



Prospective solaire

Cédric Philibert

Division de l'efficacité énergétique et de l'environnement, AIE

EPE, 29 Novembre 2007

© OECD/IEA, 2006

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

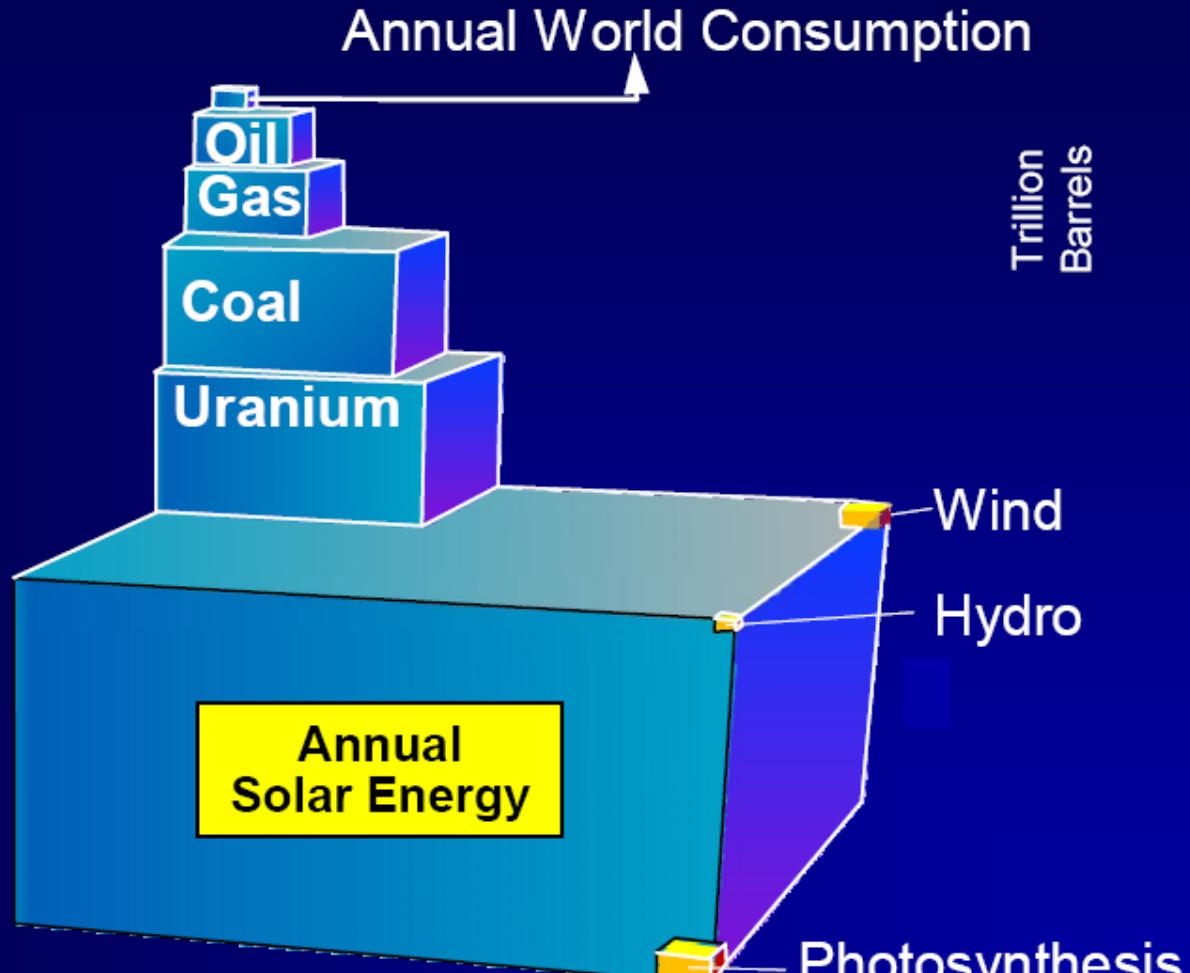
AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE



Menu

- **Introduction:**
 - ◆ **Les ressources**
 - ◆ **La situation actuelle**
 - ◆ **La prospective 2050 de l'AIE**
- **Le solaire à concentration**
- **Le solaire Thermique**
- **Le solaire Photovoltaïque**

Total Energy Resources



Source: Craig, Cunningham and Saigo.

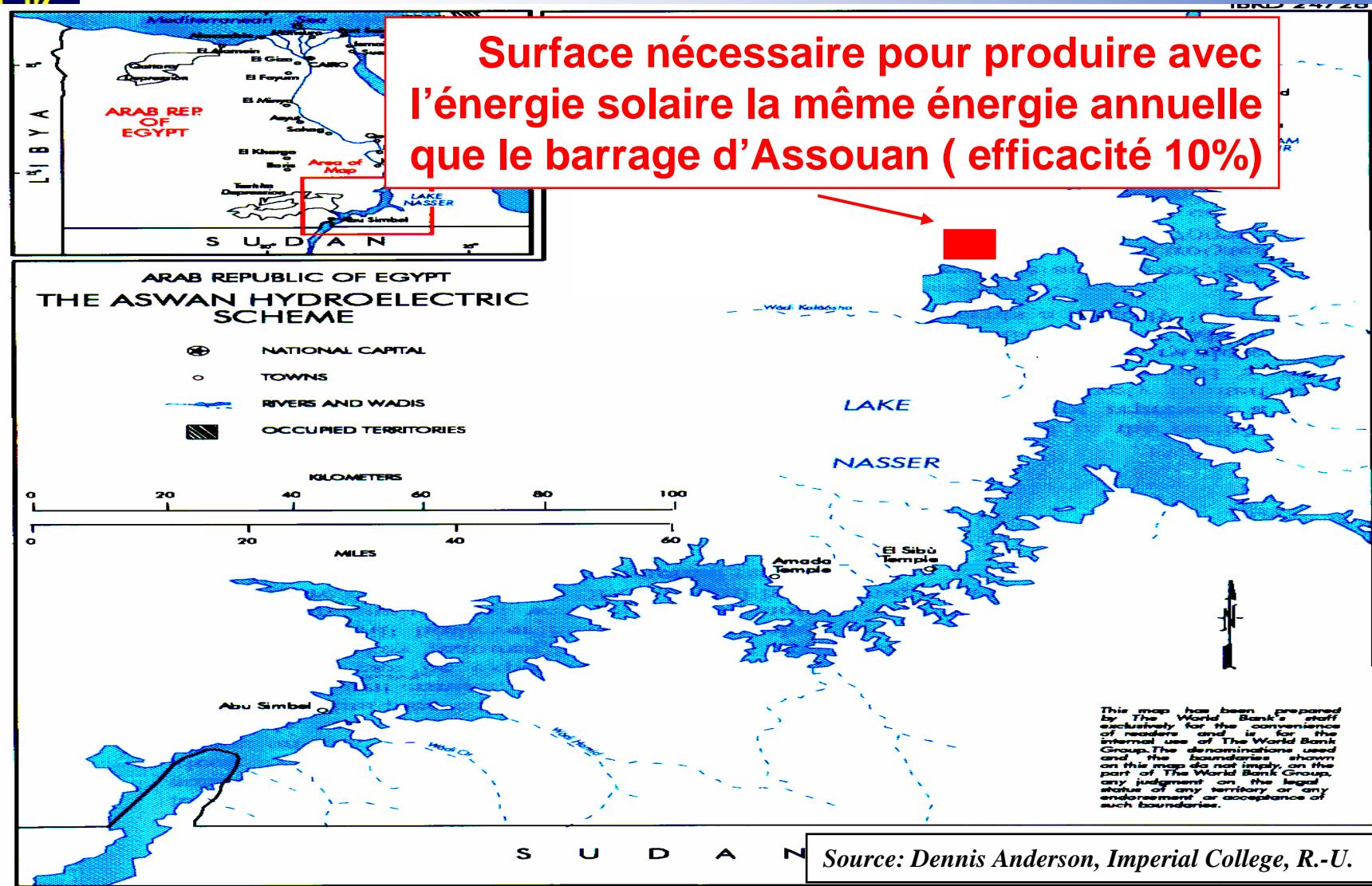


Importance de la ressource

- La Terre reçoit du Soleil en une heure autant d'énergie que l'humanité consomme en un an
- Solaire thermique, PV et solaire concentré
 - ◆ Variations géographiques des besoins et ressources
- Couvrir 0.6% des terres émergées avec des systèmes solaires d'une efficacité nette de 10%
- Le changement climatique: un problème d'énergie solaire...

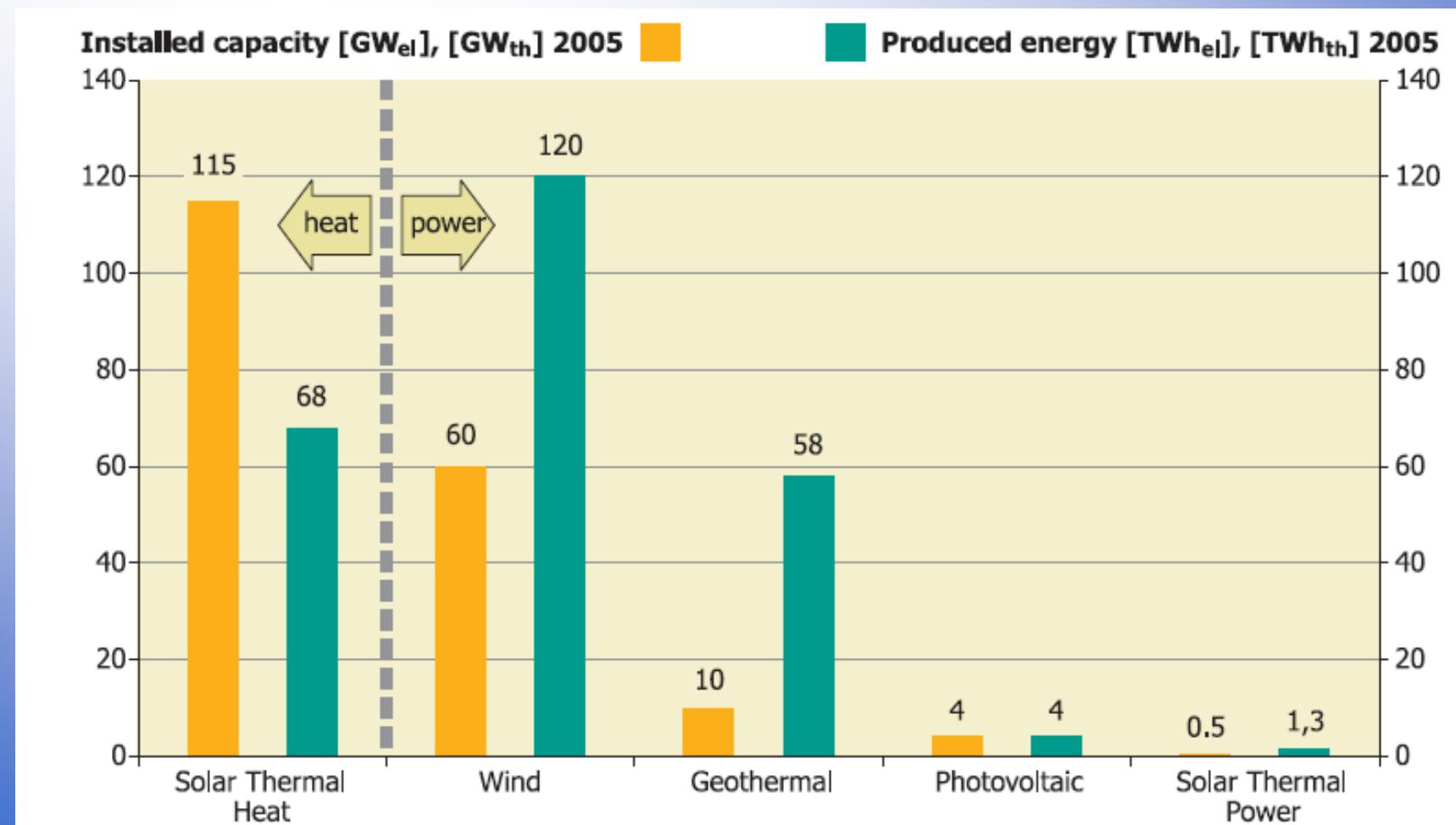


Un problème de surface?

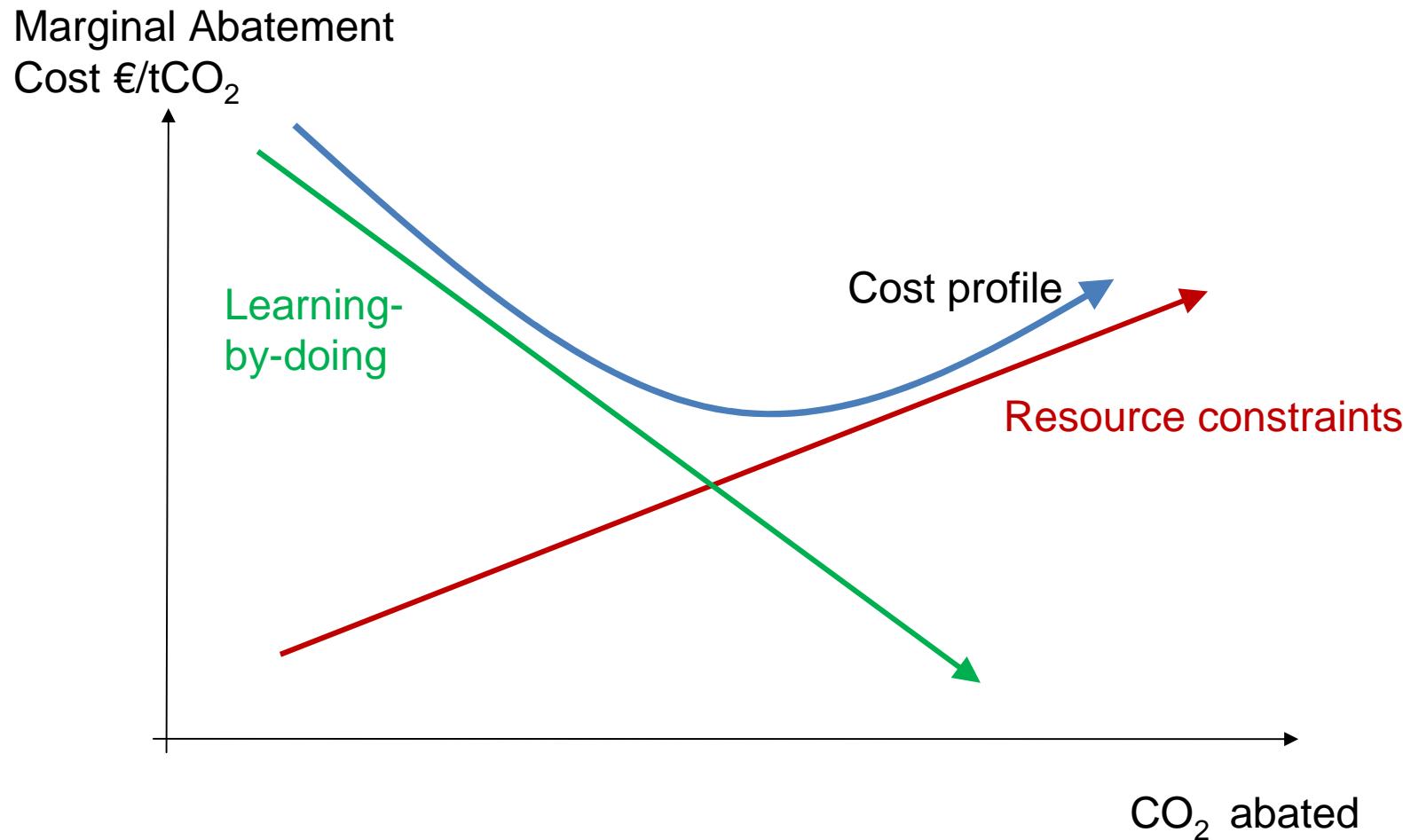




On part de peu...

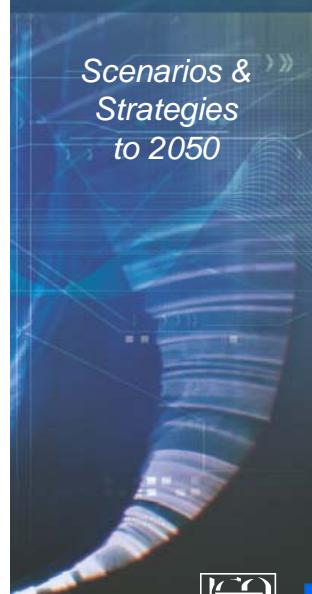


Factors driving technology costs

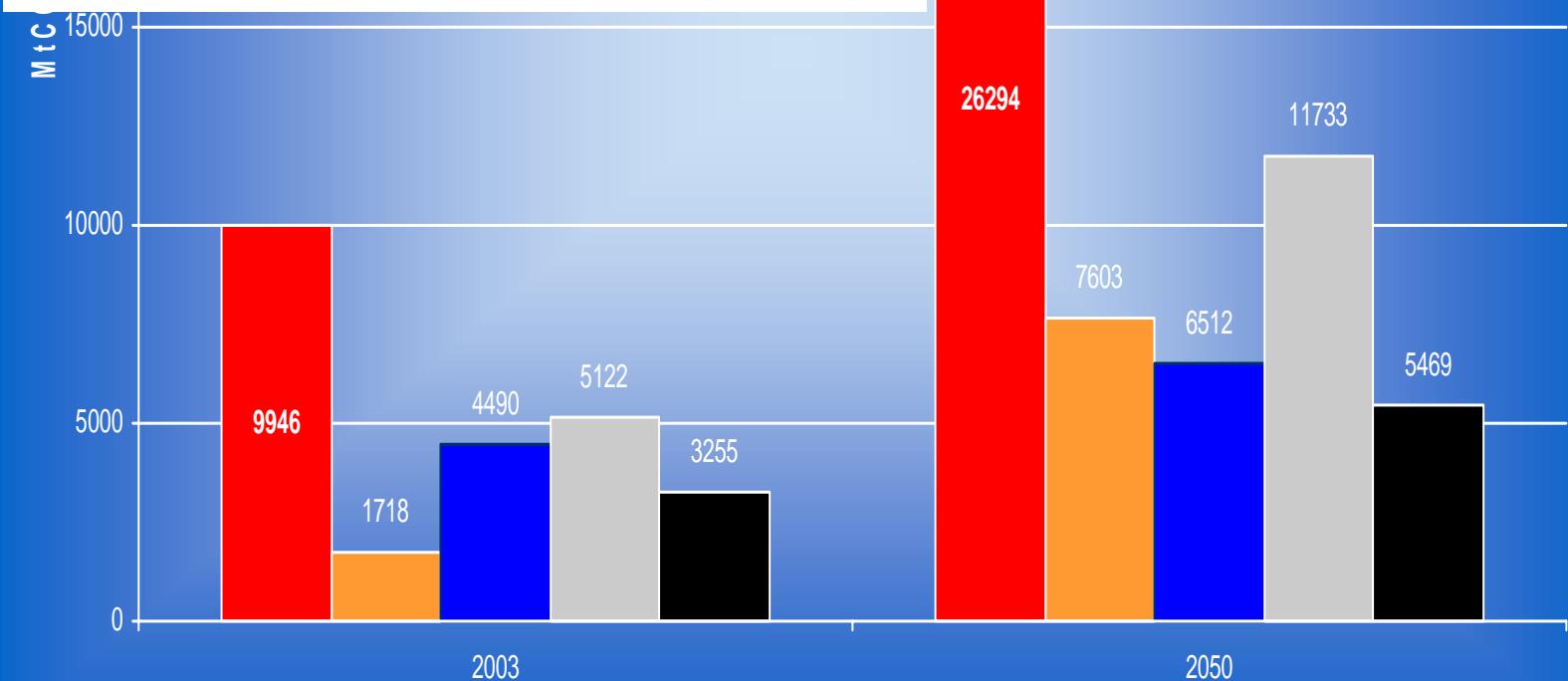




ENERGY
TECHNOLOGY
PERSPECTIVES
2006



Scénario de référence: Emissions de CO₂ : + 137% en 2050 !

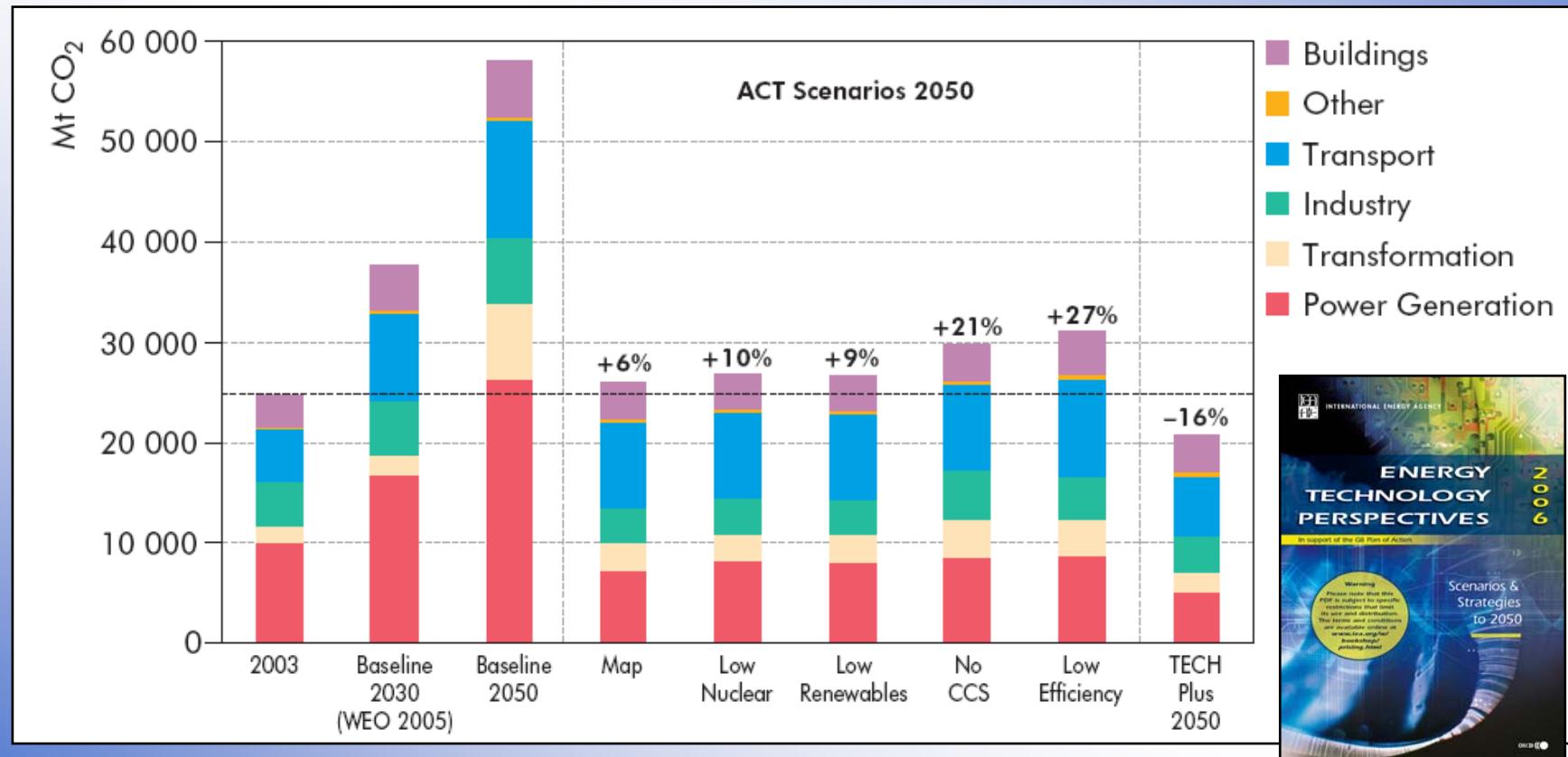


Electricité Conversion Industrie Transport Res.tert.



Ce que peut la technologie

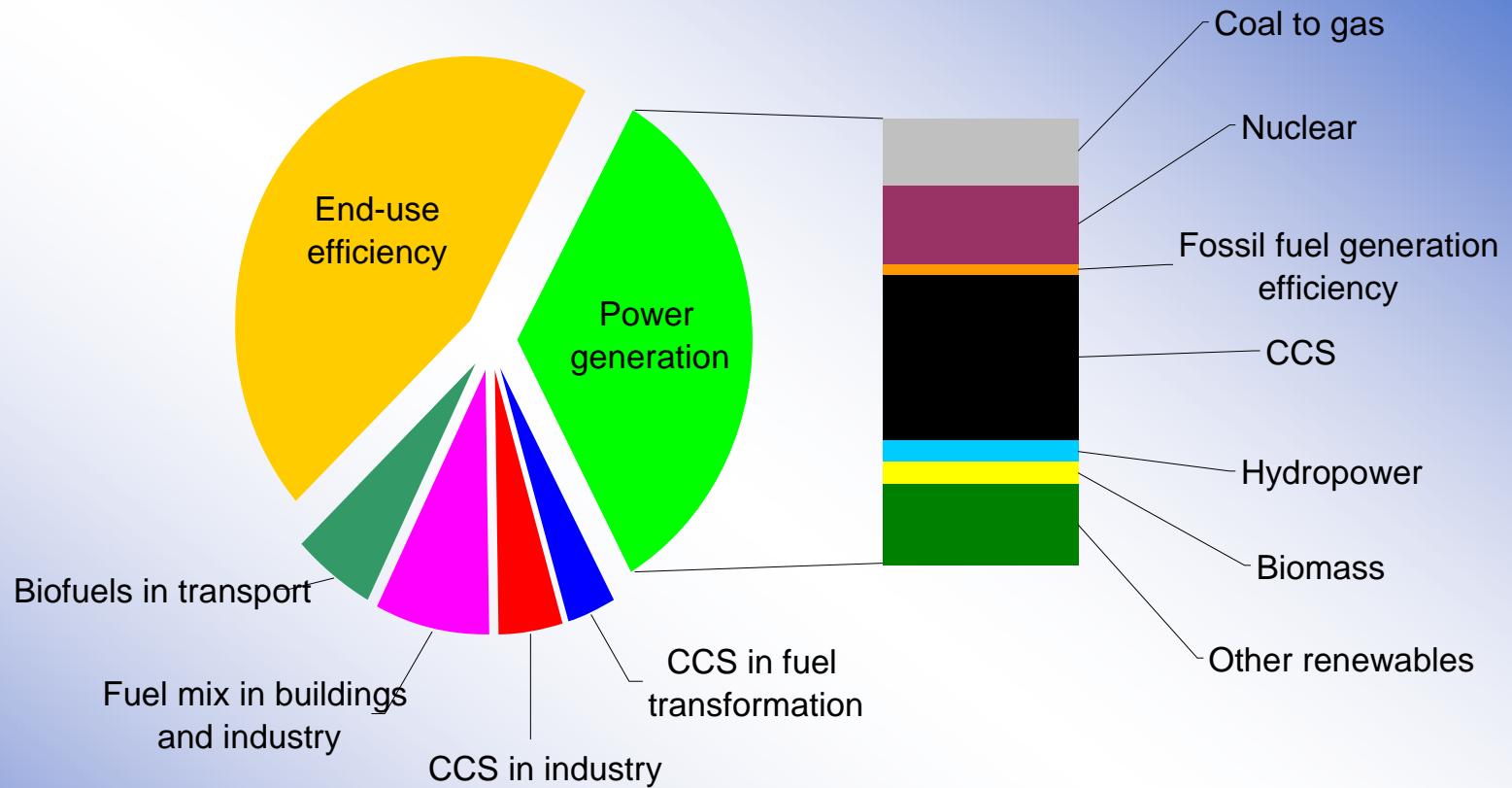
Emissions mondiales de CO₂ (énergie) en 2050 dans les scénarios ETP...



... à demande de services énergétiques inchangée



Emission Reduction by Technology ACT Map Scenario



Most importantly, raise energy efficiency!



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE

INTERNATIONAL

ENERGY



AGENCY

ETP 2008

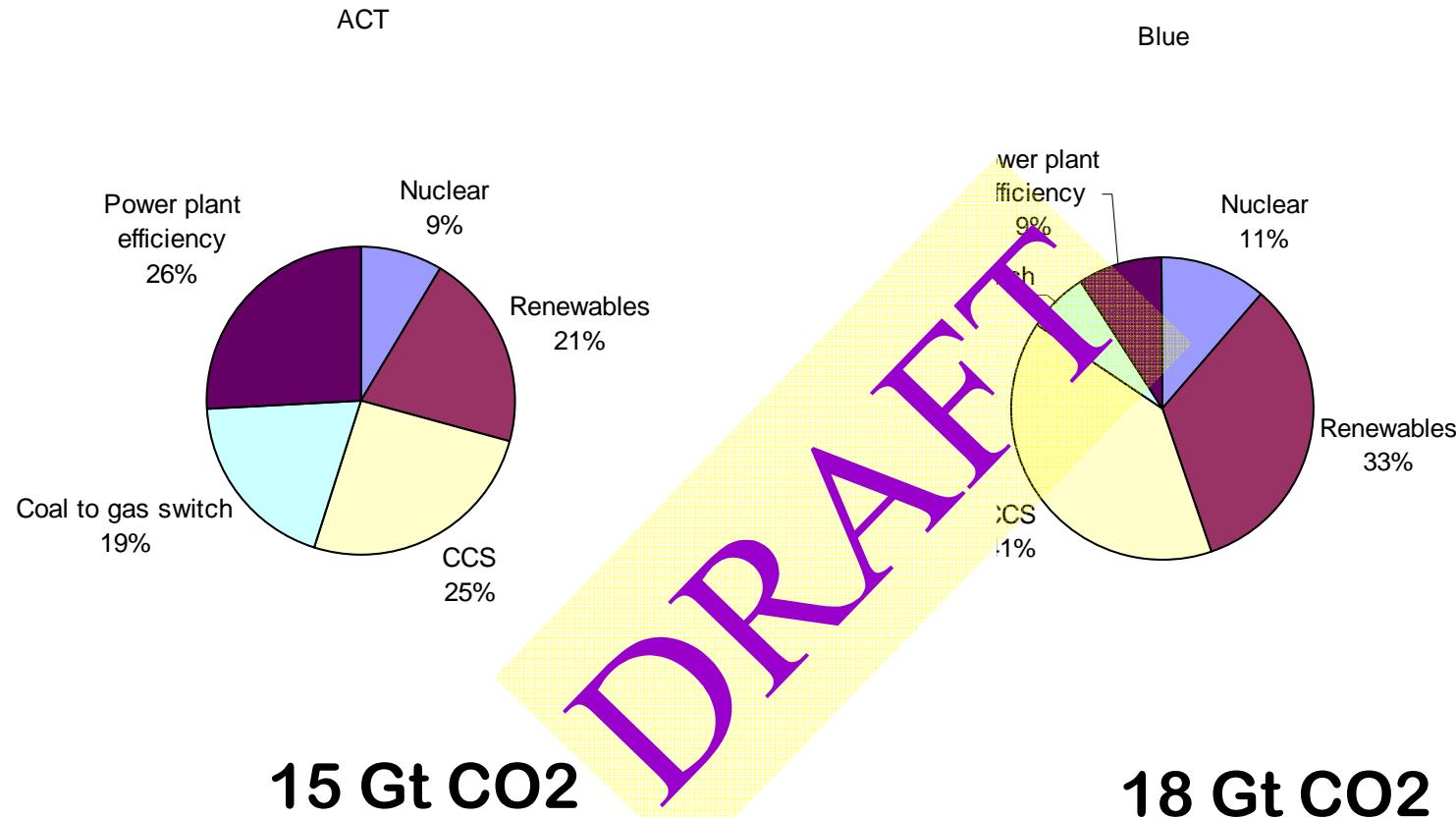
*Scenarios &
Strategies
to 2050*



Key points about solar

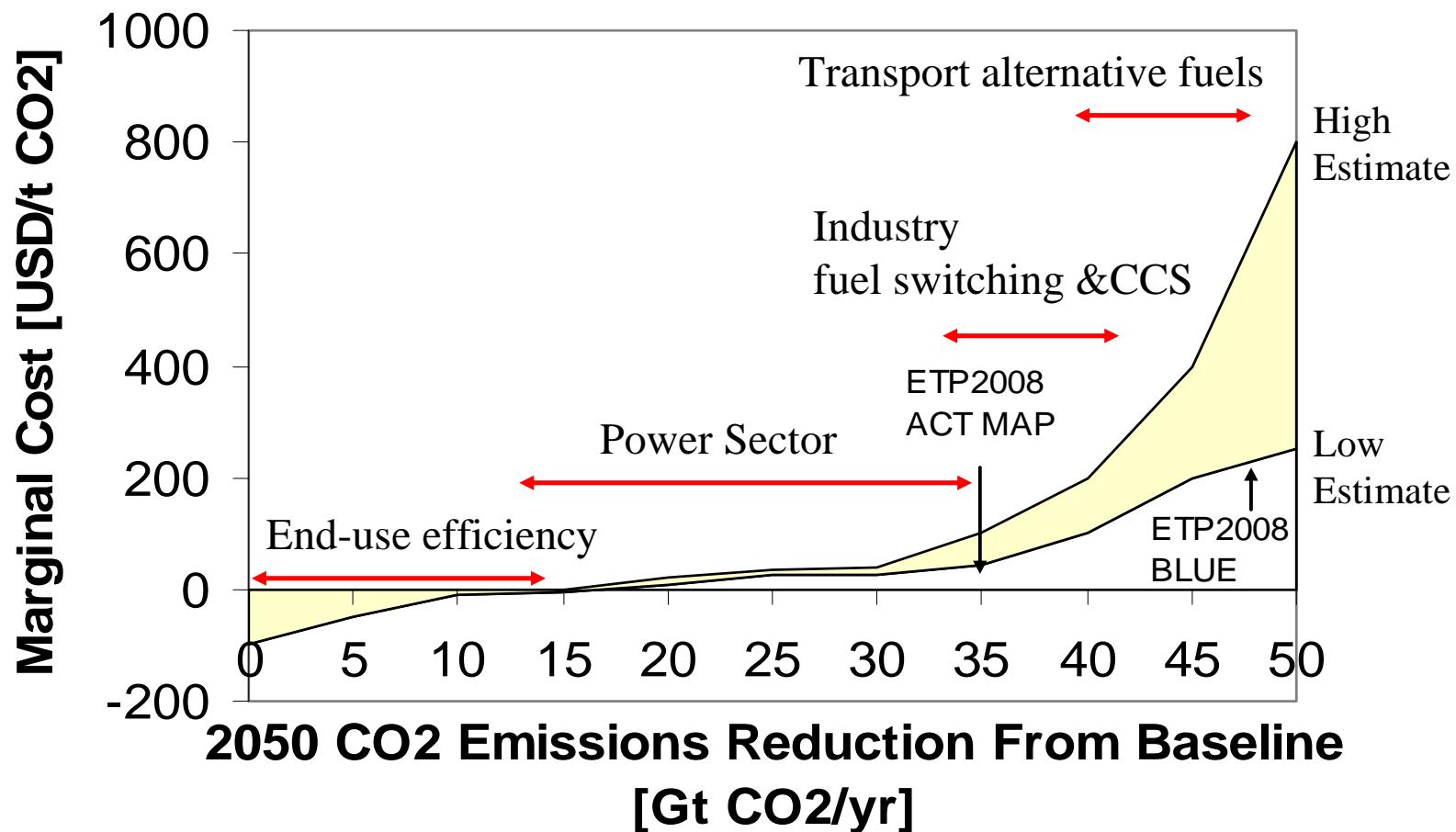
- **CSP capacity by 2050: 300 – 900 GW**
- **PV capacity by 2050: >1000 GW**
- **Solar energy production by 2050:**
 - **Three tiers, about 3000 TWh each:**
 - **Solar thermal heat**
 - **PV power (7% total power)**
 - **CSP power (7% total power)**

Emission Reductions in the Power Sector (compared to Baseline 2050, excludes end-use efficiency)





A Very Preliminary Estimate: USD 200/t CO₂ Incentive Needed





Le solaire à concentration

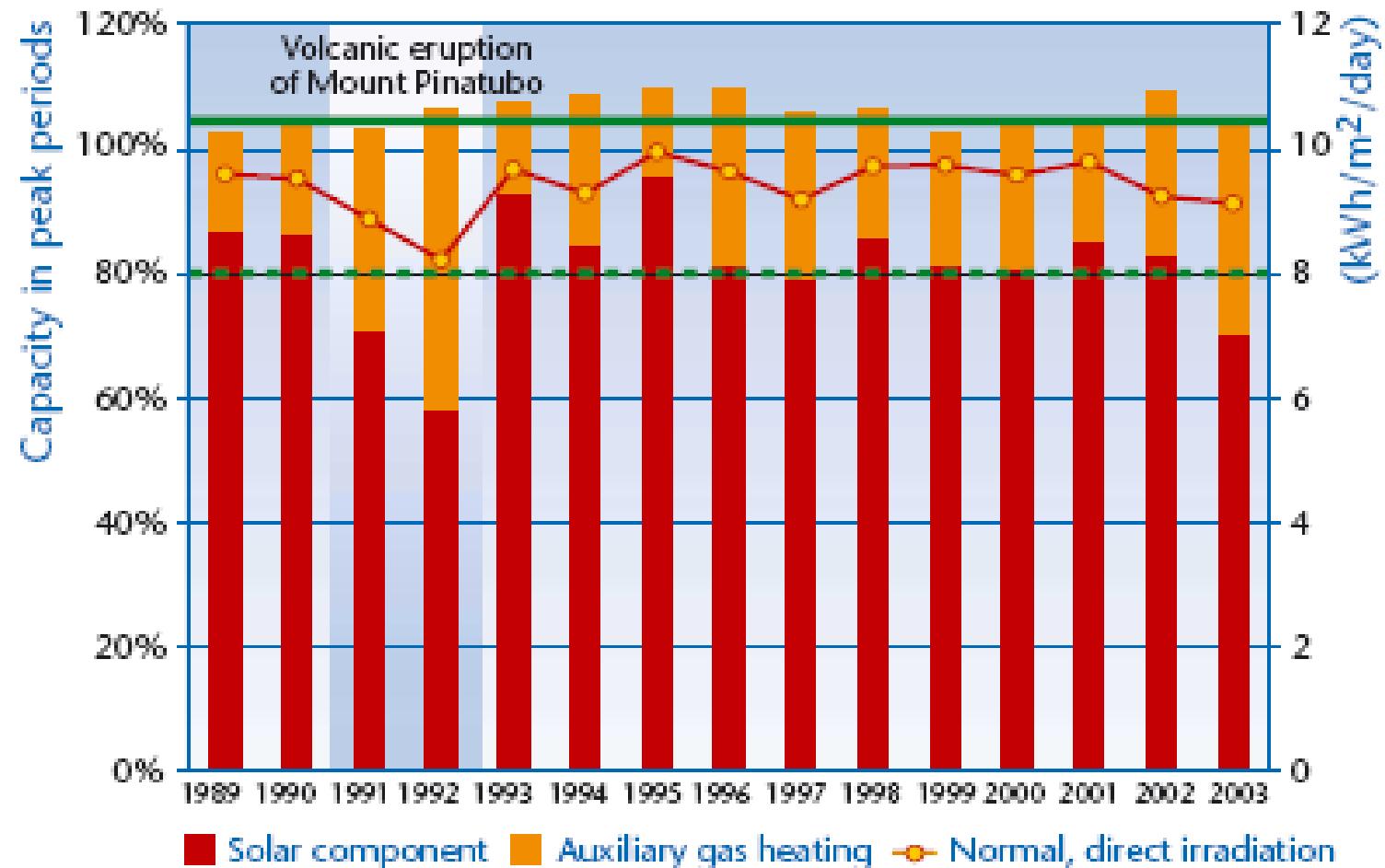
- 354 MW depuis 84-89 sur le réseau de Los Angeles
- Electricité moins chère que le PV
- Energie garantie par stockage de chaleur ou appoint fossile
- La ressource coïncide avec les besoins de pointe





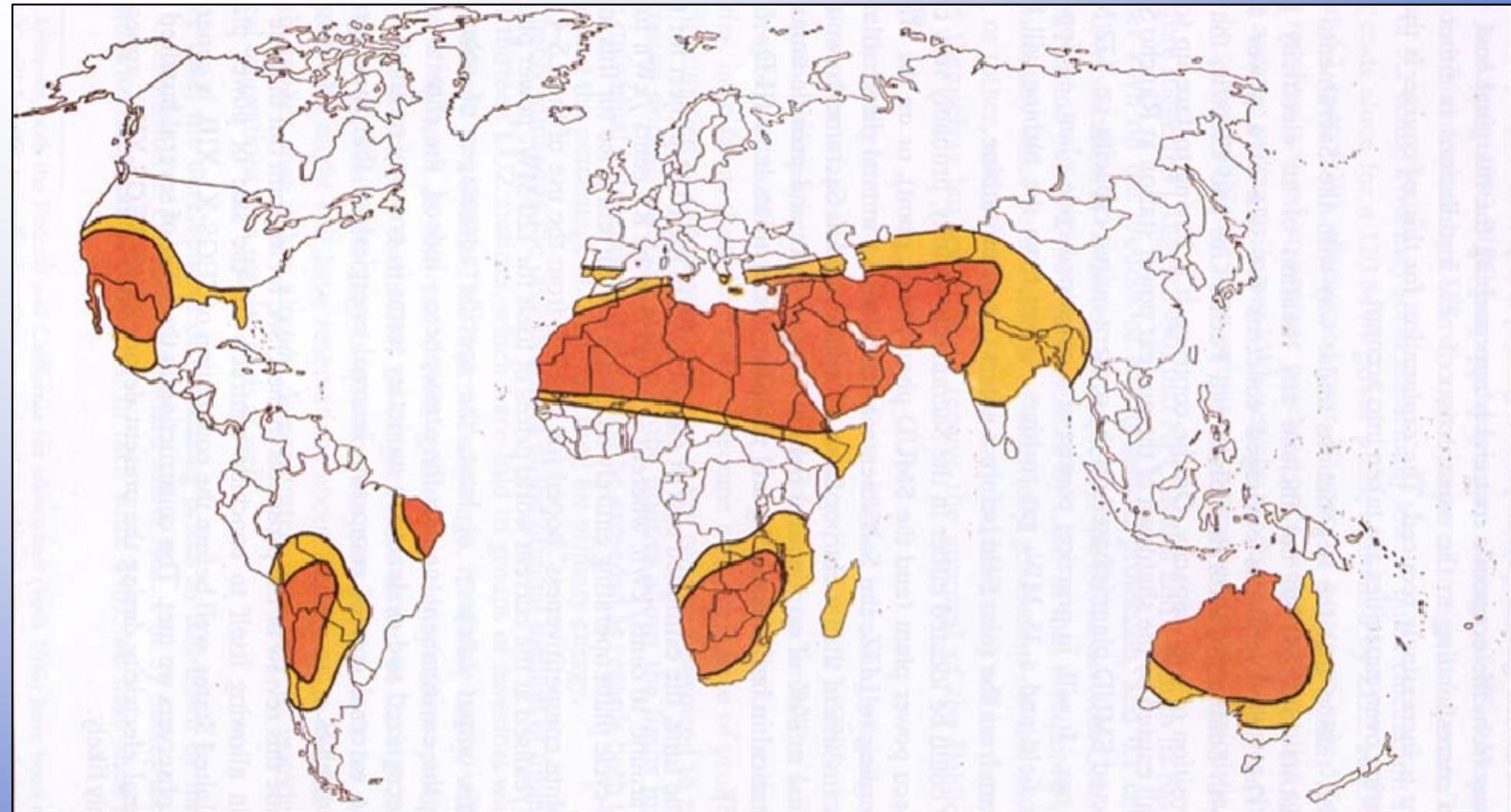
Importance de la ressource

Output in peak periods





Importance de la ressource

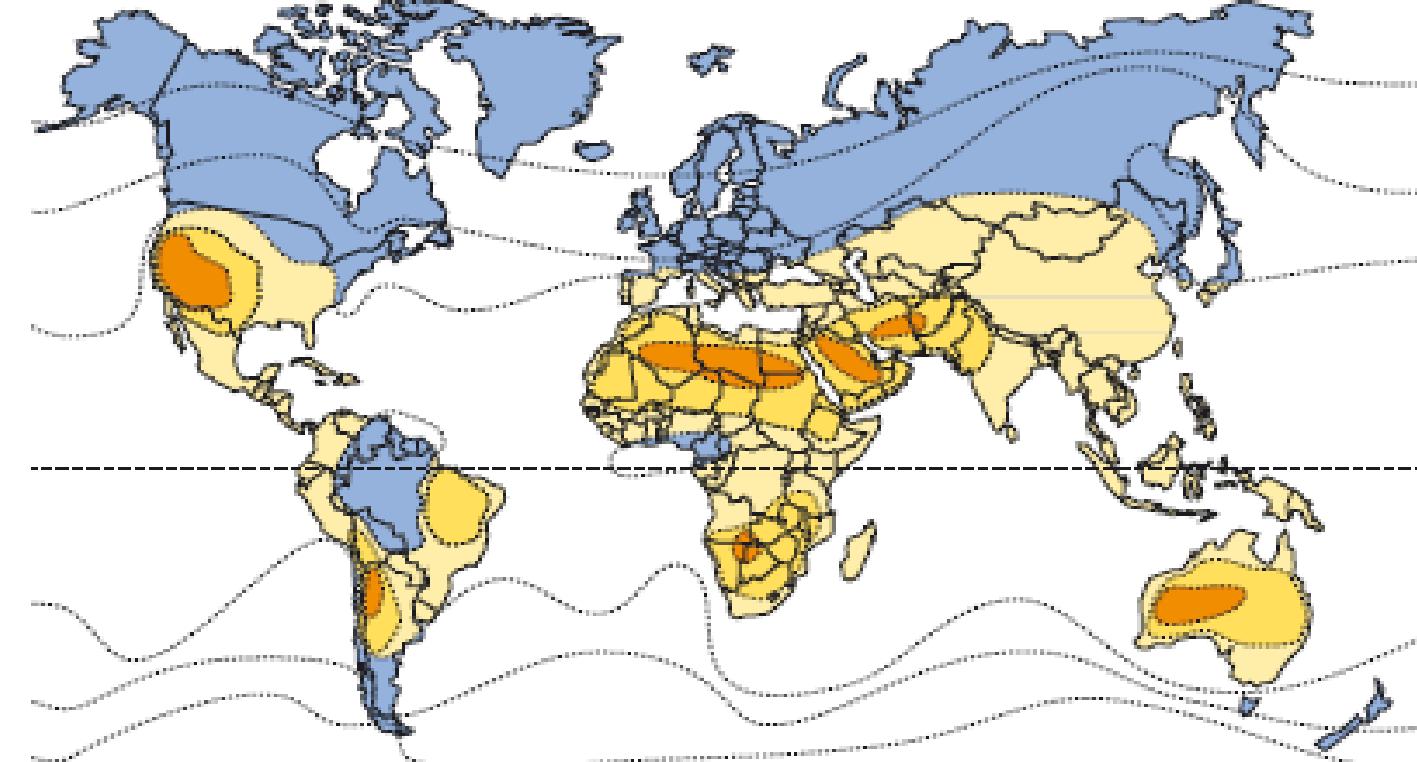


Source: Pharabod & Philibert 1991

- Concentrée dans les pays sans objectifs Kyoto!



Une vision plus optimiste



Suitability for solar thermal power plants:

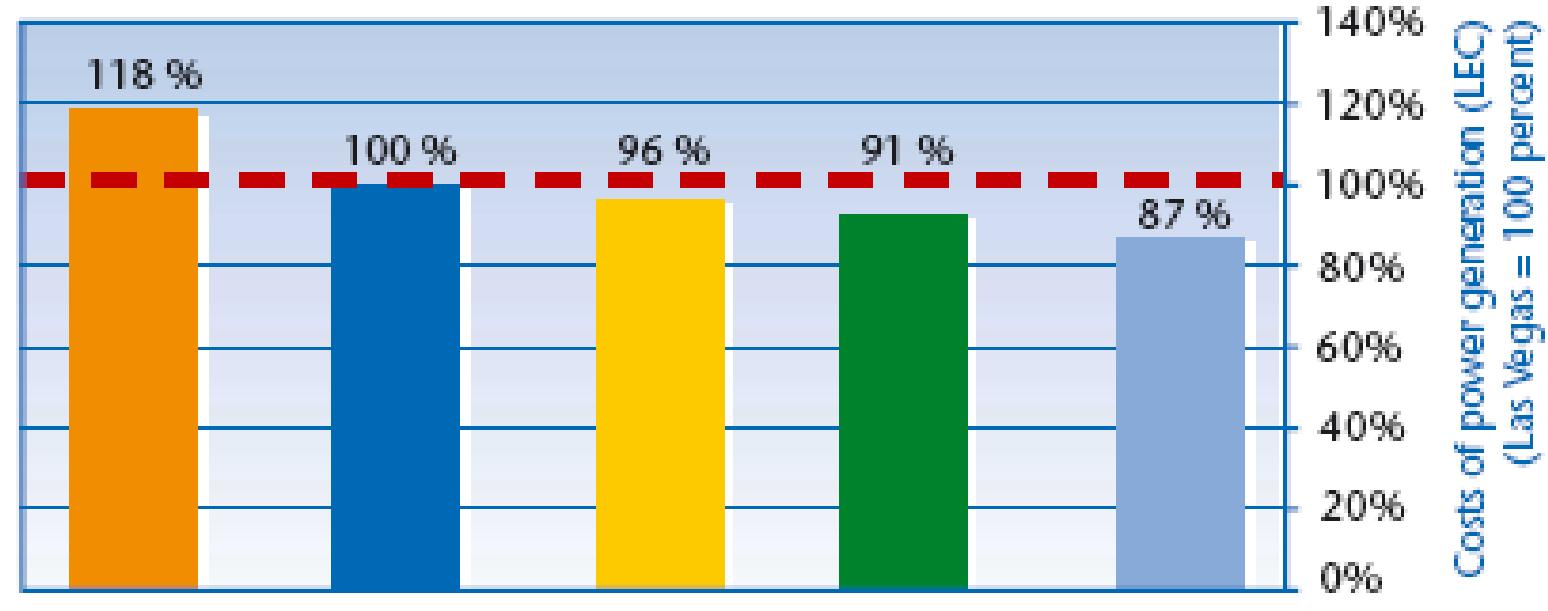
■ Excellent ■ Good ■ Suitable ■ Unsuitable



Le coût dépend du soleil

It depends on the location:

Costs of power generation by location

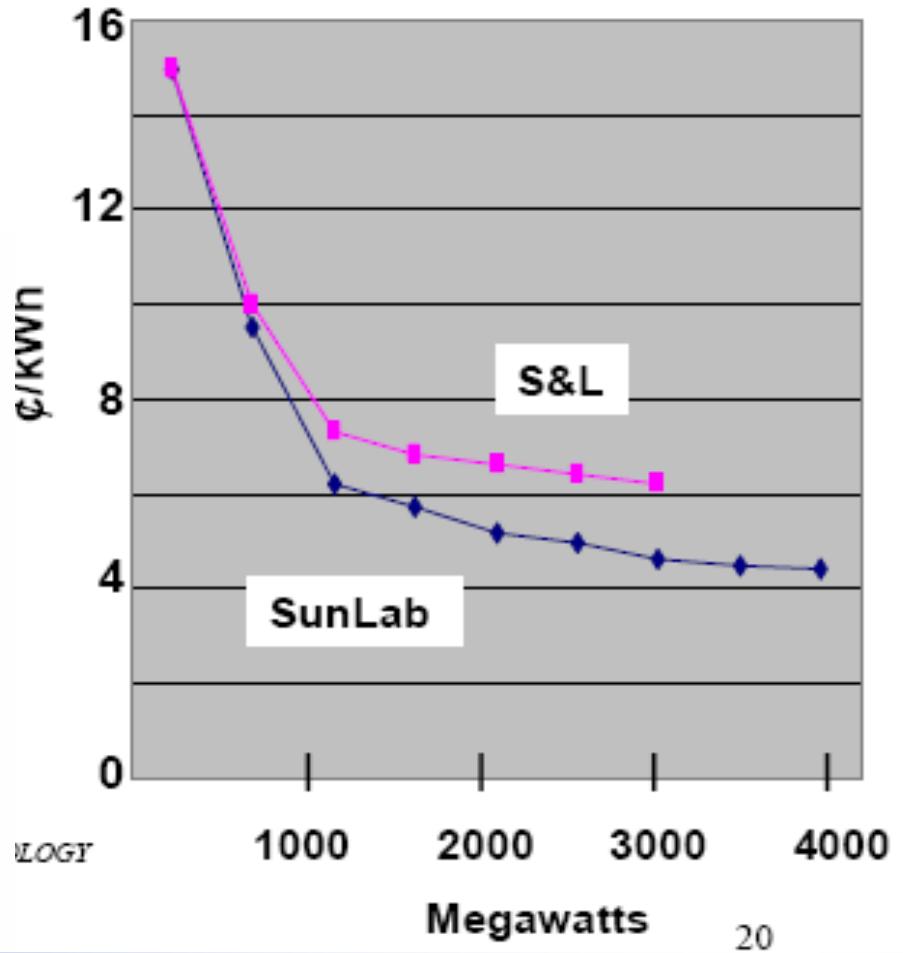
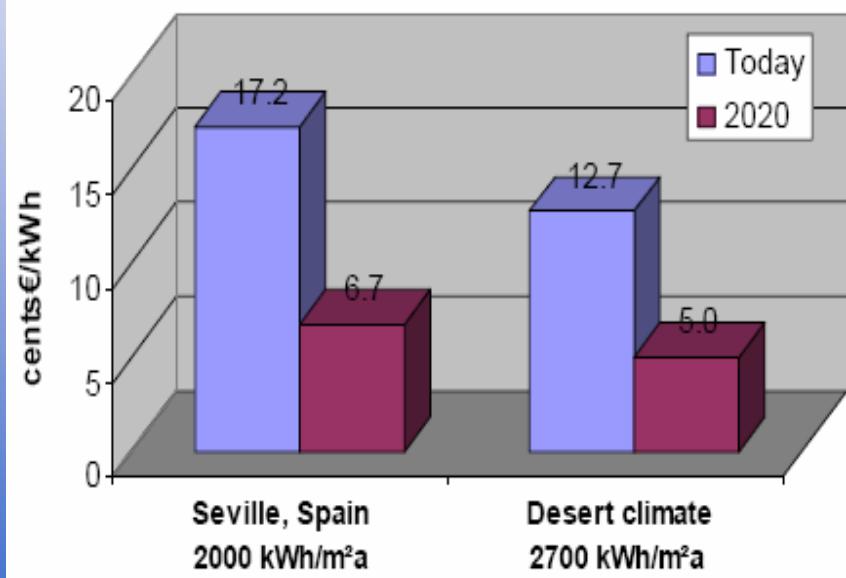


KWh/m²/year (Source: U.S. Department of Energy, SCHOTT's calculations)



Importance de l'apprentissage

CSP cost reduction





La multiplicité des concepts

● Technologiques

- ◆ Assiettes et tours; Pégase
- ◆ Cylindro-paraboliques: nouveaux capteurs, nouveaux caloporeurs, génération directe de vapeur
- ◆ Miroirs linéaires Fresnel
- ◆ Intégration en milieu urbain...

● D'exploitation

- ◆ Centrales 99% solaires ‘de pointe’ diurne (Nevada) ou continues (Espagne)
- ◆ Intégration dans des centrales à cycle combiné
- ◆ Co-génération pour désalinisation

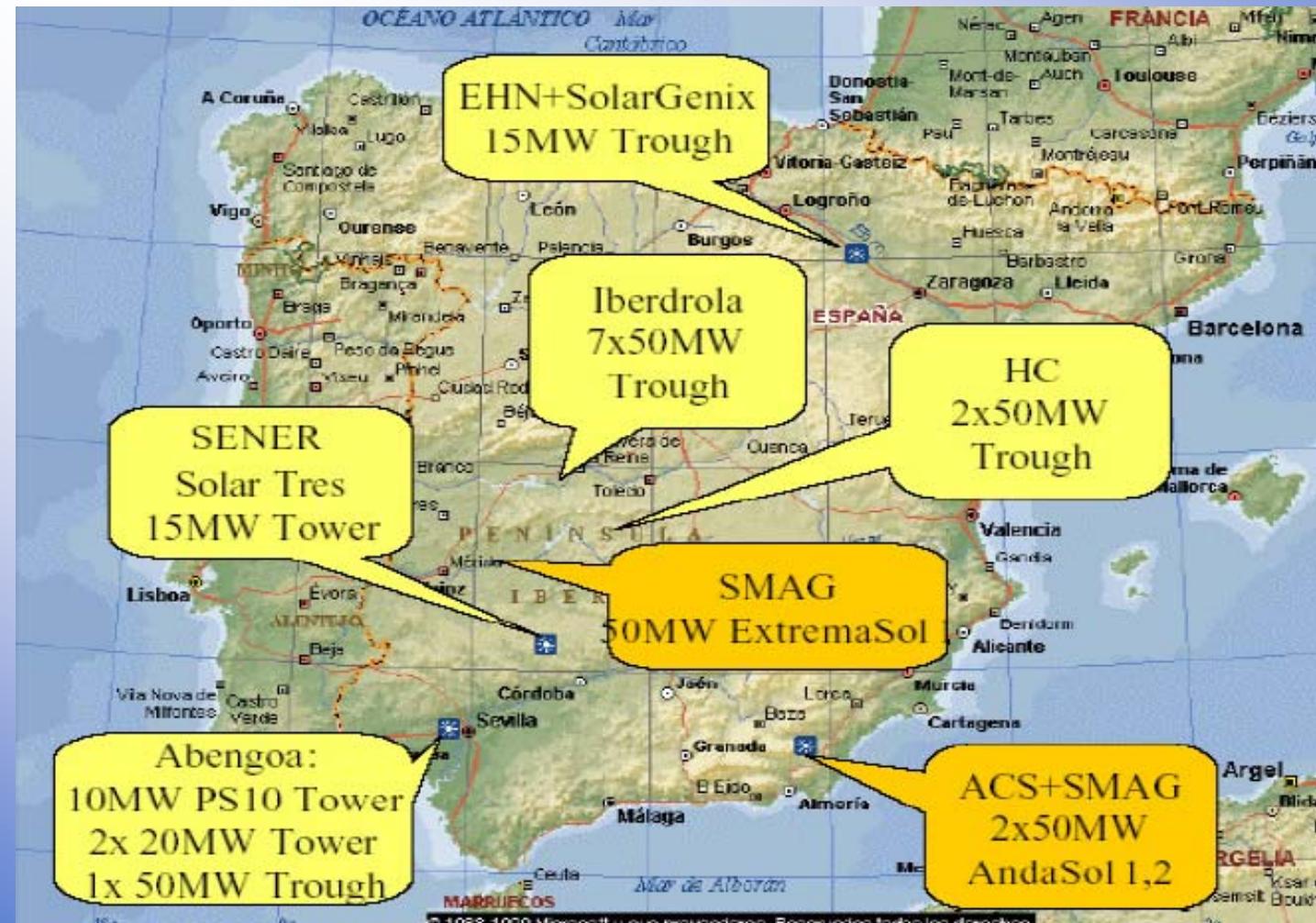


Panorama : l'Espagne

- Ensoleillement et objectif 'Kyoto'
- Bonification du kWh garanti >.18€, puiss. max. 50 MW, total 500 MWe
- Déjà 1000 + MW en projet...
- Acteurs: ACS (+Millenium Solar), Abengoa, Acciona (+Solargénix), Iberdrola...



L'Eldorado espagnol





PS-10

Abengoa Sanlúcar la Mayor

Reliée au réseau!





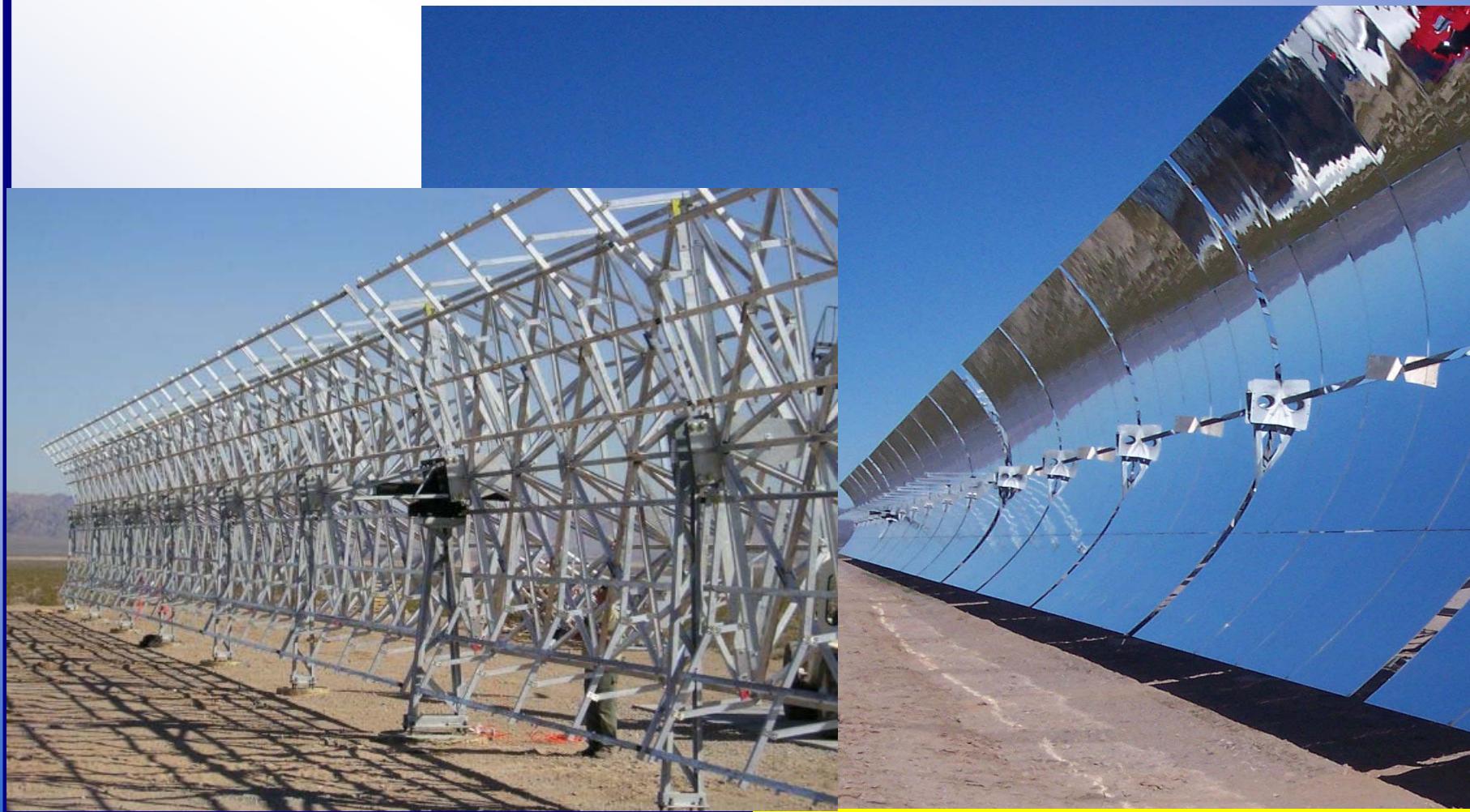
Panorama: les Etats-Unis

- Renewable energy portfolio standards
- 1 000 MW Western States
- Nevada Solar One: 64 MW (Acciona)
- Extension SEGS, 24 MW (FPL, Solel)
- Mojave Solar Park (Solel, SDGE), 500 MW
- Stirling Energy Systems (dishes):
 - ◆ 500 + 350 MW pour SCE, Victorville
 - ◆ 300+600 MW pour SDGE, Imperial Valley



Centrale de 64-MW au Nevada

Reliée au réseau!



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE



Concentrating Solar Power Prospects of the Southwest United States

Un carré de 100 miles de côté dans le Névada fournirait assez d'électricité aux Etats-Unis

Direct Normal Solar Radiation
kWh/m²/day

- 8.0 - 8.2
- 7.5 - 8.0
- 7.0 - 7.5
- 6.5 - 7.0
- 6.0 - 6.5

Transmission Lines*

- 735kV - 999kV
- 500kV - 734kV
- 345kV - 499kV
- 230kV - 344kV
- - - Below 230kV



July 2007

Potentially sensitive environmental lands, major urban areas, water features, areas with slope > 3%, and remaining areas less than 1 sq.km were excluded to identify those areas with the greatest potential for development.

*Source: POWERmap, powermap.platts.com
©2007 Platts, A Division of The McGraw-Hill Companies

The direct normal solar resource estimates shown are derived from 10 km SUNY data, with modifications by NREL.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE



Panorama (2)

- Afrique du Sud: Upington tour 10 MW (Eskom)
- Algérie: Hassi R'mel, 25 MW + 130 gaz. Appel d'offre lancé. A suivre, Naama, 75 MW + 400 gaz, une autre... Visent à terme l'export vers l'Europe
- Australie: Stanwell, 4 MW sur 1440 charbon; lake Liddel 10 MW
- Chine: 1000 MW en Mongolie (?)
- Egypte: Kuraymat, 30 MW + 116 gaz; appel d'offre lancé; FEM
- Emirats: Abu Dhabi, Dubai: vers 500 MW chacun?
- France: le projet SOLENHA (Euromed/Hautes-Alpes)
- Inde: Mathania, 30 MW + 140 gaz ou fioul
- Iran: 67 MW + 444 MW gaz (cycle combiné en cours)
- Israël: Ashalim (Negev), 230 MW
- Italie: Archimède, Priolo, 5-30 MW sur 740 gaz, sels fondus
- Maroc: Aïn Beni Mathar, 20 MW+ 412 gaz; FEM
- Mexique: Agua Prieta II, 30 MW + 500 gaz; FEM



France: la centrale Solenha

Bientôt 12 MWe reliés au réseau?



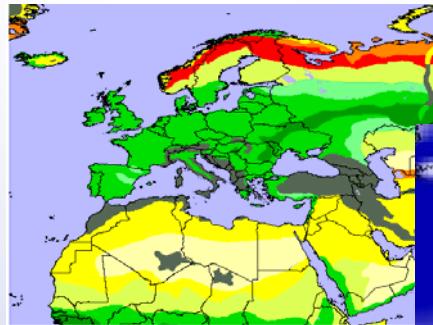


Les projets du FEM

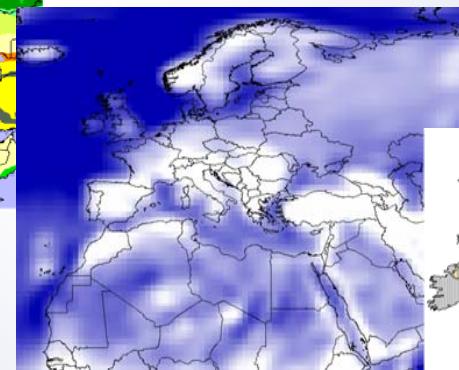
- Le ‘programme opérationnel n°7’
- Champs solaires (30 MWe) intégrés à des centrales à cycle combiné
- Egypte, Inde, Maroc, Mexique
- 4x50 M\$ provisionnés pour couvrir les coûts ‘incrémentaux’
- Une très longue maturation, des difficultés de tous ordres;
- Un cumul de risque et l’absence d’industriel intégrateur
- Le projet indien abandonné, les trois autres en progrès: appels d’offre en cours



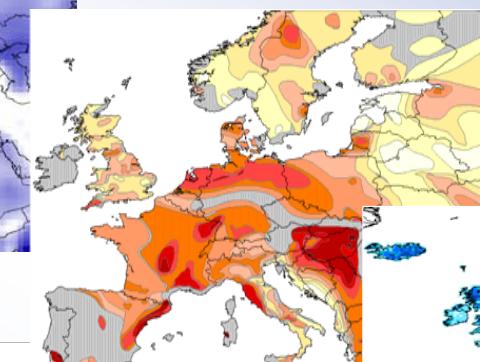
Cartographie des ressources: L'étude MED-CSP du DLR



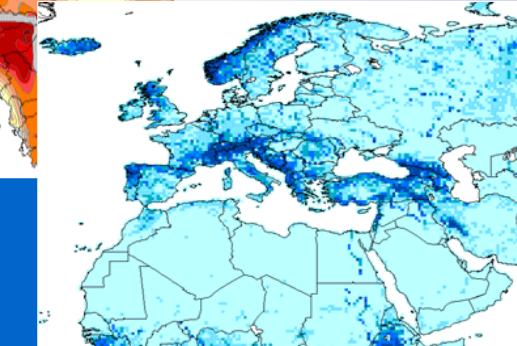
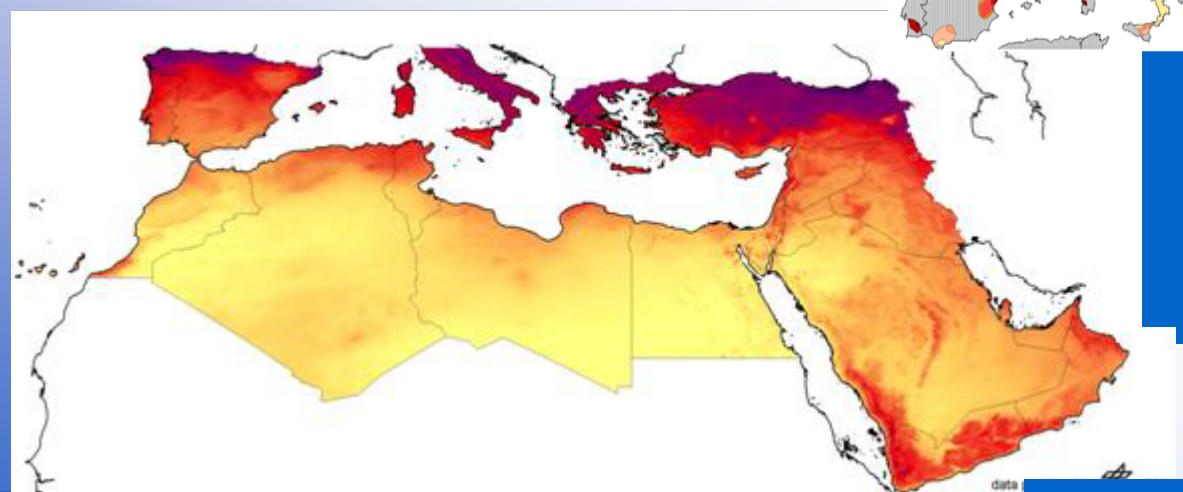
Wind Energy



Geothermal Energy



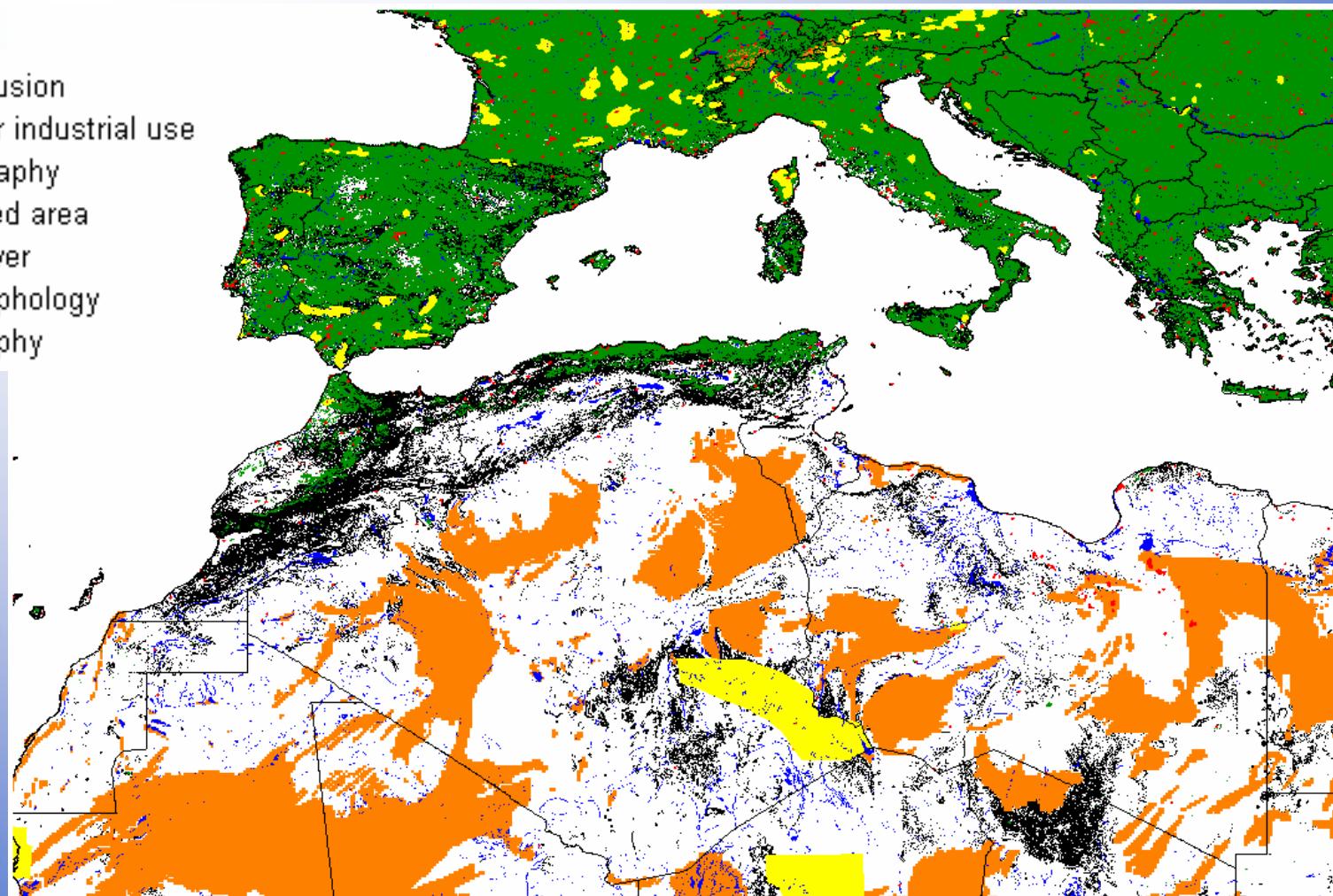
Hydropower





Zones d'exclusion pour les centrales à concentration

- no exclusion
- urban or industrial use
- hydrography
- protected area
- land cover
- geomorphology
- topography



Potentiel par pays (TWh/y)

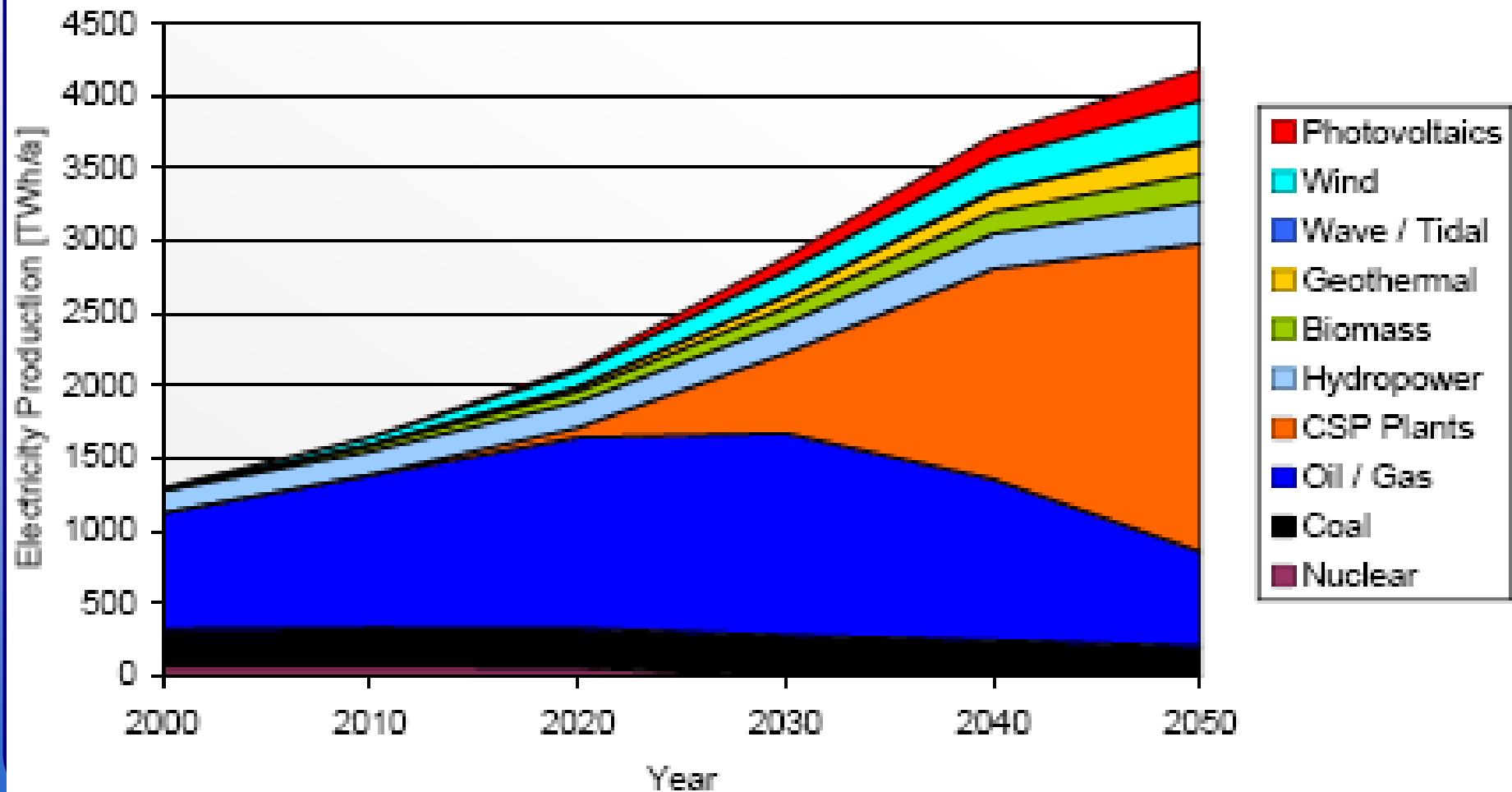
Cyprus	20	Algeria	168972	Iran	20000	Bahrain	33
Greece	4	Egypt	73656	Iraq	28647	Kuwait	1525
Italy	7	Lybia	139477	Israel	318	Oman	19404
Malta	2	Morocco	20146	Lebanon	14	Qatar	792
Portugal	142	Tunisia	9244	Jordan	6429	UAE	1988
Spain	1278			Syria	10210	Saudi Arabia	124560
				Turkey	131	Yemen	5100
Southern Europe	1453	Northern Africa	411495	Western Asia	65749	Arabian Peninsula	153402

>100 fois la demande MENA+EU en 2030... production approximée...



Afrique du Nord / Proche-Orient

Electricity Generation All Countries



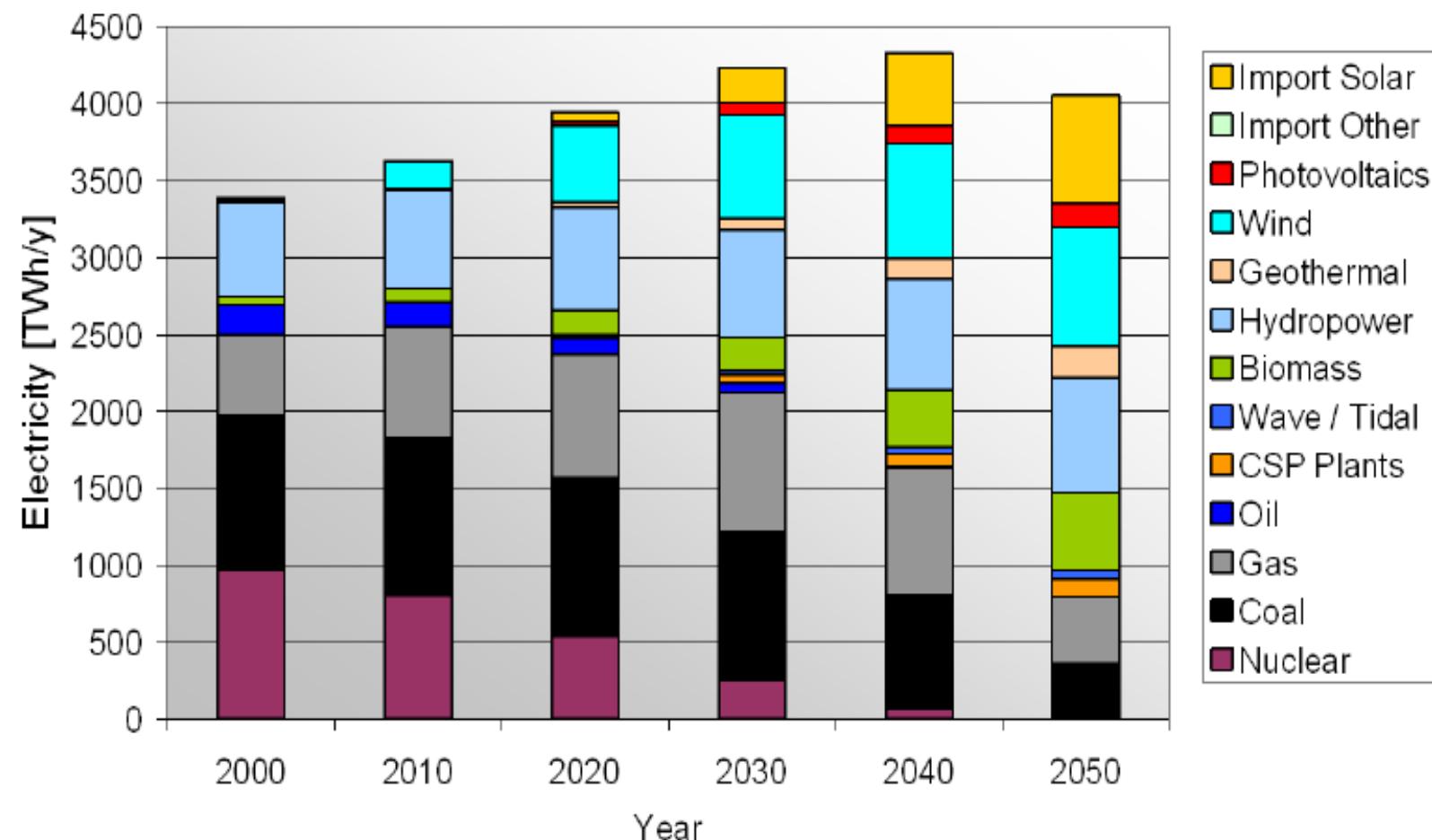


Conclusions de l'étude du DLR

- Dans la plupart des pays d'Afrique du Nord et Proche Orient le solaire à concentration fournira l'essentiel de l'électricité en 2050
- L'énergie éolienne est une ressource majeure en Egypte, au Maroc et à Oman
- L'électricité géothermique est disponible en Arabie Saoudite, Iran, Turquie et au Yémen.
- Des ressources biomasse et hydroélectriques majeures en Egypte, Iran, Iraq et Turquie.



DLR Trans-CSP study: Electricity Generation in Europe



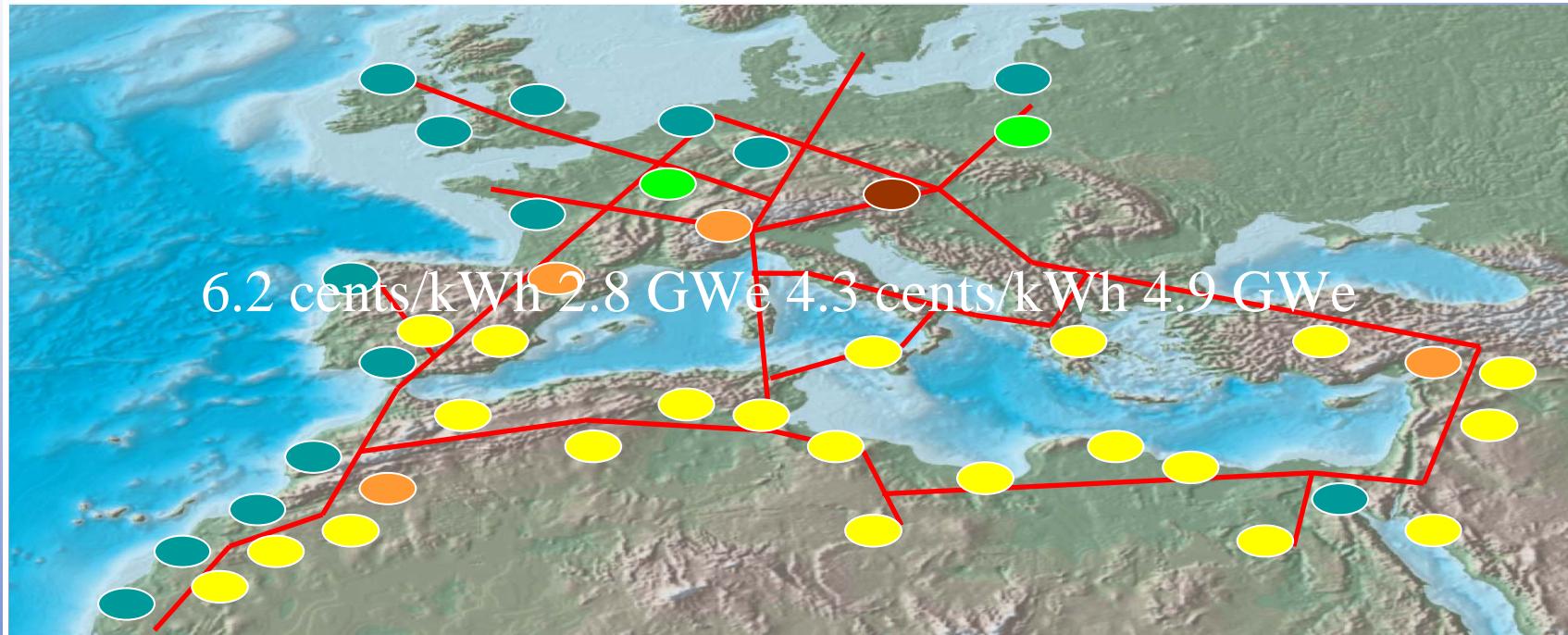


Une coopération N-S?

TREC

Clean Power from the Deserts
Trans-Mediterranean
Renewable Energy Cooperation

- Solar (CSP)
- Wind
- Hydro
- Biomass
- Geothermal

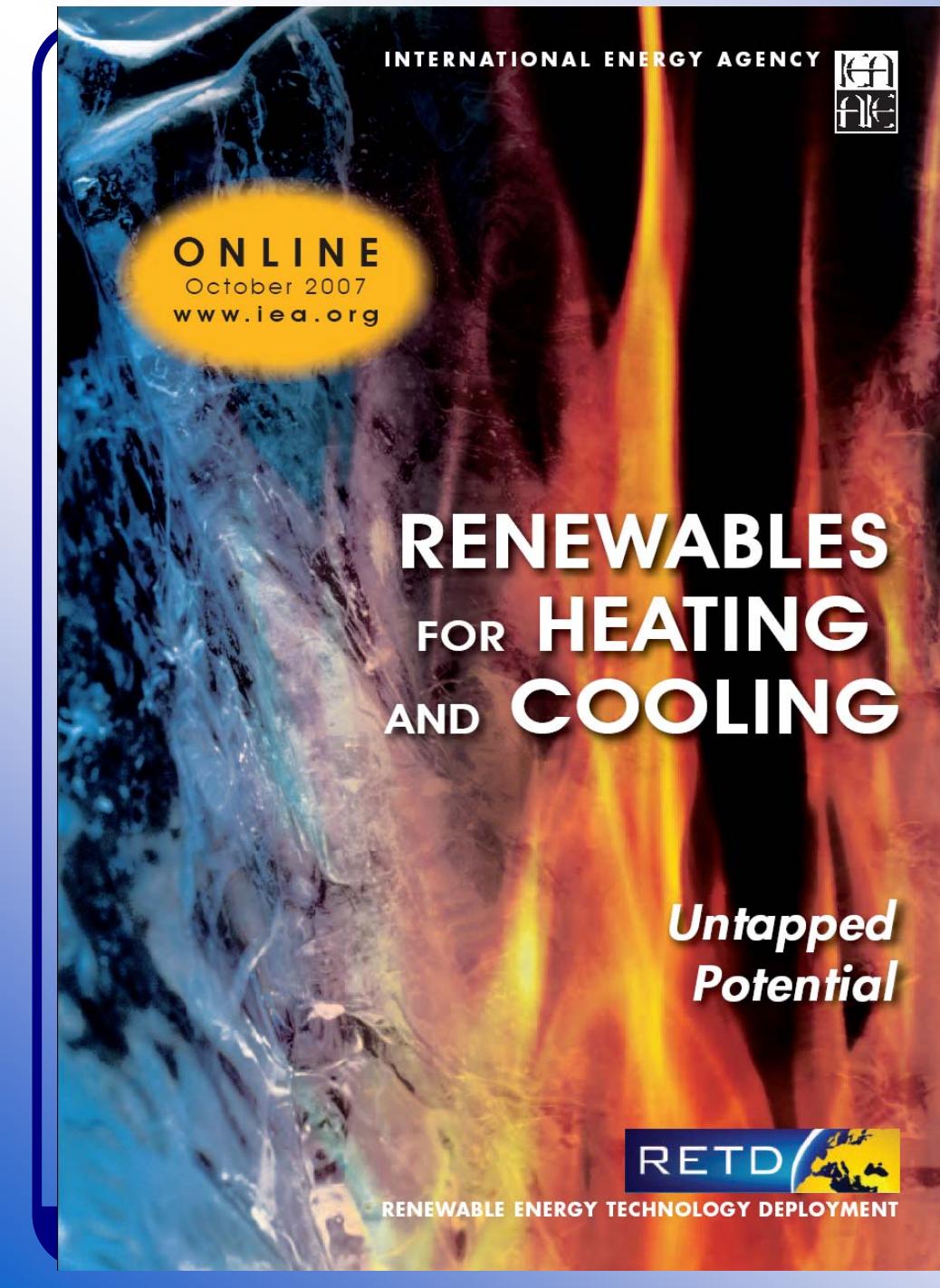


Les lignes HVCC permettent d'exporter vers l'Europe une électricité moins chère que l'électricité renouvelable locale



Solaire thermique *- le géant endormi*

- **Environ 40-50% de l'énergie finale est utilisée pour la chaleur ou le froid, cependant les politiques mettent l'accent sur l'électricité et les agrocarburants**
- **Il est possible de doubler (et plus) la chaleur et le froid du solaire, de la biomasse et de la géothermie si de nombreux pays utilisaient les mêmes politiques que ceux en vigueur chez les leaders**



A joint 200 page publication
by the

IEA Renewable Energy
Technology Deployment
Implementing Agreement

and the

Renewable Energy Unit of
the IEA Secretariat

Free download at
www.iea.org

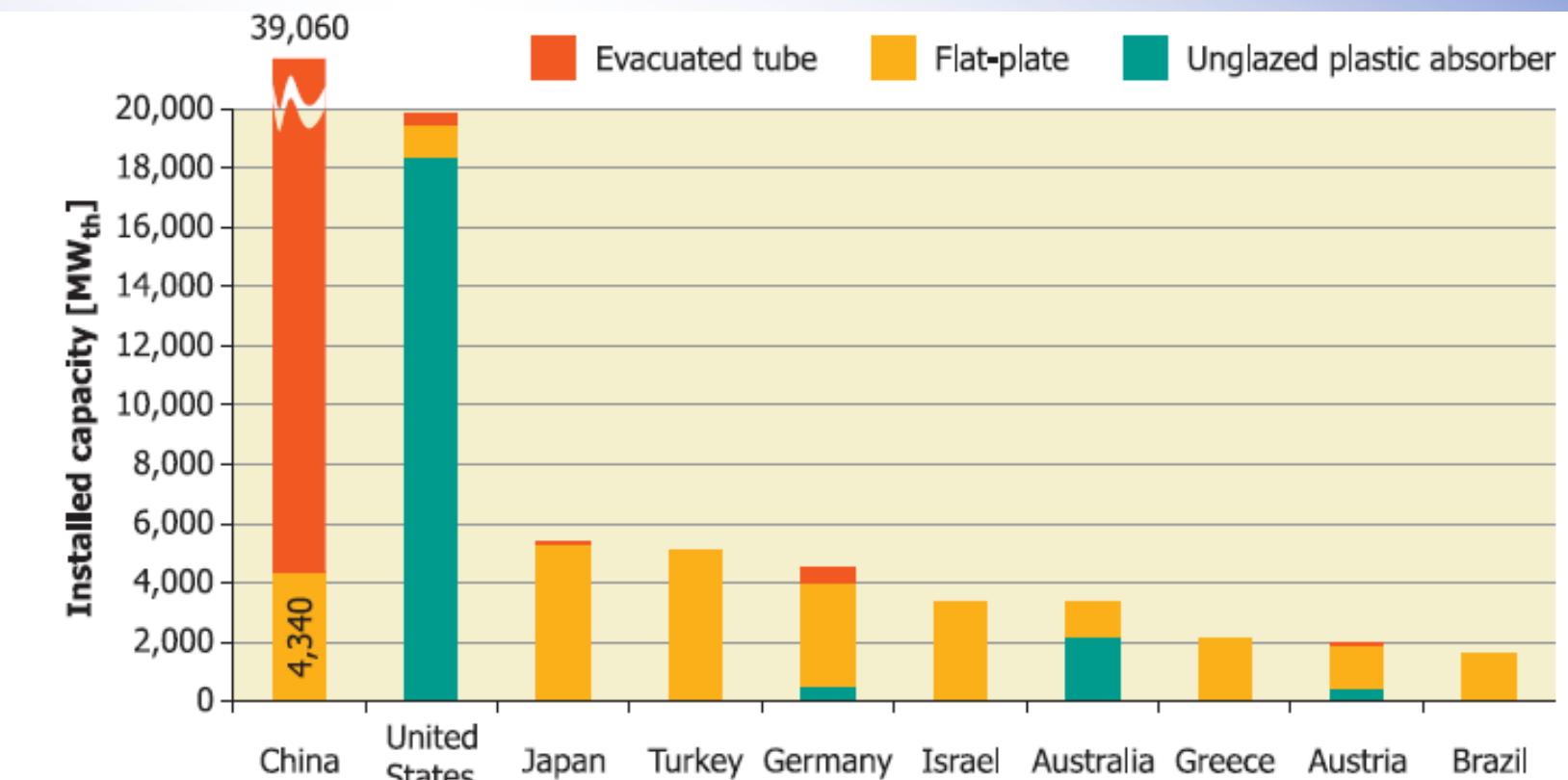


Le Solaire thermique

- **Architecture solaire (passive)**
- **Solaire actif**
 - ◆ Eau chaude sanitaire
 - ◆ Chauffage solaire
 - ◆ Chaleur de procès
 - ◆ Cuisson solaire
 - ◆ Froid solaire



Capacité installée



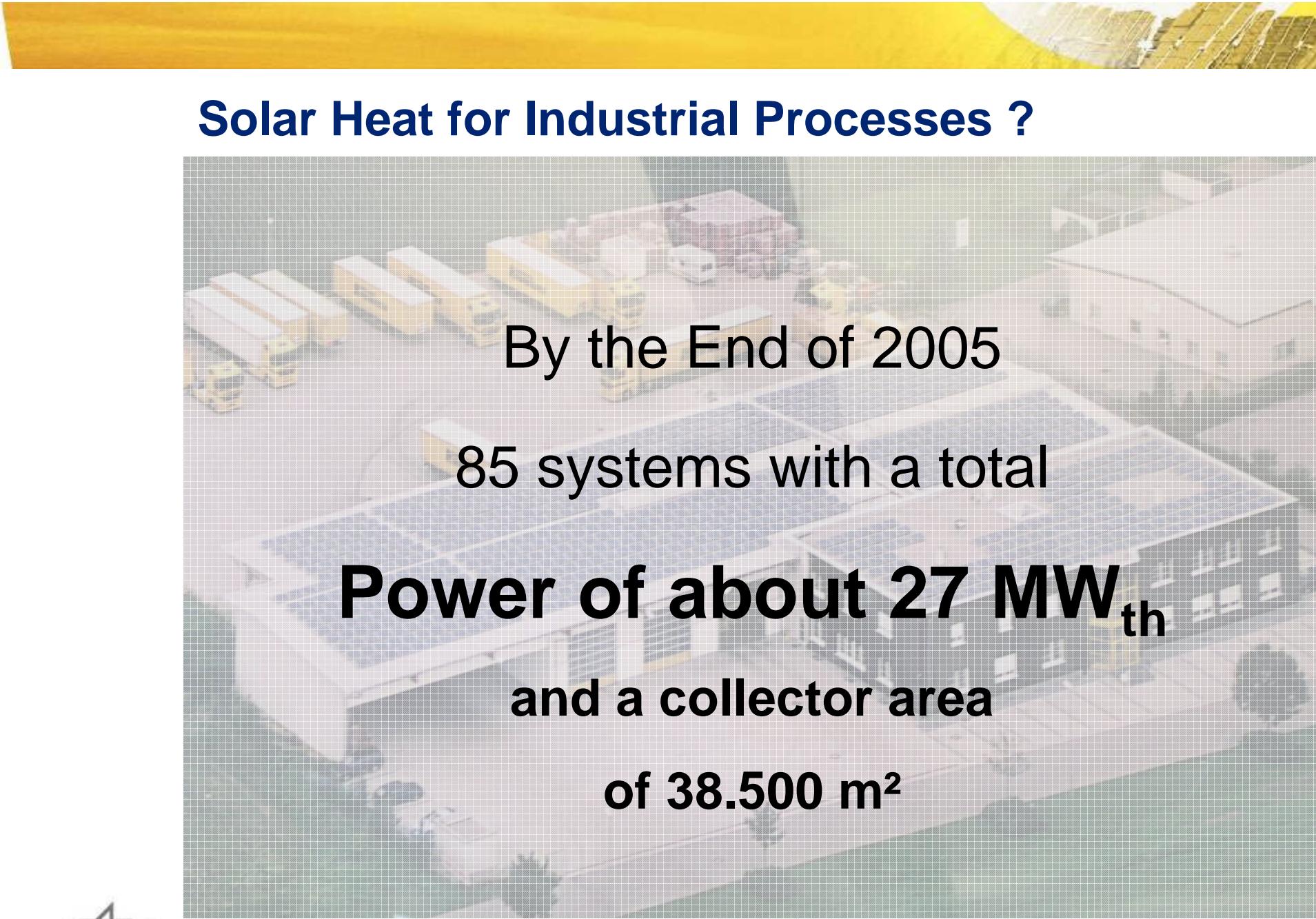


Le solaire thermique en Chine



75% des nouveaux capteurs solaires eau chaude installés dans le monde en 2004 !





Solar Heat for Industrial Processes ?

By the End of 2005

85 systems with a total

Power of about 27 MW_{th}

and a collector area

of 38.500 m²



Potential for solar Process Heat in Europe

Land	Endenergie-verbrauch Industrie 2002 Quelle: Eurostat [PJ/year]	Wärmebedarf Industrie 2002 Source: Eurostat [PJ/year]	Anteil des Wärme- bedarfs an der Endenergie [%]	Potenzial Solare Prozesswärm e (inkl. Mitteltemp. Anwendungen bis 250°C) [PJ/year]	Anteil der Solarwärme am Wärmebedar f der Industrie [%]	Potenzial für Solare Prozess- wärm e [Mio m ²]	Potenzial für Solare Prozess- wärm e [GW]
Österreich	297	220	74.1	5.4	2.4	4.3	3
Spanien	1175	841	71.5	17	2.0	10	7
Portugal	243	184	75.6	4	2.2	2.5	1.7
Italien	1652	1136	68.8	32	2.8	15.4	10.8
Holland	573	425	74.2	1.5 - 1.95	0.3 - 0.5	0.8 - 1	0.7
Deutschland	2416	1575	65.2	50	3.2	35	24.5
EU 15	11372	7880	69.3	199	2.5	110 - 138	77 - 97
EU 25	12964	9145	70.5	230	2.5	128 - 160	90 - 112

Source: Vannoni, C. et al.: Task 33/IV SHIP Potential Studies Report



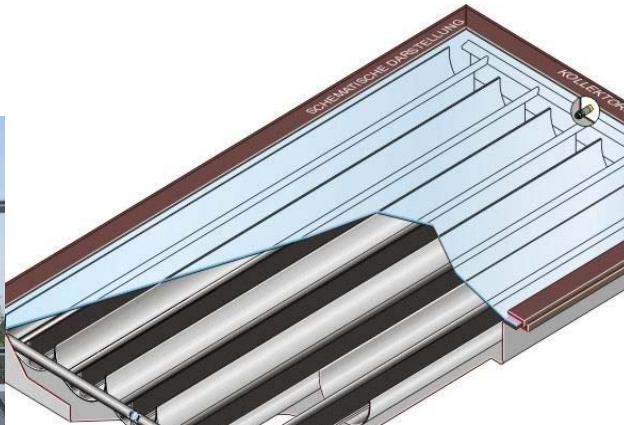
Processes and Temperature Levels

Industry Sector	Process	Temperature Level [°C]
Food and Drinks	Drying Washing Pasteurising Cooking Sterilising Heat Treatment	30 - 90 40 – 80 80 – 110 95 – 105 140 – 150 40 – 60
Textile	Washing Bleaching Dying	40 – 80 60 – 100 100 – 160
Chemistry	Cooking Destilling various chem. Processes	95 – 105 110 – 300 120 - 180
All Sectors	Feedwater pre-heating Space Heating of Industry Halls	30 – 100 30 – 80





Development of Medium Temperature Collectors



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



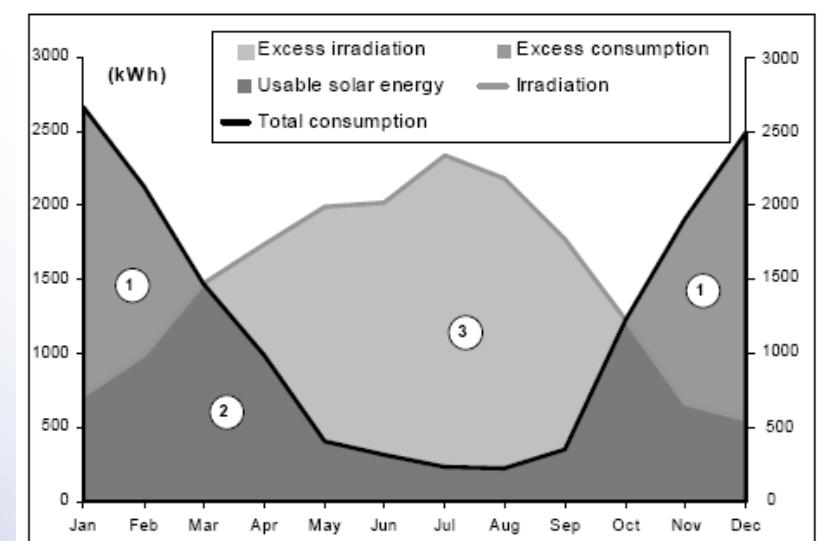
Solaire thermique: les freins (1)

● Problèmes techniques

- ◆ Problème de jeunesse résolus pour l'eau chaude sanitaire mais la méfiance persiste
- ◆ Pénurie de professionnels
- ◆ Améliorations attendues pour les autres usages

● Problèmes économiques

- ◆ Output maximum quand la demande est faible
- ◆ Plus rentable dans les régions froides





Solaire thermique: les freins (2)

● Problèmes économiques (suite)

- ◆ Coûts encore excessifs dans bcp de pays
- ◆ Architecture solaire et équipement de nouveaux bâtiments moins onéreux
- ◆ Coûts d'investissements; critères incorrects
- ◆ Internalisation des coûts externes insuffisante

● Barrières légales et institutionnelles

- ◆ ‘Split incentives’
- ◆ Décisions dans les co-propriétés
- ◆ Autorisations
- ◆ Manque d'information



Politiques utiles

● Soutien à la recherche développement

- ◆ Une petite part des fonds pour les renouvelables dans les pays membres
- ◆ Le programme Solar Heating and Cooling

● Le soutien au déploiement

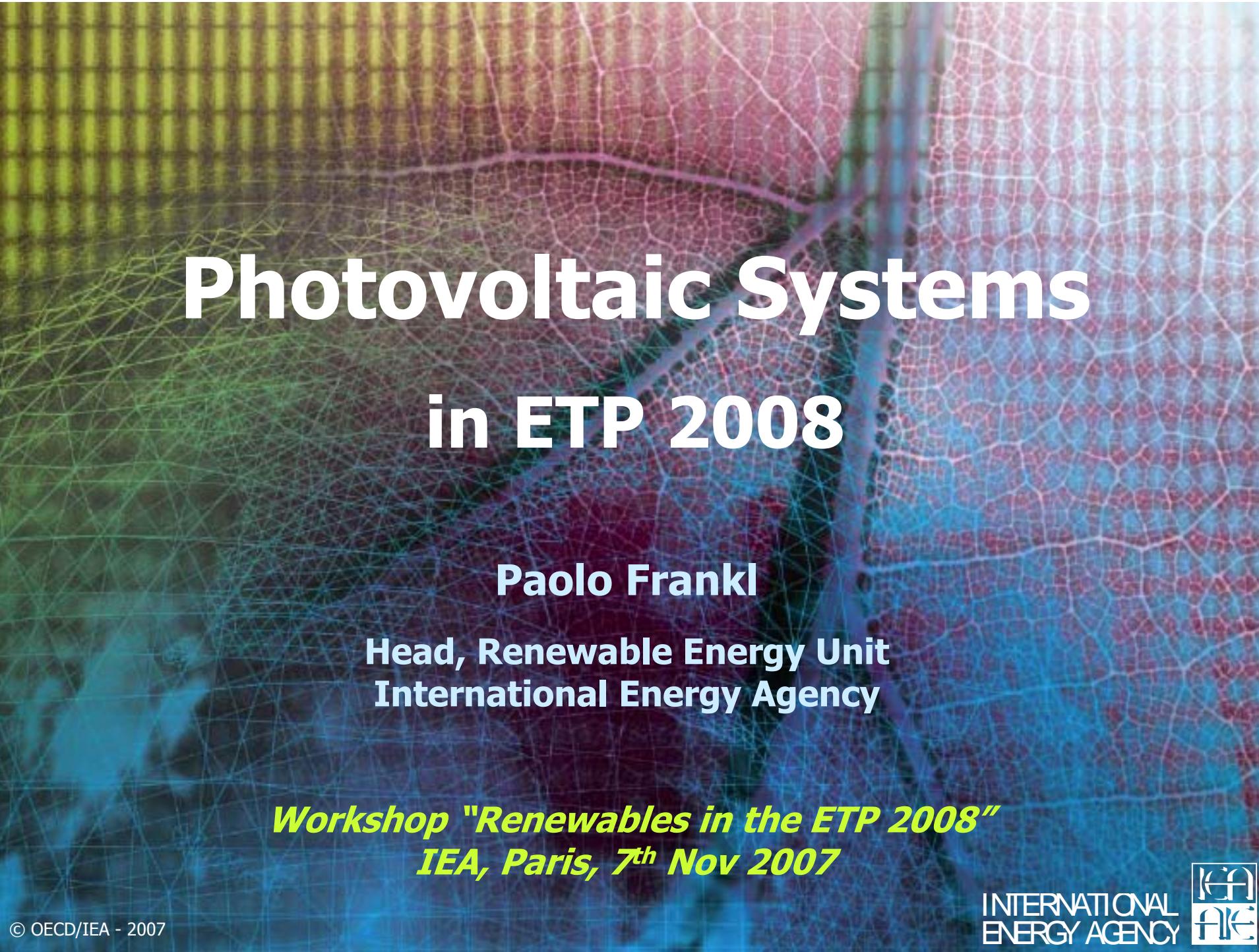
- ◆ Information et formation
- ◆ Certification, garanties solaires, contrats de service
- ◆ Subventions et incitations fiscales
- ◆ Certificats verts/blancs (Australie, France, Italie)
- ◆ MDP, marchés du carbone
- ◆ Achats publics
- ◆ Barrières aux échanges

● Obligations (Israël, Espagne)



Conclusion sur solaire thermique

- Besoin de traiter ensemble les différentes barrières
- Les politiques de soutien au solaire thermique très en retard
 - ◆ Directives européennes: biocarburants, renouvelables dans la production électrique
- Décideurs ne connaissent pas les possibilités
 - ◆ Les besoins de chaleur, lumière et travail (fixe et mobile) trop souvent non identifiés



Photovoltaic Systems in ETP 2008

Paolo Frankl

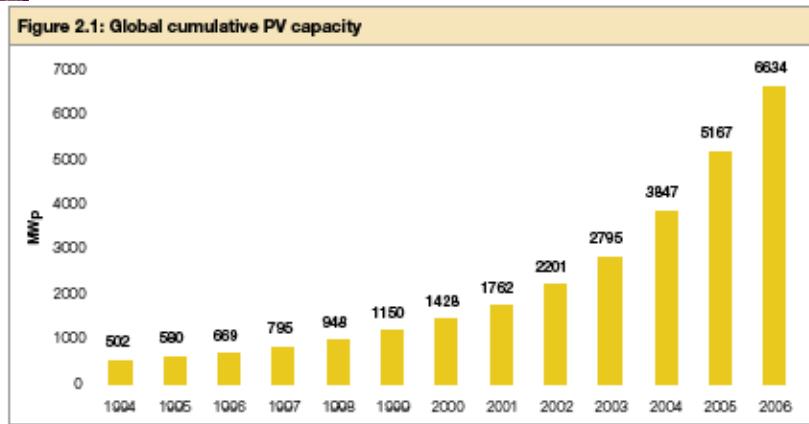
Head, Renewable Energy Unit
International Energy Agency

*Workshop "Renewables in the ETP 2008"
IEA, Paris, 7th Nov 2007*



Cumulative installed PV Power (2006)

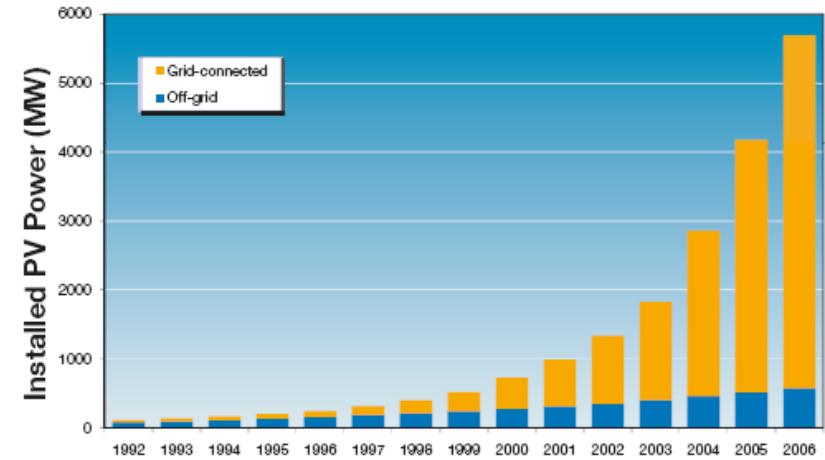
- World



Tot: 6.6 GWp

Source: EPIA SG-IV (2007)

- IEA PVPS Countries

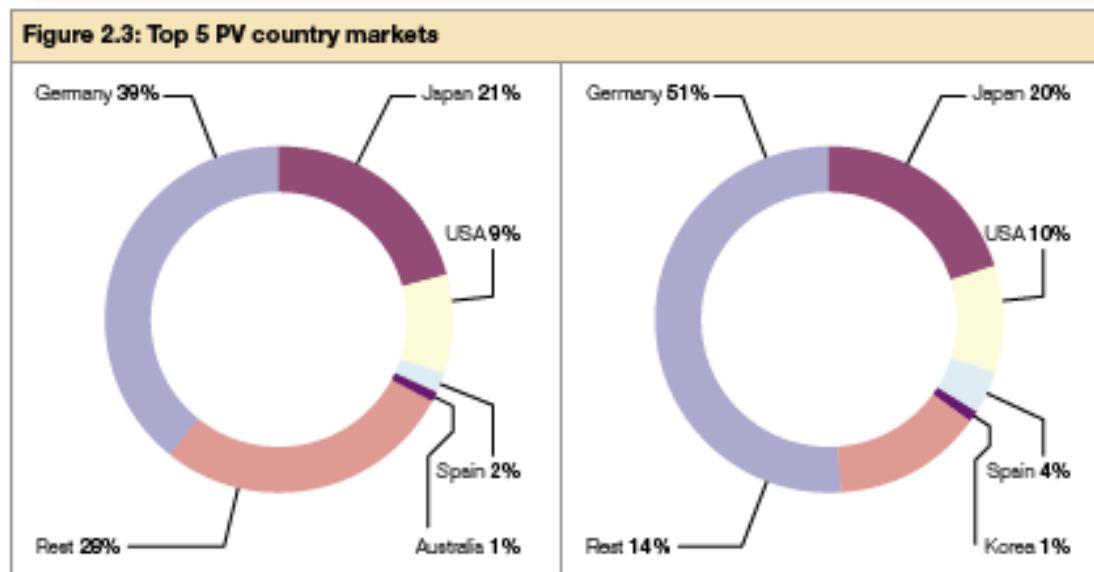


Tot: 5.7 GWp

Source: IA PVPS (2007)



Top Five PV countries



Top 5 Total installed capacity 2006 (MWp)		Top 5 New capacity 2006 (MWp)	
Germany	2630 *	Germany	750 *
Japan	1708	Japan	280
USA	620	USA	141
Spain	120	Spain	63
Australia	70	South Korea	21

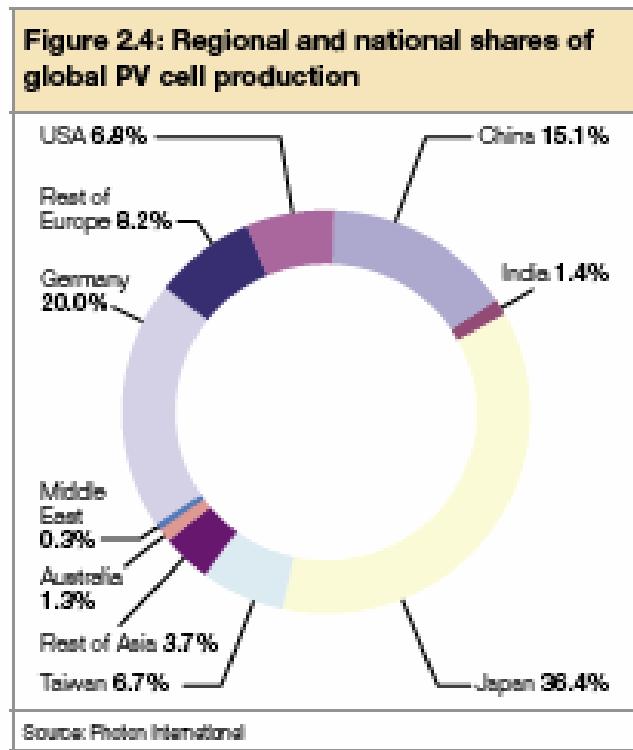
* estimate IA PVPS estimates 2863MW cumul and 950 MW market

Source: EPIA SG-IV (2007) and IA PVPS 2007



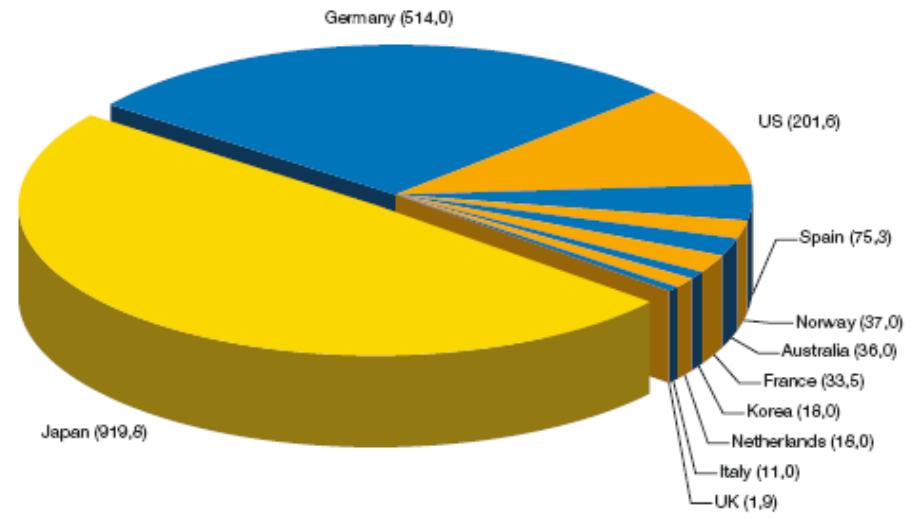
Manufacturing shares (2006)

- World



Source: EPIA SG-IV (2007)

- IEA PVPS Countries



**Figure 4 – PV cell production (MW)
by country in 2006**

Source: IA PVPS (2007)



PV Manufacturing – IEA Countries

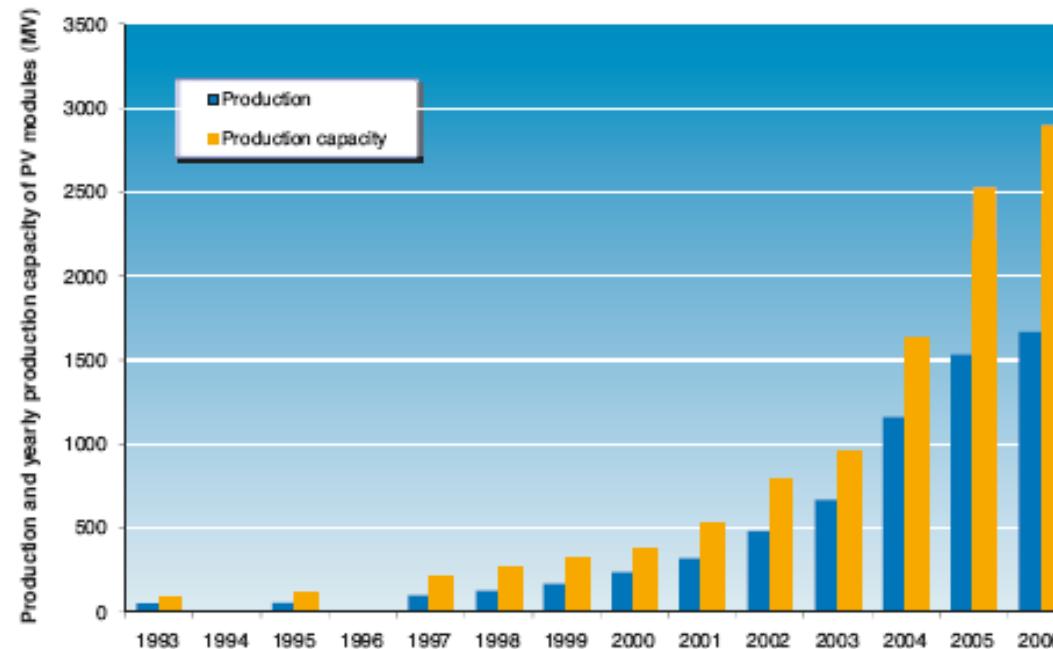


Figure 5 – PV module production and yearly module production capacity in the reporting countries (MW) between 1993 and 2006

Source: IA PVPS 2007



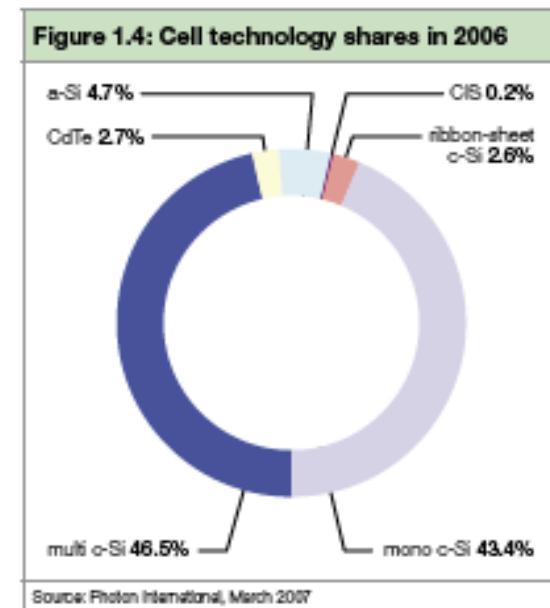
Current market trends

- PV market growing extremely quickly: 1.5 GW/y in 2006, estimated 2.5 GW/y in 2007
- In 2005-06 market almost entirely pulled by Germany and Japan (and US), however situation rapidly changing:
 - A lot of investments in the pipeline everywhere, thanks to new FITs in many other countries;
 - Change of order of magnitude in new manufacturing plants (several ones > 300 MW, 1 GW plant planned in Japan by Sharp)
- Market forecast for 2010 according to industry: 6 – 14 GW/y.
Nowak suggests 8-10 GW/y
- ETP assumptions - ACT: 6 GW/y; BLUE: 10GW/y

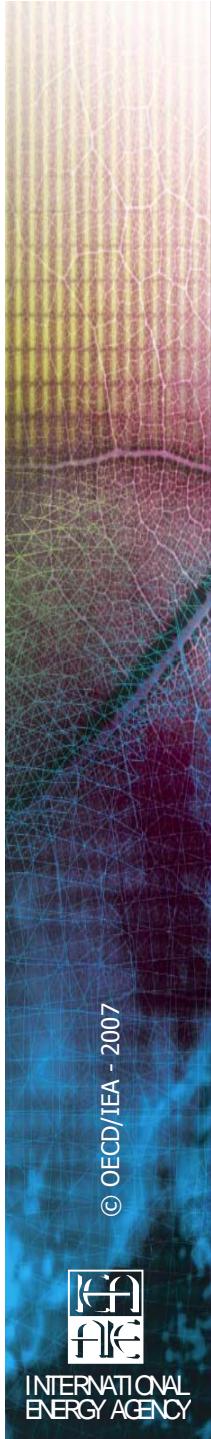


Cell technology shares

- Market currently dominated by c-Si
- Share of thin films:
 - 2006: below 8%
 - 2010 forecast: 15%
 - 2020 forecast: 30-40%



Sources: IA PVPS (2007), EPIA SG-IV (2007), NEEDS (2006)



Current module efficiencies

	Wafer-based c-Si		Thin films		
	sc-Si	mc-Si	a-Si a-Si/m-Si	CdTe	CIS
Module efficiency (%)	13%-15%	12%-14%	6%-8%	8%-10%	10%-11%
Maximum recorded module efficiency (%)	22,7%	15,3%	-	10,5%	12,1%
Maximum recorded laboratory efficiency (%)	24,7%	19,8%	12,7%	16,0%	18,2%
Main applications	Centralized and distributed grid-connected systems (incl. BIPV); Remote industrial and rural	Centralized and distributed grid-connected systems (incl. BIPV); Remote industrial and rural	Consumer products; off-grid rural; building integration	Grid-connected systems; Building integration	Grid-connected systems; Building integration

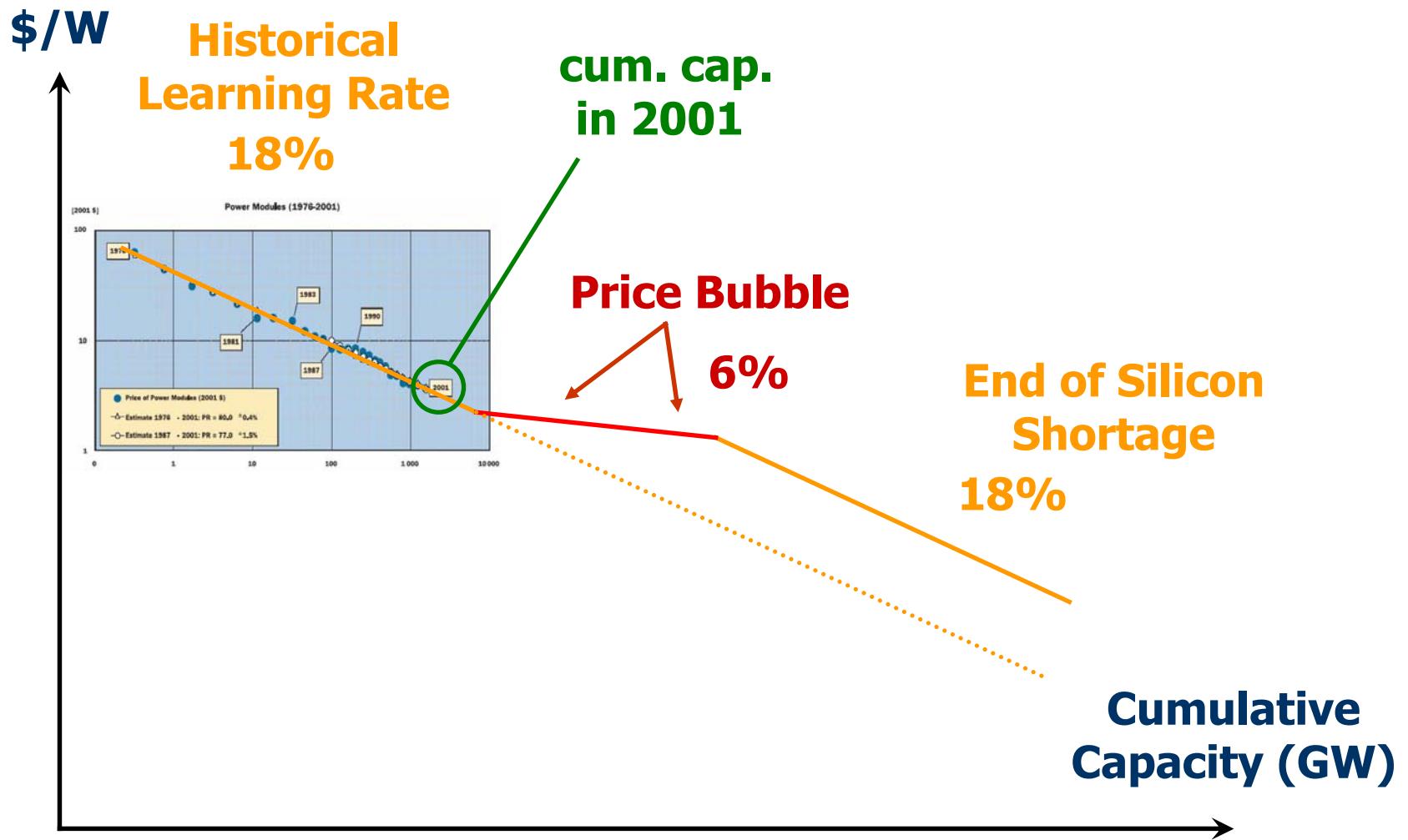
Sources: updated from NEEDS (2006) and EPIA SG-IV (2007)



Current situation

- Price bubble due to purified silicon shortage expected to finish during 2008
- c-Si modules are now again at the 2004 (nominal) prices, i.e. 3€/W and expected to further decrease with new manufacturing plants and silicon purification facilities (both based on Siemens and new processes)
- Estimated total system prices:
 - 5€/W by the end of 2006 (but some German producer sold also at 4.4),
 - 4-4.5 €/W in 2007/08 and
 - 3-3.5 €/W by 2010.
- Thin film modules are produced at 1.8 €/W already today; estimate for 2010: 1.2 – 1.5 €/W

Cost Developments





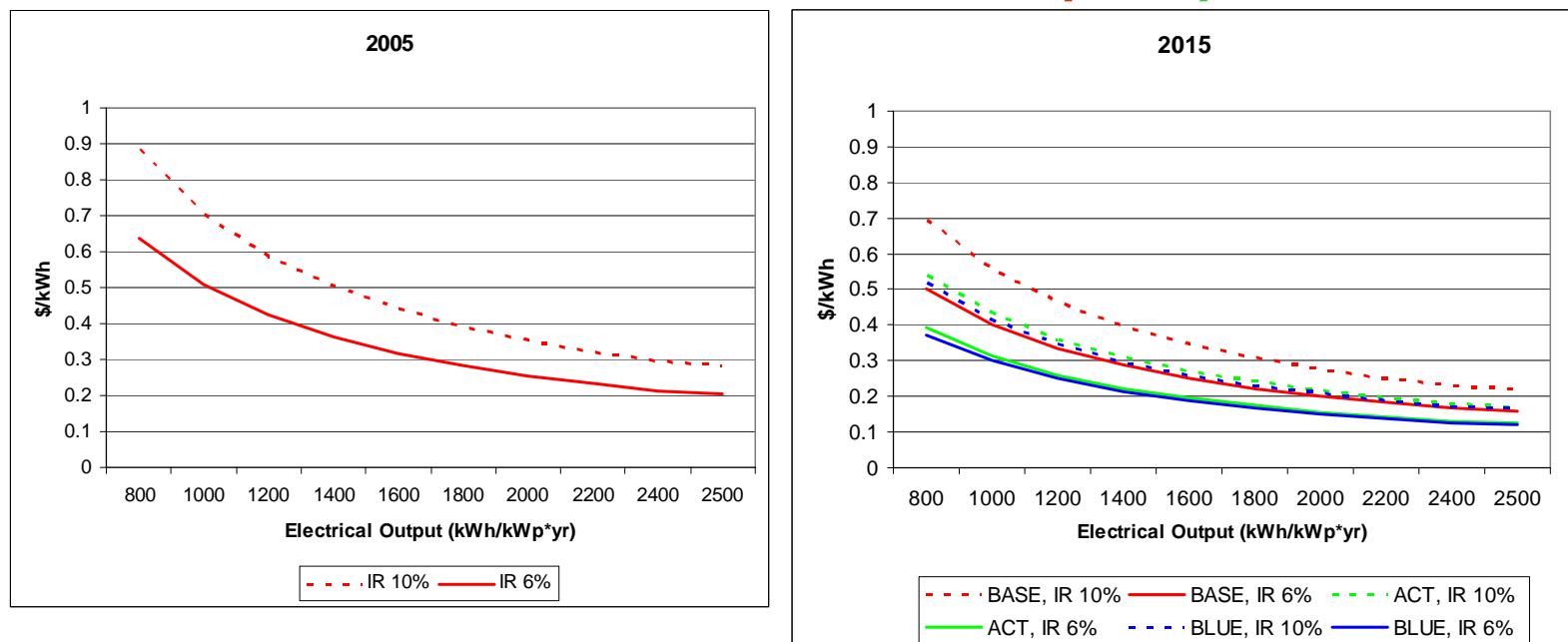
Current and short-term PV generation costs

- Lifetime: 25 years for all configurations and scenarios
- System costs expressed in \$(2005)/W_p

4.9 \$/W

3.8 / 3.0 / 2.9 \$/W

REF/ACT/BLUE

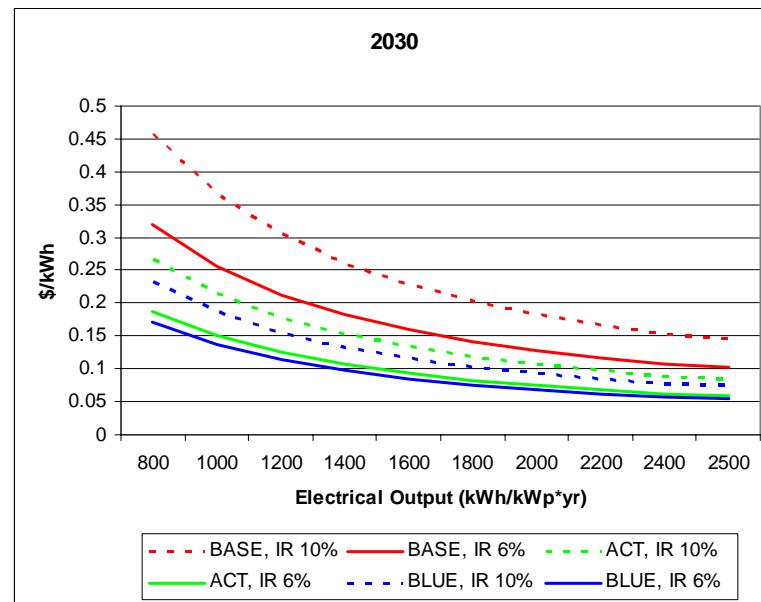




Long-term cost projections

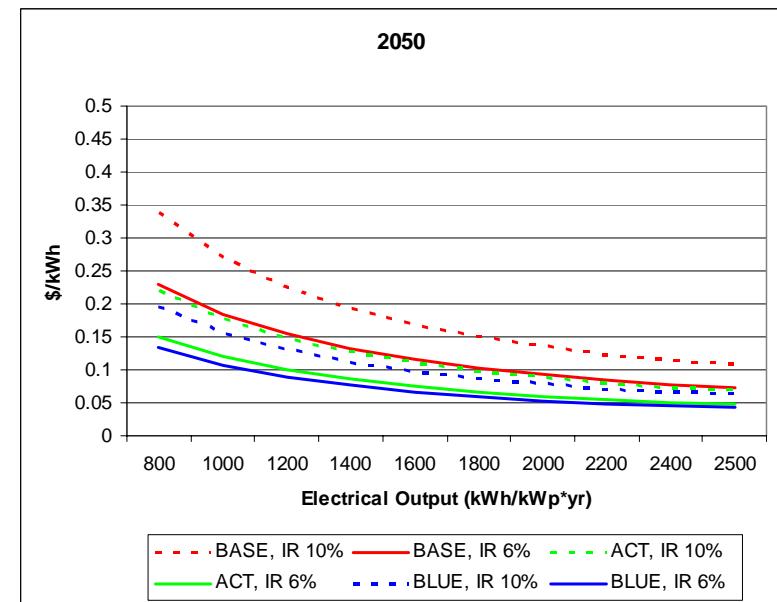
2.6 / 1.5 / 1.4 \$/W

REF/ACT/BLUE



2.0 / 1.3 / 1.1 \$/W

REF/ACT/BLUE





Technology development

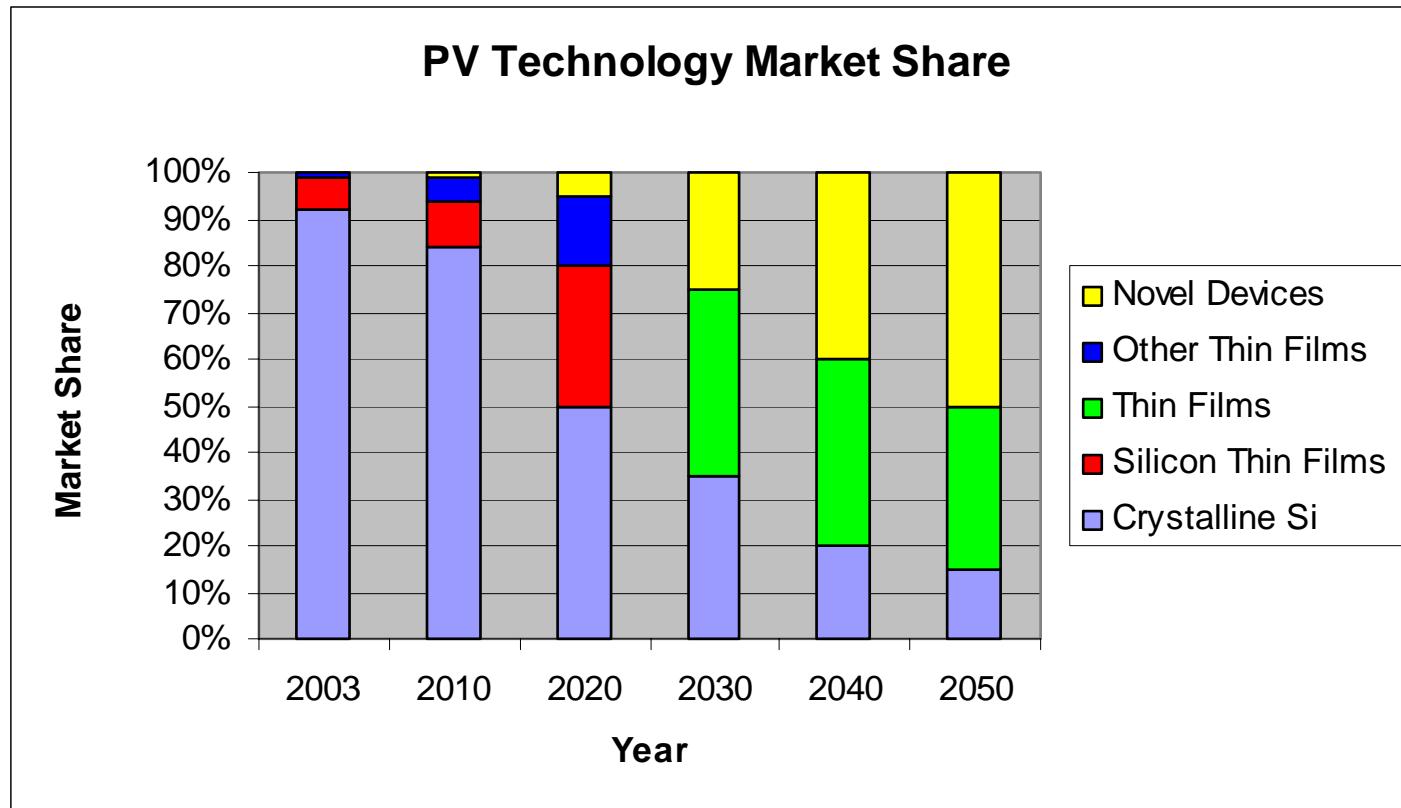
- Future PV systems will look very differently
 - **Double technology shift**
 - c-Si → Thin films → 3rd generation devices
- Specific building-integrated applications
- BOS improvements



Sources: PVACCEPT (2005), NEEDS (2006)



Technology shift – BLUE scenario



Source: NEEDS (2006)