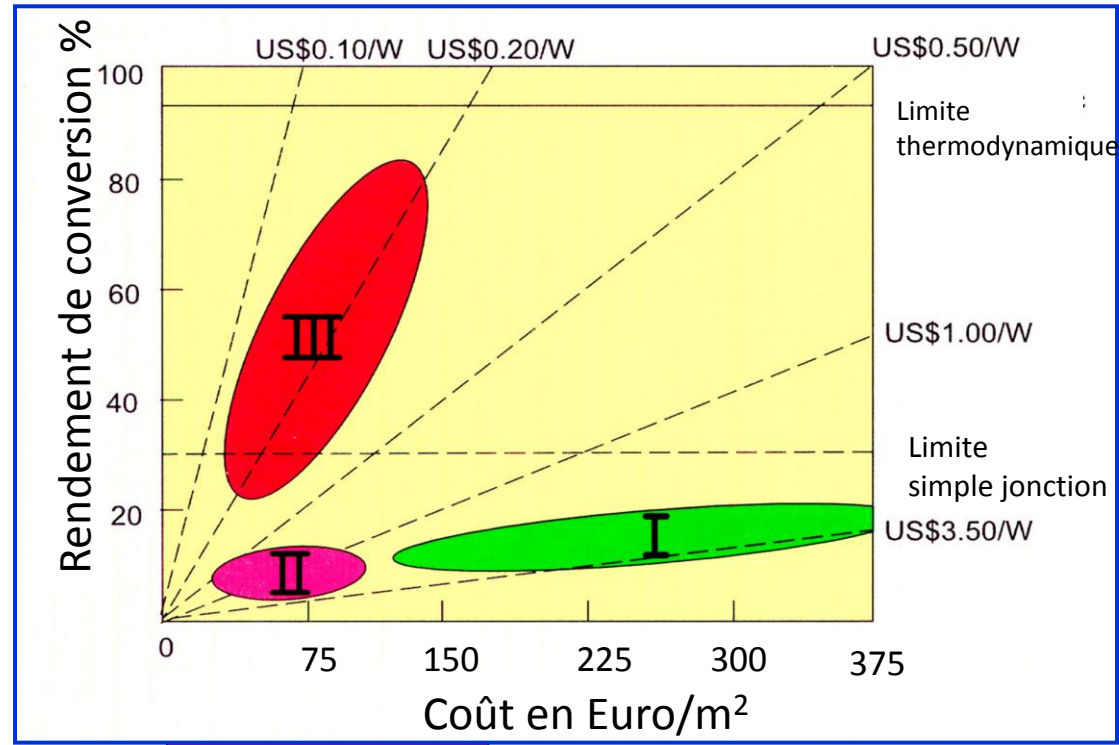
Montant moyen financé par projet : 840 k€

Aide aux entreprises : 25% de l'aide totale

Pourcentage de projets labellisés par un pôle: 46%

Distribution thématique des projets 2005-2010

**Nouveaux Concepts
Très hauts rendements
7 projets**



**Nouveaux concepts
Solaire PV organique
11 projets**

**Couches minces Si
6 projets**

**Couches minces
CIS
5 projets**

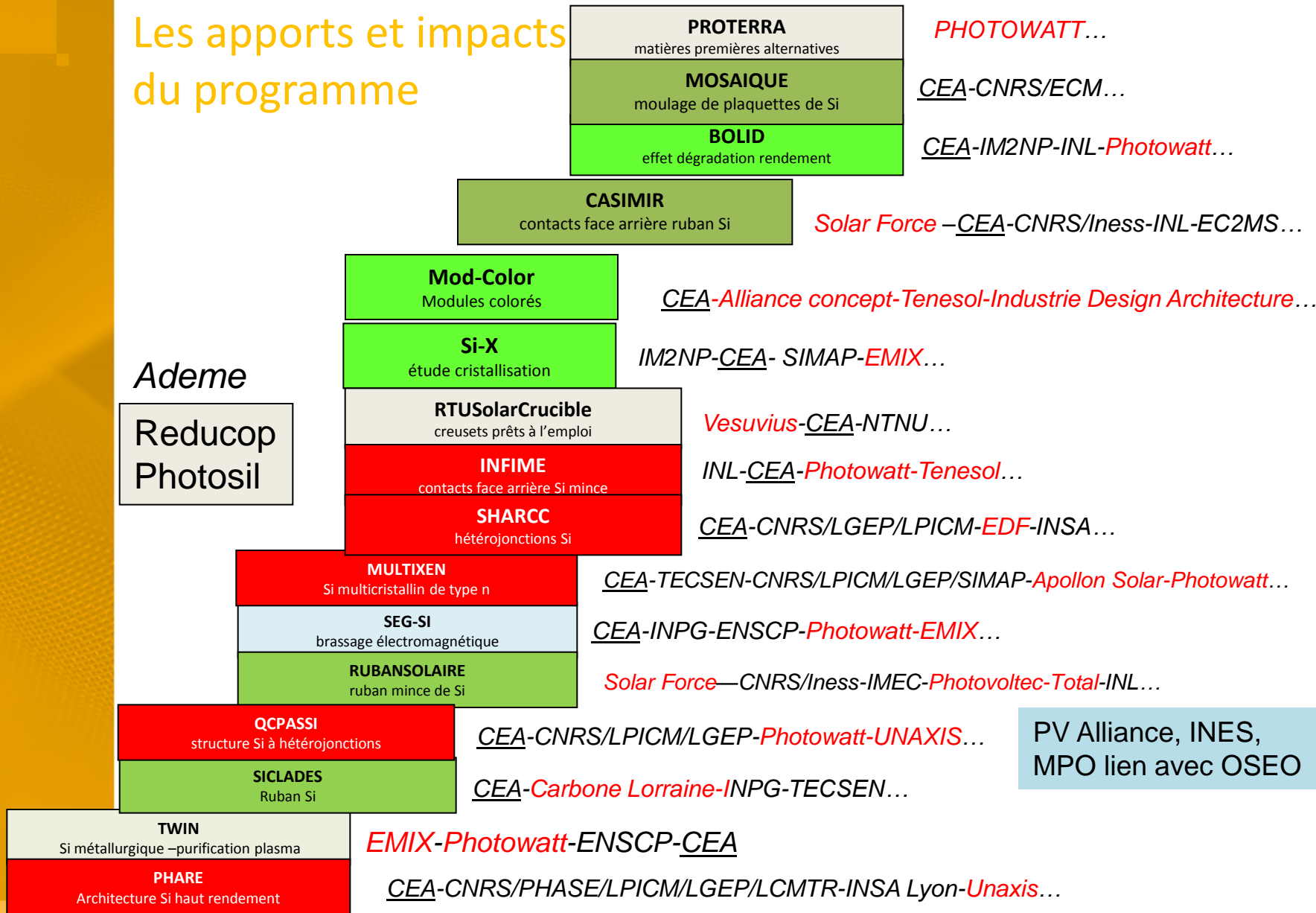
**Si cristallin
massif
16 projets**

**Systèmes photovoltaïques
11 projets**

Les apports et impacts du programme

Ademe

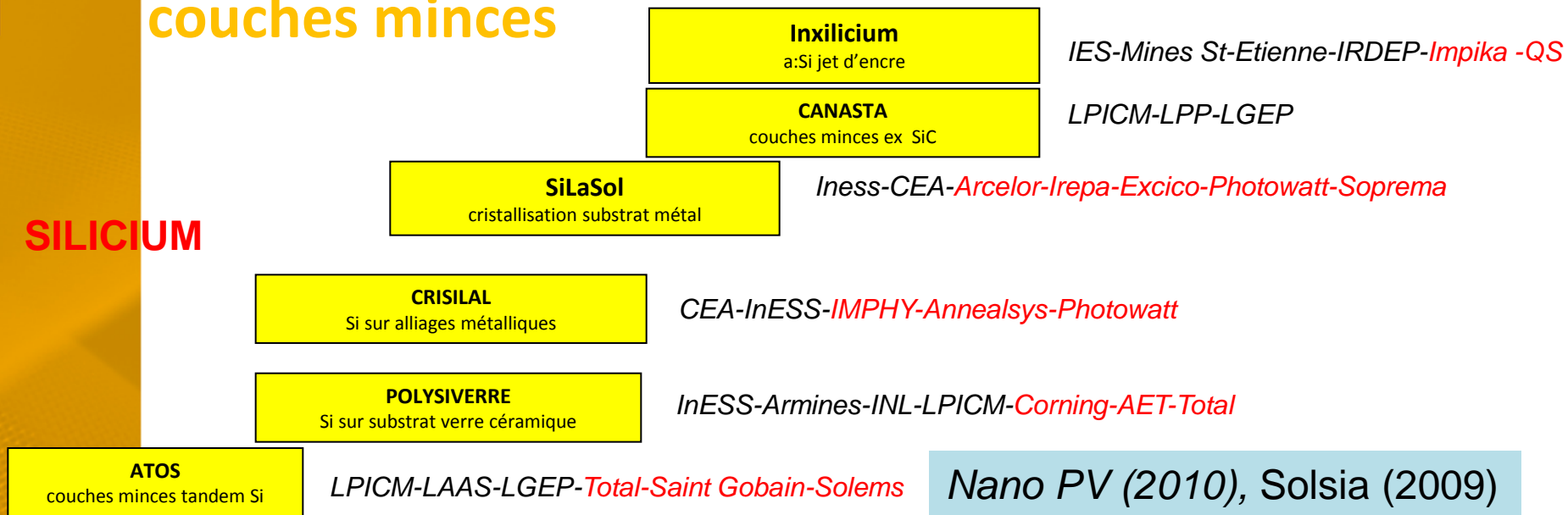
Reducop
Photosil



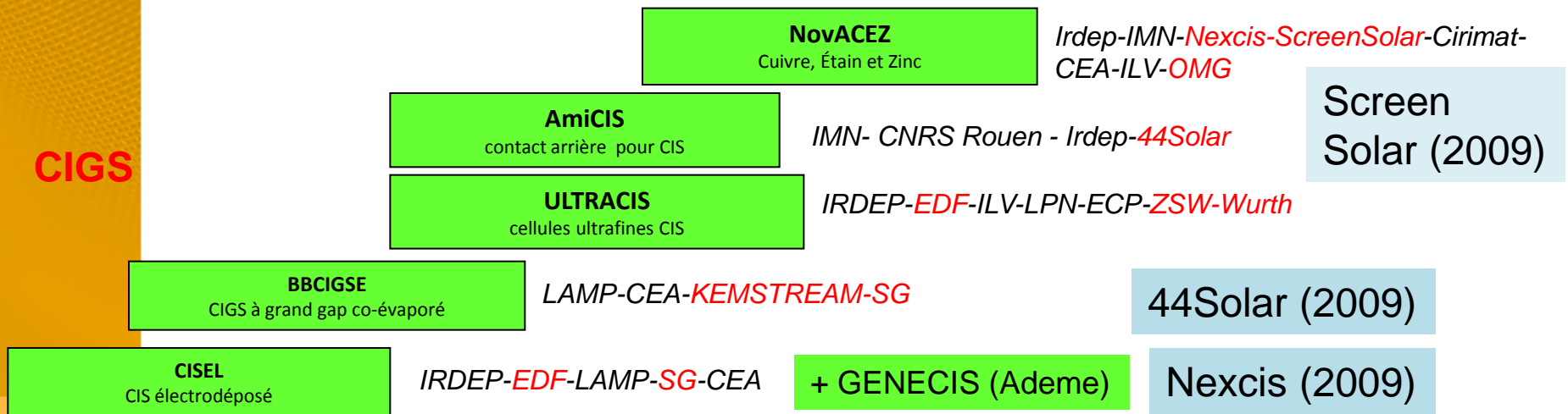
2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015

Les apports et impacts du programme : Filières couches minces

SILICIUM

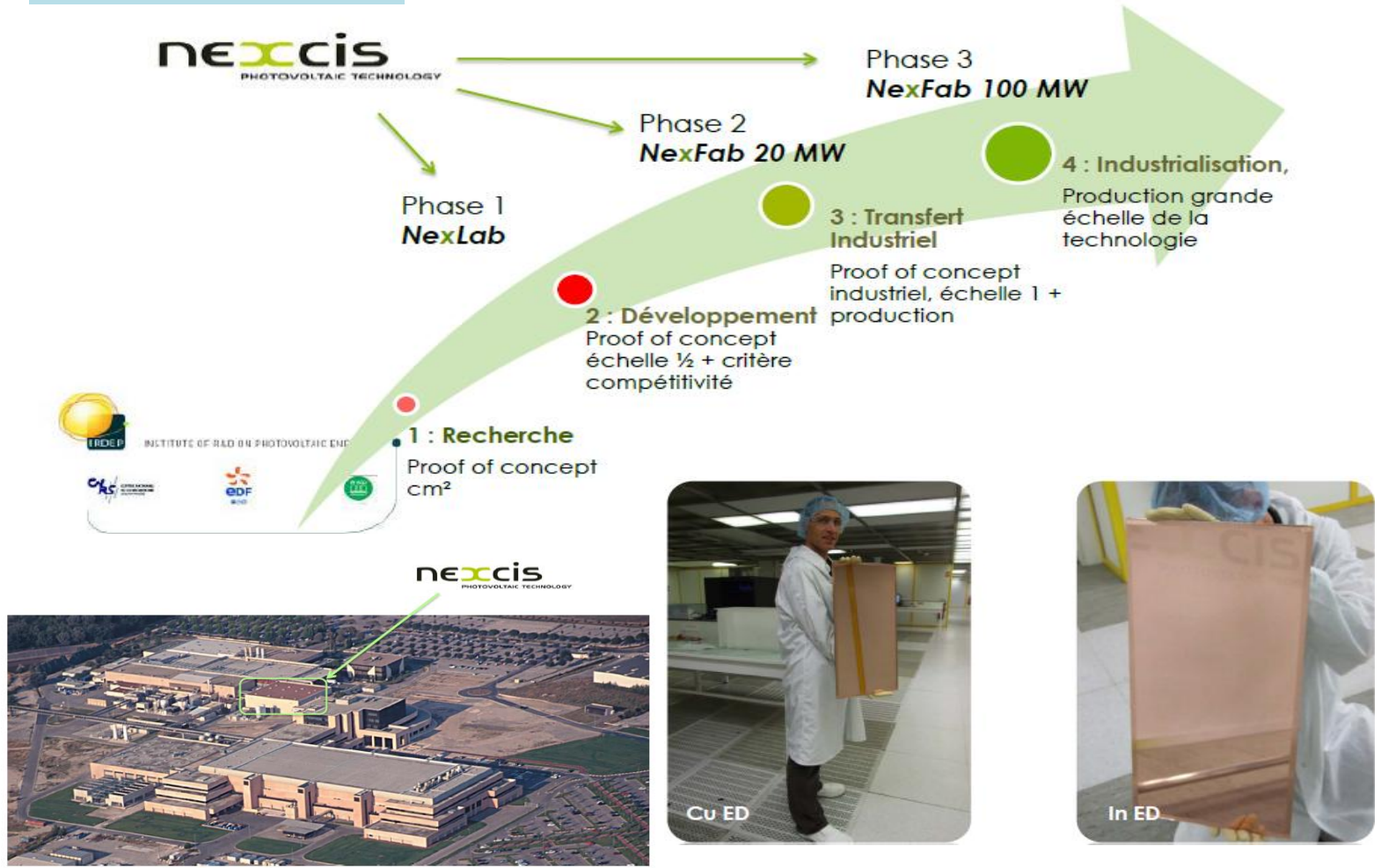


CIGS



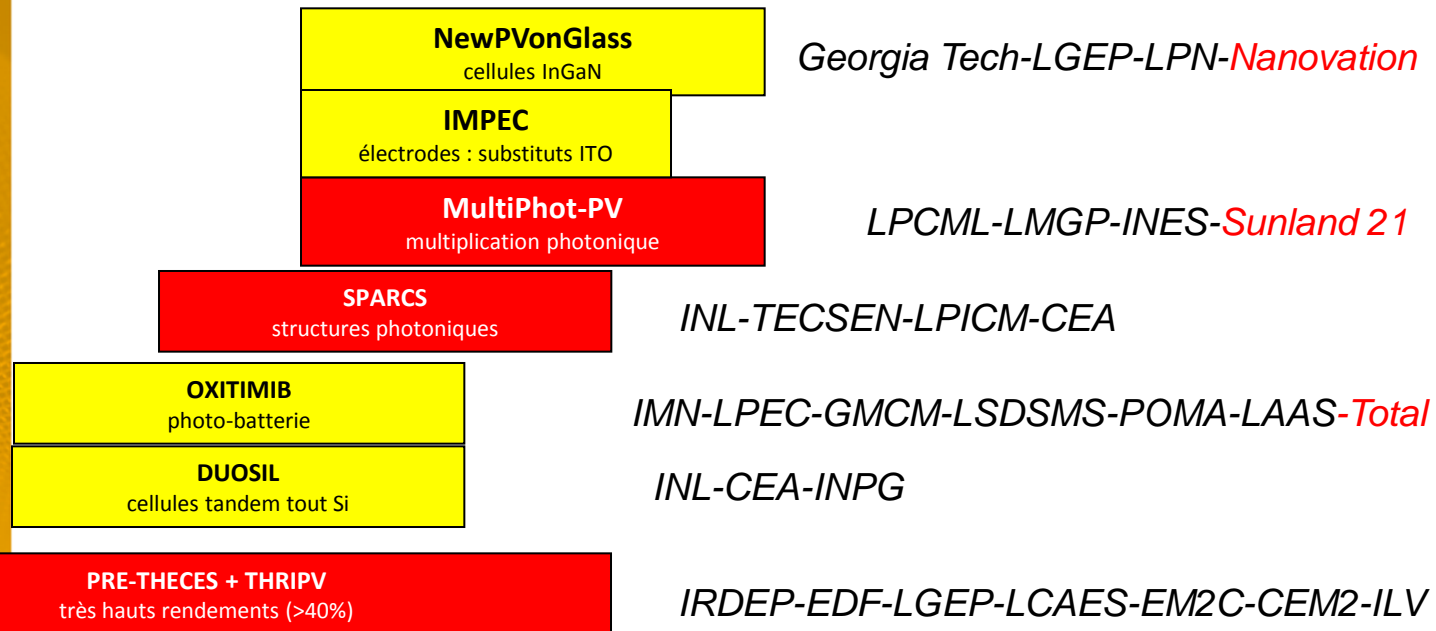
2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015

ANR : CISEL
 ADEME : GENECIS
 OSEO, AMI PVCIS



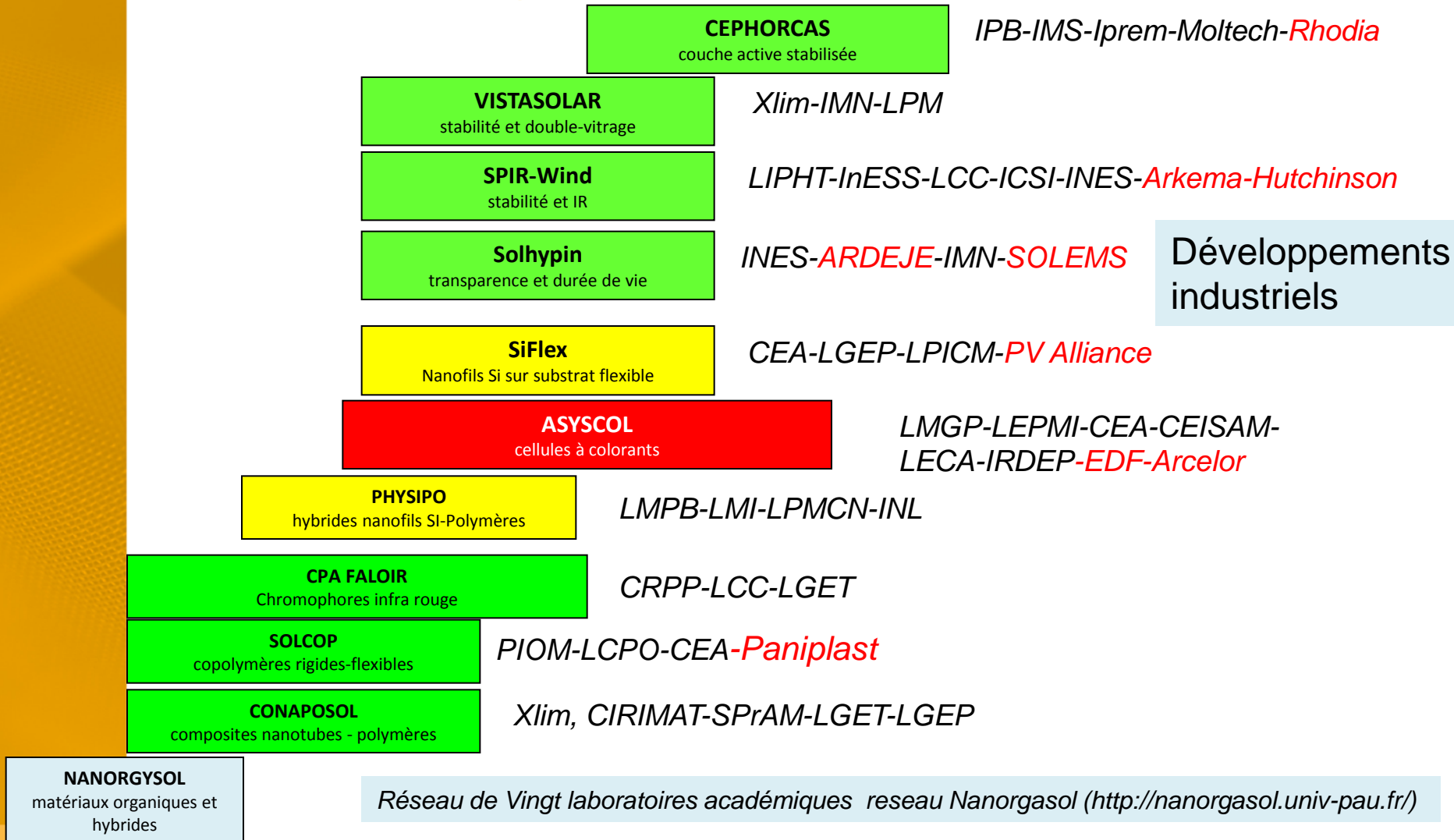
Les apports et impacts du programme : Nouveaux concepts et Très hauts rendements

- Ingénierie optique : photonique, up conversion, down conversion, couplages optiques résonnants, ...
- Ingénierie électronique : cellules à porteurs chauds, cellules à ionisation, cellules à bandes intermédiaire...
- Nouveaux matériaux



2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015

Les apports et impacts du programme : Nouveaux concepts PV organique et hybride



2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015

Les apports et impacts du programme : De la cellule à l'intégration dans le bâtiment et le réseau

ROLLPV encapsulation pour wafers Si
Performance PV France Evaluation - prédiction ressource
ARCHELIOS Dimensionnement PV - logiciel
DLD-PV Détection défauts
HERMES Intégration - mise en sécurité
SOLEDO monitoring mini réseau
QUALI VAL ENR gestion électrique réseau
MICROSCOPE Micro-injecteur connecté réseaux
MULTISOL gestion électrique multi-sources
LIPV stockage intégré sur batterie Li
REACTIV-HOME gestion électrique multi-sources

- La mise en module
- L'intégration au réseau
 - MULTISOL (2005) a donné lieu à la création de la start-up Vesta. Les travaux se poursuivent également dans le cadre du projet ANR ReactivHome (2009).
 - ARCHELIOS (2005) : calcul de gisement, dimensionnement et estimation de revenus photovoltaïques ; classé 3ème logiciel mondial (sur 24) sur la précision des résultats selon une étude de la revue PHOTON en 2011.

Quel bilan ?

Plus :

- Montée en puissance de la recherche française dans le PV, grande diversité des acteurs et des équipes. Bonne interaction recherche fondamentale-industrie.
- Positions fortes :
 - Silicium massif (performances au niveau mondial, procédés low cost) **soutien fort**
 - Couches minces (CIGS-Si-CZTS) à **renforcer**
 - Organiques (large tissu R&D) **soutien fort**
 - Nouveaux concepts très hauts rendements
- Début de structuration des équipes, création de grands pôles régionaux
- Innovation industrielle (start up, PME, Grands groupes)

Moins – à faire :

- Transfert sur le marché plus lent que prévu (silicium). Accélérer les développements industriels.
- Concertation encore trop faible dans la préparation des projets. Promouvoir la continuité dans les projets. Articulation des différents programmes (ANR, ADEME, OSEO, CNRS, Européens...)
- Structuration encore insuffisante : créer des instituts spécialisés sur le territoire comme en Allemagne (*par exemple la création de l'IEED IPVF encore en suspend actuellement*)

Quelles perspectives pour la recherche dans ce domaine ?

Maintenir le cap sur la recherche de ruptures sur les technologies :

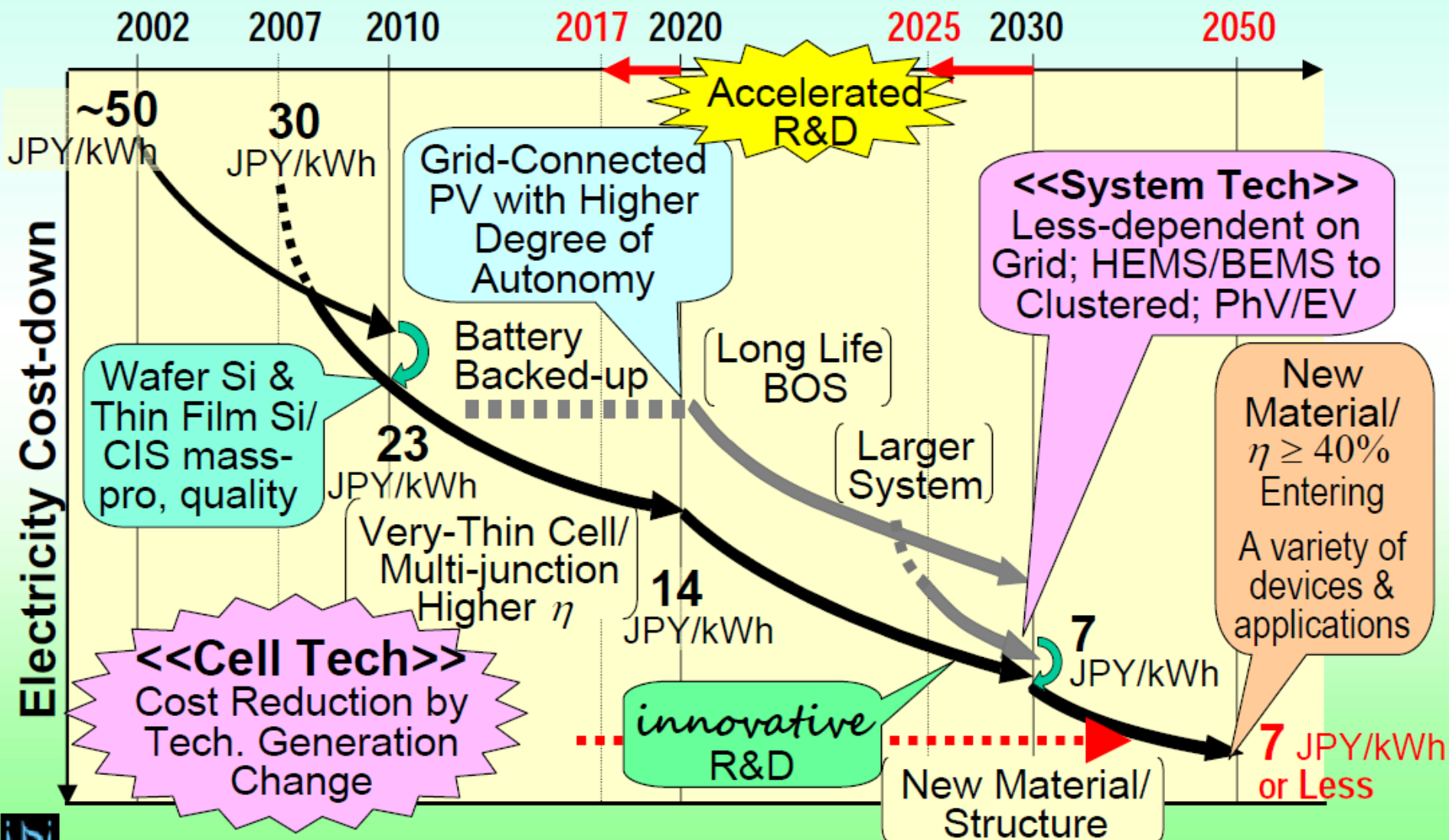
- Viser les hauts rendements (couches minces, silicium, combinaisons silicium-couches minces)
- Travailler sur les procédés d'élaboration bas coût et hauts débits : couches minces, techniques roll to roll, photovoltaïque flexible et léger déployable, pas de découpe.
- Anticiper le déploiement à grande échelle (matériaux, procédés, cycle de vie)
- Développer les recherches fondamentales pour la mise œuvre de nouveaux concepts, nouveaux matériaux (organiques, inorganiques, hybrides...), nouvelles architectures

Accélérer les travaux sur les systèmes complets et le déploiement à grande échelle

- Habitat
- Fermes solaires
- Gestion du réseau/stockage

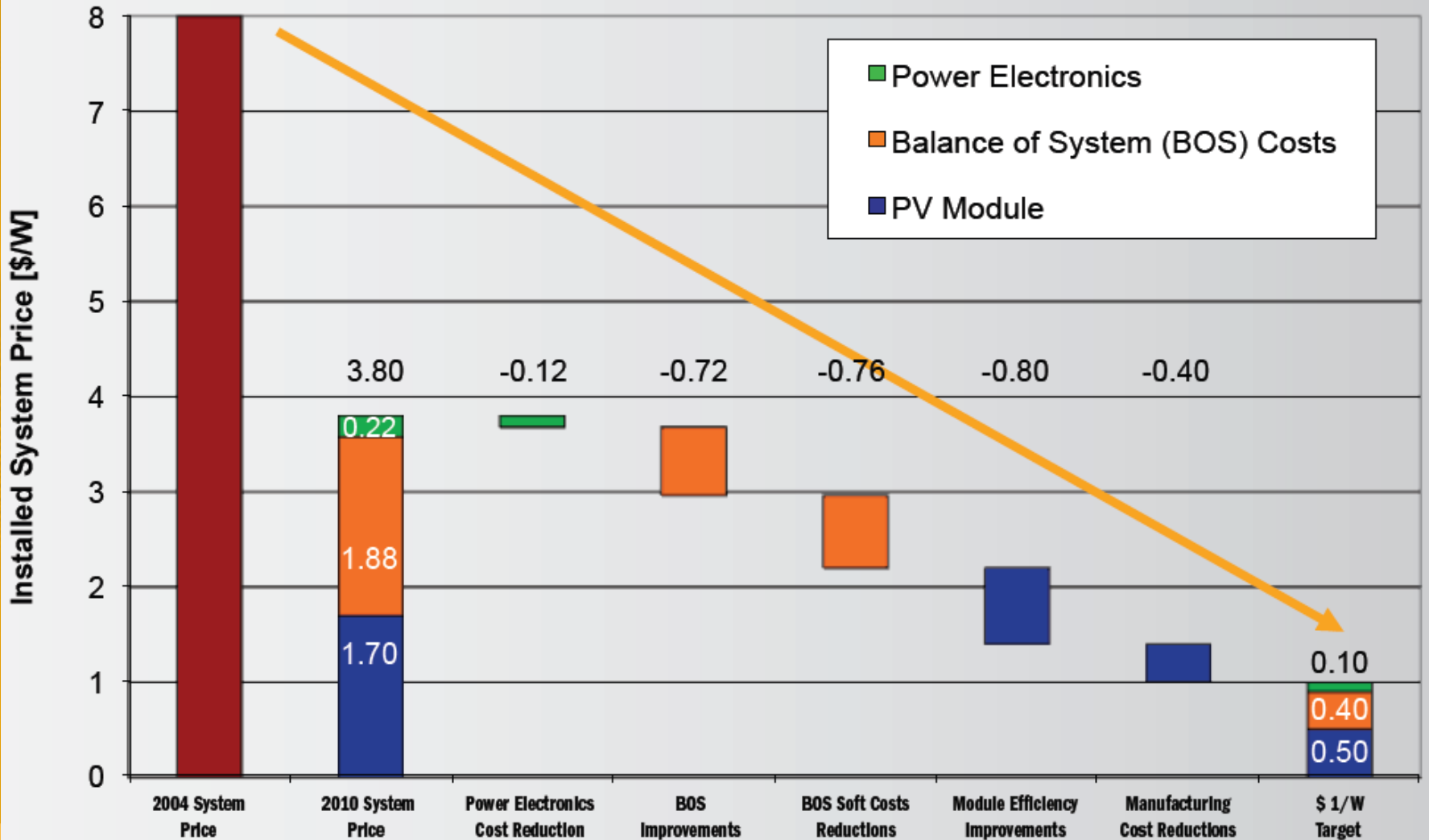


Accelerated, Extended "PV2030 +" Roadmap



Objectifs du programme SunShot (USA) : 1 dollar/Watt en 2020 installé

4-6 centimes de dollar le kWh



1962 : Programme Moon Shot (J.F.K) 2011 : Sun Shot (B.O.) **Compétitivité d'ici 2020**

Source PV Status Report 2011 -JRC

Merci de votre attention