

---

# L'intégration du photovoltaïque dans le bâtiment

**Philippe Malbranche**

**CEA,**

**FRANCE**

**Tél : 33 4 79 44 45 46**

**Mél : philippe.malbranche @ cea.fr**

**[www.ines-solaire.com](http://www.ines-solaire.com)**

# Plan de l'exposé

---

- 1. Les différents modes d'intégration architecturale du photovoltaïque dans les bâtiments**
  
- 2. Les produits d'aujourd'hui :**
  - Les techniques
  - L'économie : les prix des modules et des systèmes
  
- 3. Les évolutions attendues :**
  - le potentiel
  - le marché, la baisse des prix
  - les évolutions techniques et les innovations vers une intégration plus poussée

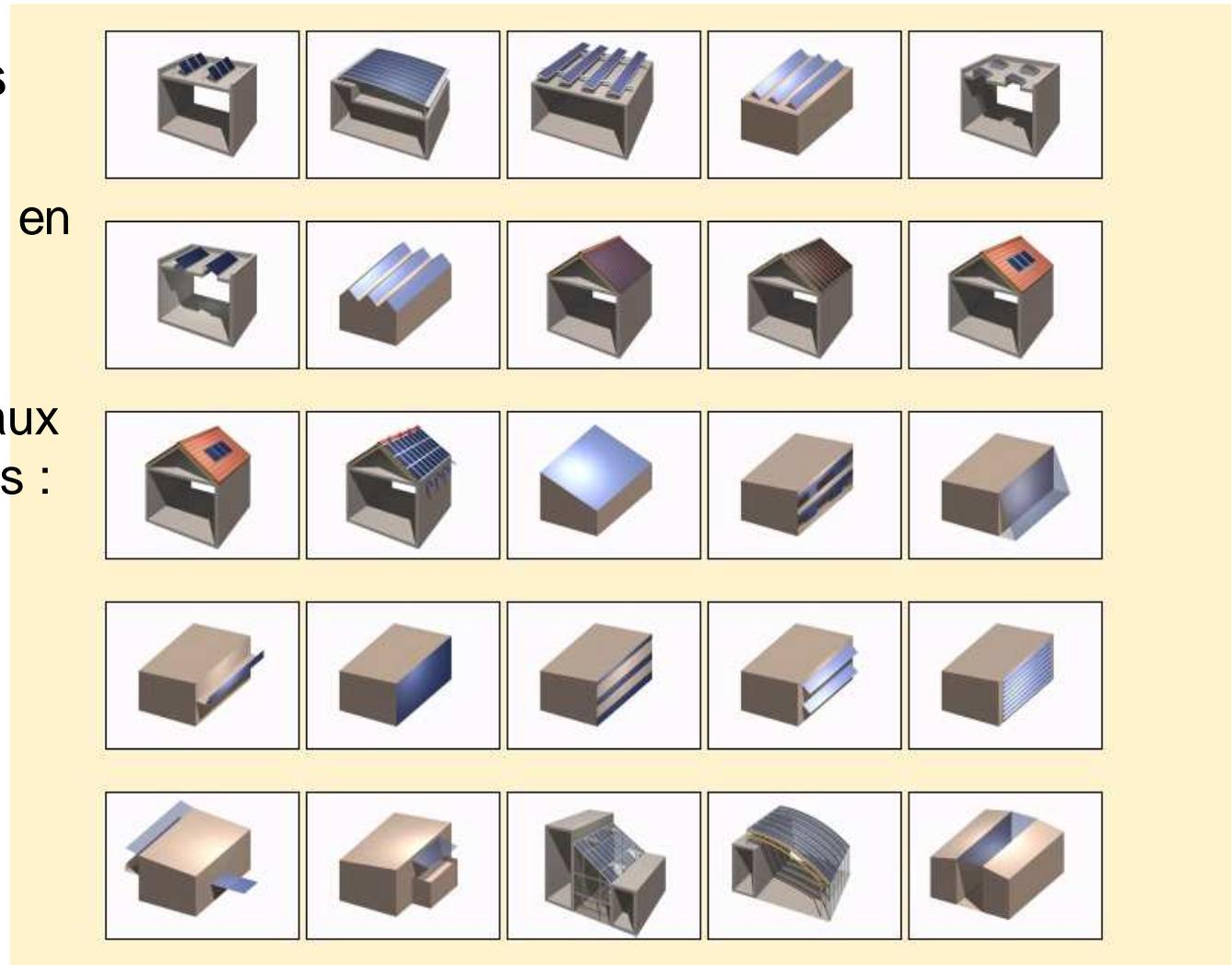
# L'intégration revêt de multiples formes :

- **Exemples d'intégration dans les bâtiments :**

- ◆ La surimposition, en toiture ou façade

- ◆ La participation aux diverses fonctions :

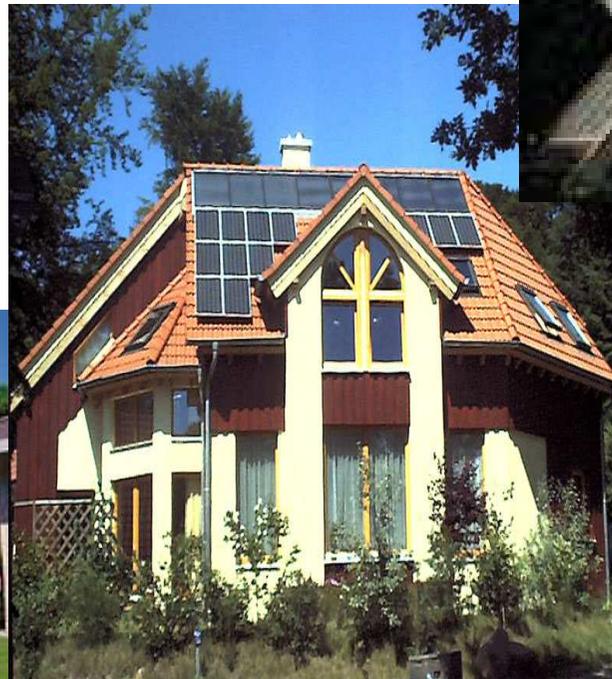
- ✓ Étanchéité
- ✓ Éclairage
- ✓ Isolation
- ✓ Apport thermique



## Intégration par surimposition (1/5)

---

- **Surimposition sur toiture inclinée couverte en éléments discontinus**



**Fonction principale : la production d'électricité**

## Intégration par surimposition (2/5)

---

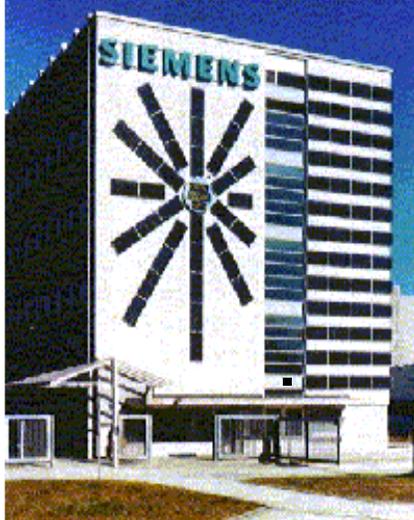
- **sur toiture-terrasse ou toiture revêtue d'une étanchéité**



## Intégration par surimposition (3/5)

---

- **fixation par l'extérieur sur un mur isolé ou non**



## Intégration par surimposition (4/5)

- **Surimposition avec fonction « protection solaire »**



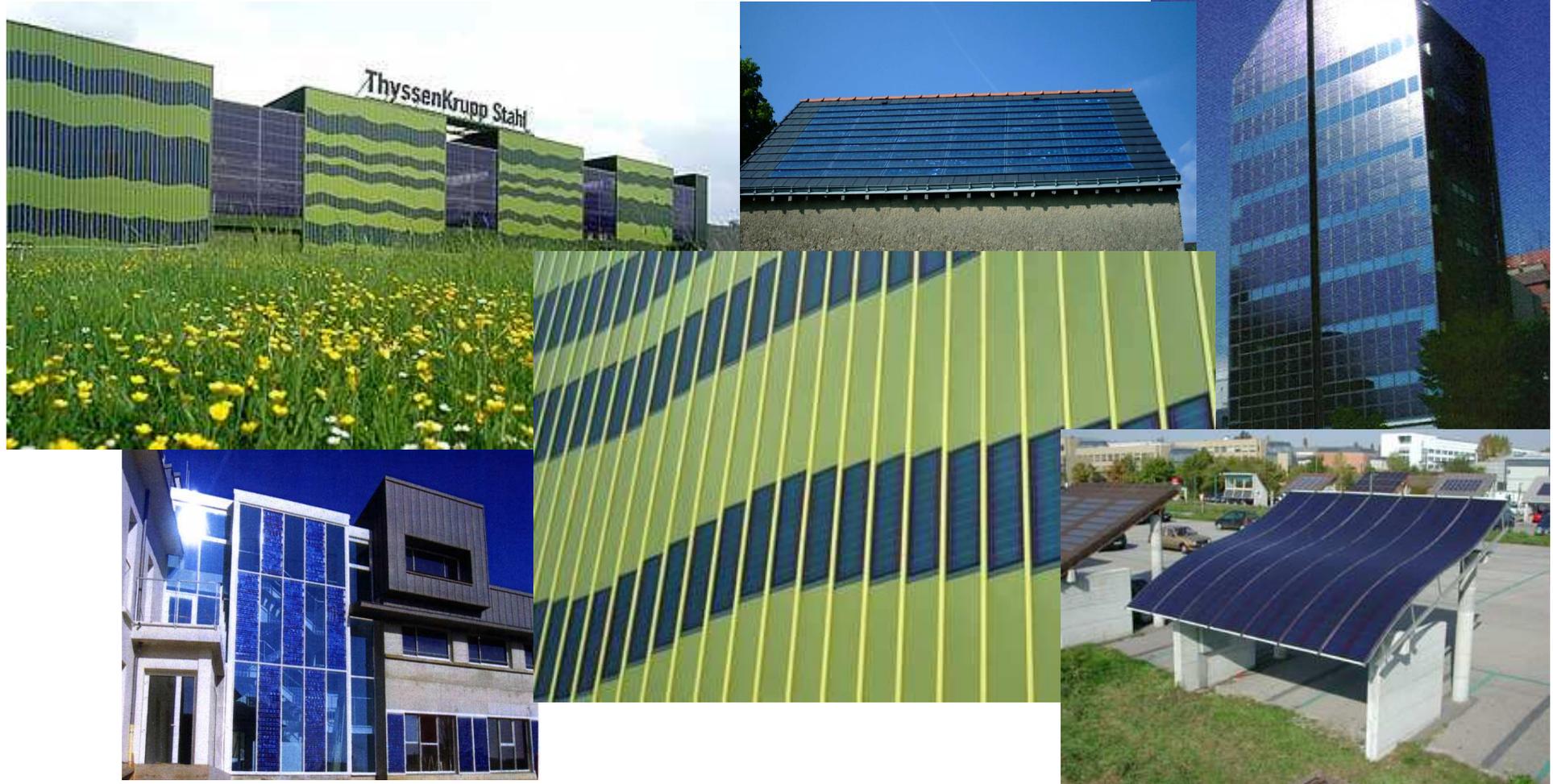
## Intégration dans les ouvrages d'art : murs anti-bruit, ponts (5/5)



Dans tous les cas, fonction principale : L'électricité

# Intégration à l'enveloppe du bâtiment

- en toiture ou façade, opaque



Fonctions : étanchéité (clos et couvert), électricité

# Intégration à l'enveloppe du bâtiment

- en toiture ou façade, avec transparence partielle



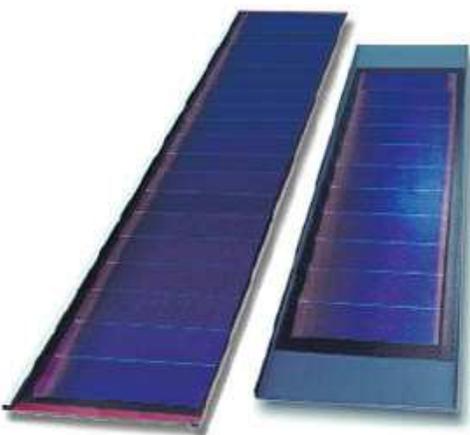
Fonctions : étanchéité, électricité, éclairage

## Les produits existants pour une intégration (opaque)

- **Pour toitures en tuile ou ardoise**



- **Pour bardage métallique**



## Les produits existants pour une intégration (transparente)

- **Modules au silicium cristallin :**  
espacement des cellules à la demande

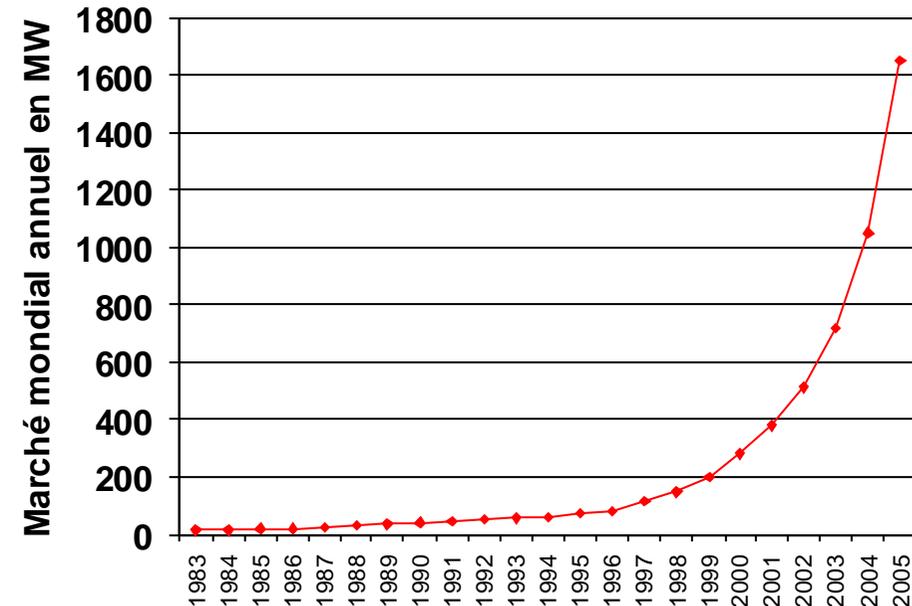


- **Modules « couches minces »,**  
avec trous ou stries pour  
donner l'effet « transparent »



## Les technologies les plus utilisées à ce jour

- **Des modules au silicium cristallin :**
  - ◆ Opaques le plus souvent
  - ◆ “Semi-transparent” en cas d’intégration en verrière
- **Un onduleur par installation usuelle (de l’ordre de quelques kW)**
- **Quelquefois : un stockage pour sécuriser l’installation en cas de défaillance du réseau**



**1 m<sup>2</sup> installé ≈**

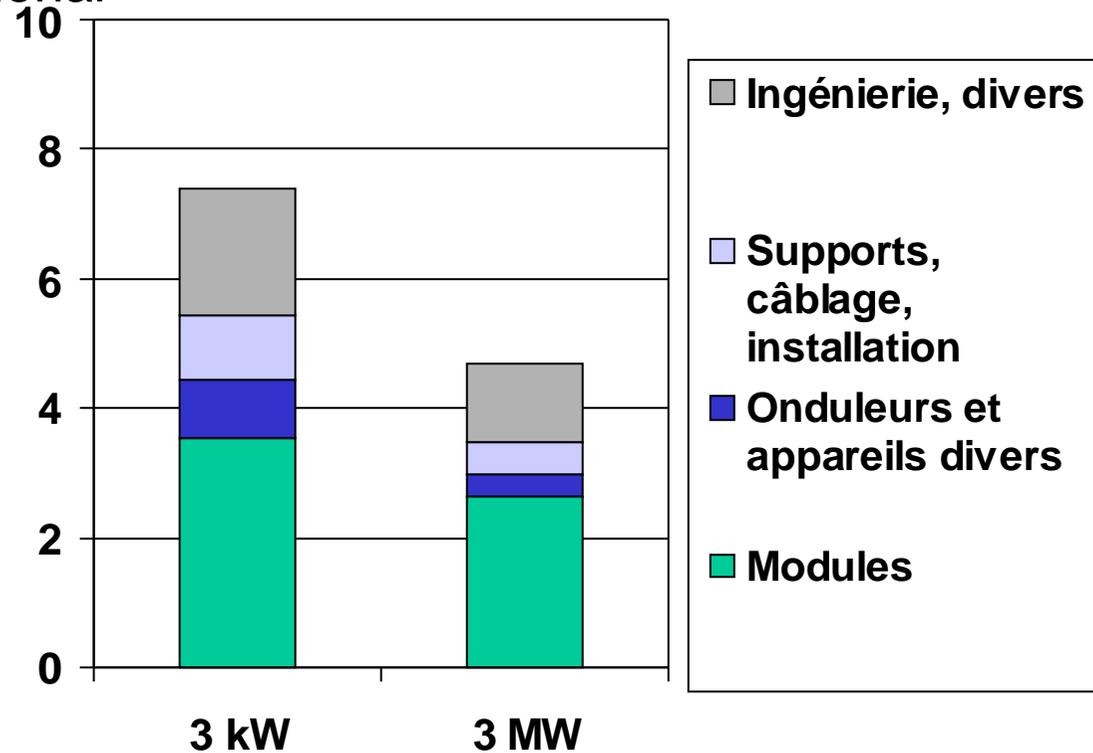
• **100 à 130 W maxi**

• **450 à 1000€**

• **80 à 140 kWh/an**

## Les prix des systèmes « connectés au réseau »

- Les prix des modules sont de l'ordre de 3€/W sortie usine
- Ils représentent 50 à 60 % du prix d'un système complet
- Le prix de revient "installé" est situé entre 4,5 et 8€/W, selon :
  - ◆ Le volume du marché national
  - ◆ La taille de l'installation
  - ◆ Le mode d'intégration



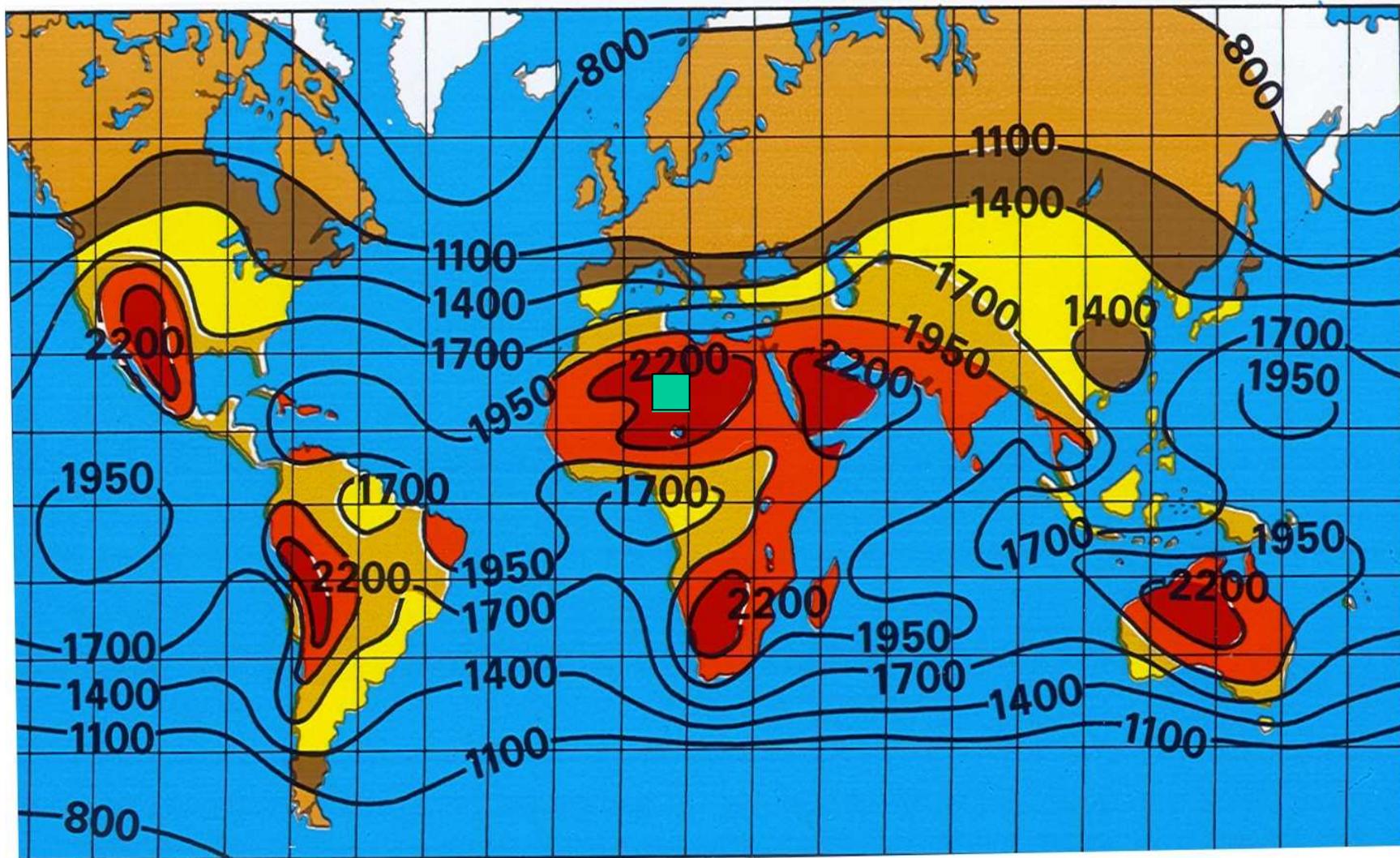
---

## Le potentiel

Les évolutions prévisibles, vers les bâtiments globalement producteurs d'énergie

# L'énergie annuelle globale incidente

(KWh/m<sup>2</sup>an horizontal)



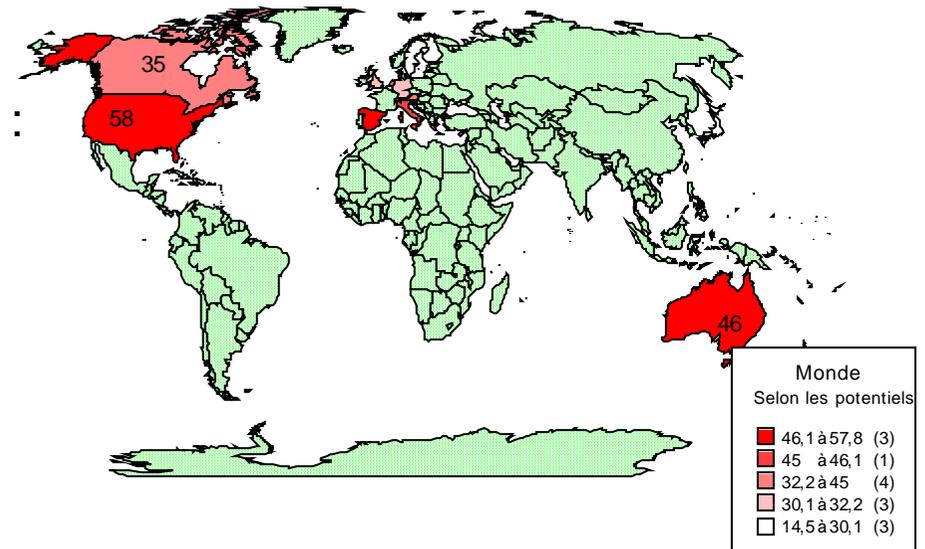
■ Surface nécessaire pour satisfaire la demande mondiale d'énergie primaire, à 10% de rendement

# Le potentiel des pays industrialisés : L'intégration dans les bâtiments

(source AIE PVPS 2002)

## ● Hypothèses :

- ◆ 45 m<sup>2</sup> de bâtiments par habitant (CEE) :
  - ✓ 40% des surfaces en toiture
  - ✓ 15% des surfaces en façade
- ◆ 80% de l'énergie solaire utilisée
- ◆ Rendement systèmes : 10%



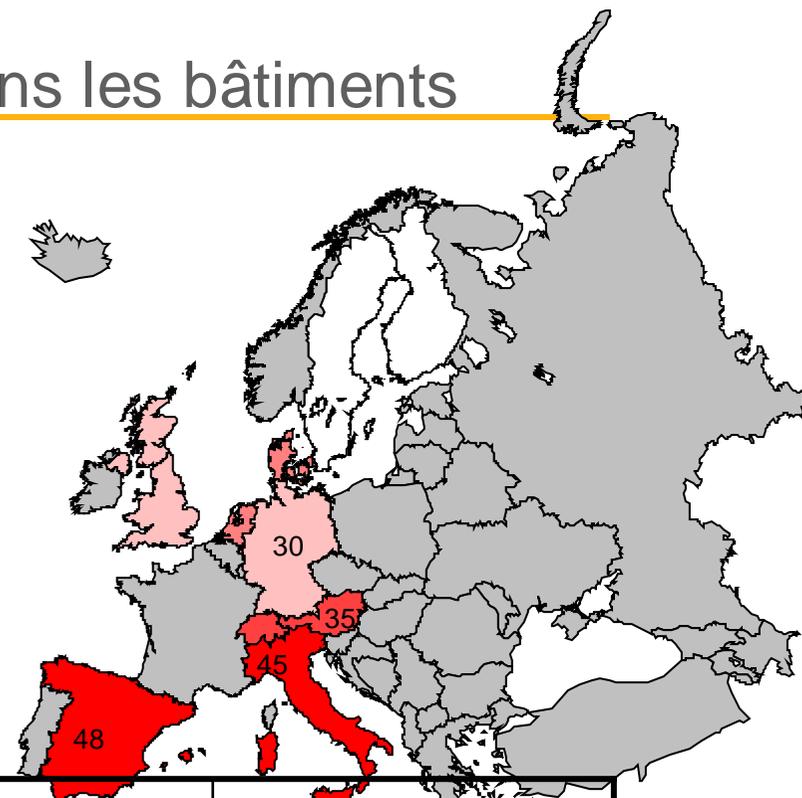
- **Résultat** : selon les pays, l'électricité solaire peut représenter de **20 à 60% de leur consommation d'électricité actuelle**



# Le potentiel de l'électricité solaire dans les bâtiments

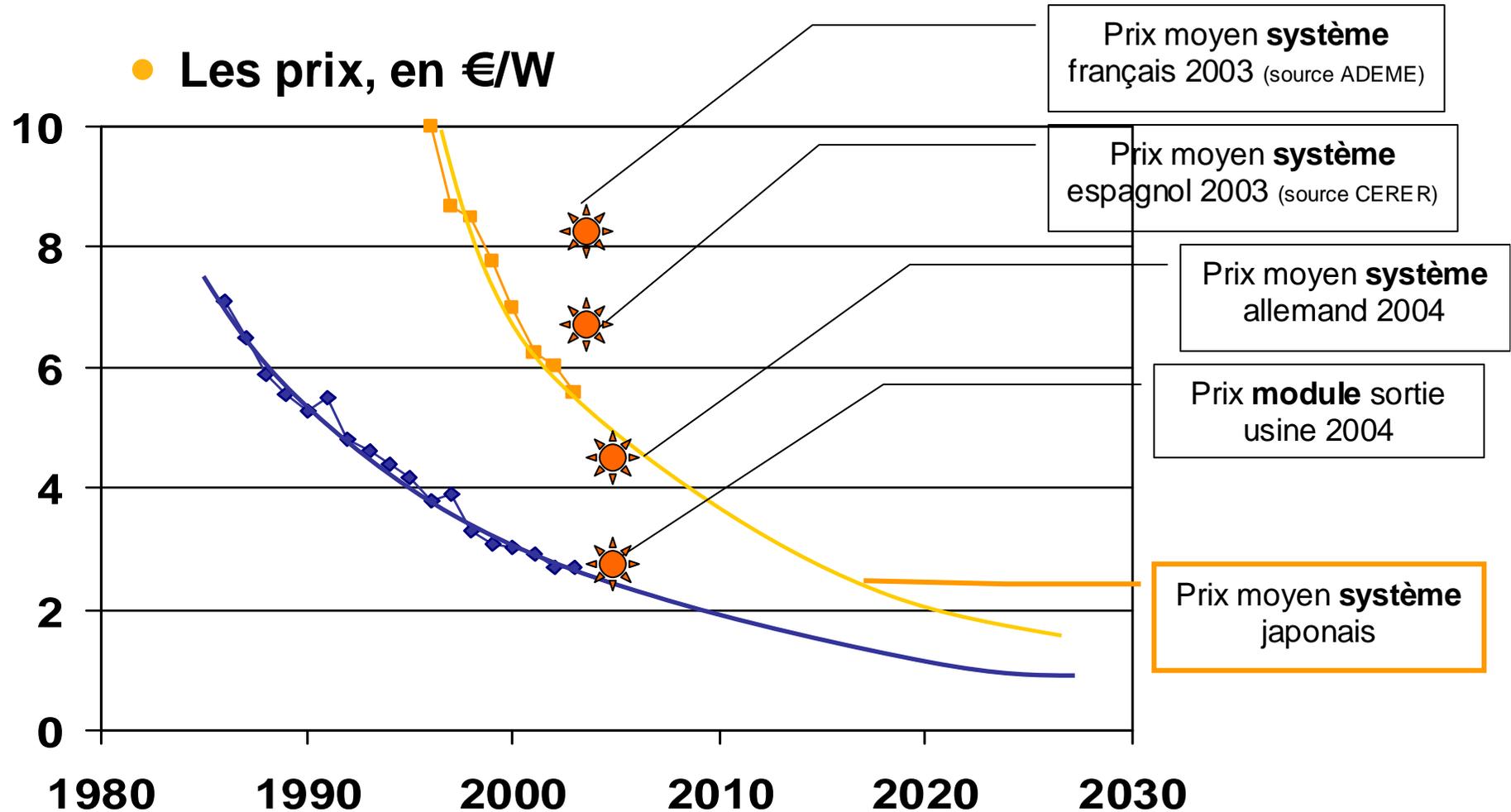
(source AIE PVPS 2002)

- **En France, l'électricité solaire peut représenter environ 40% de la consommation d'électricité actuelle (500 TWh)**



	Surfaces de toitures (km <sup>2</sup> )	Surfaces de façades (km <sup>2</sup> )	Electricité potentielle
Allemagne	1296	486	160 TWh/an
Royaume-Uni	915	343	126 TWh/an
Italie	764	286	105 TWh/an
<b>France</b>	<b>1200 ?</b>	<b>400 ?</b>	<b>200 ?</b>

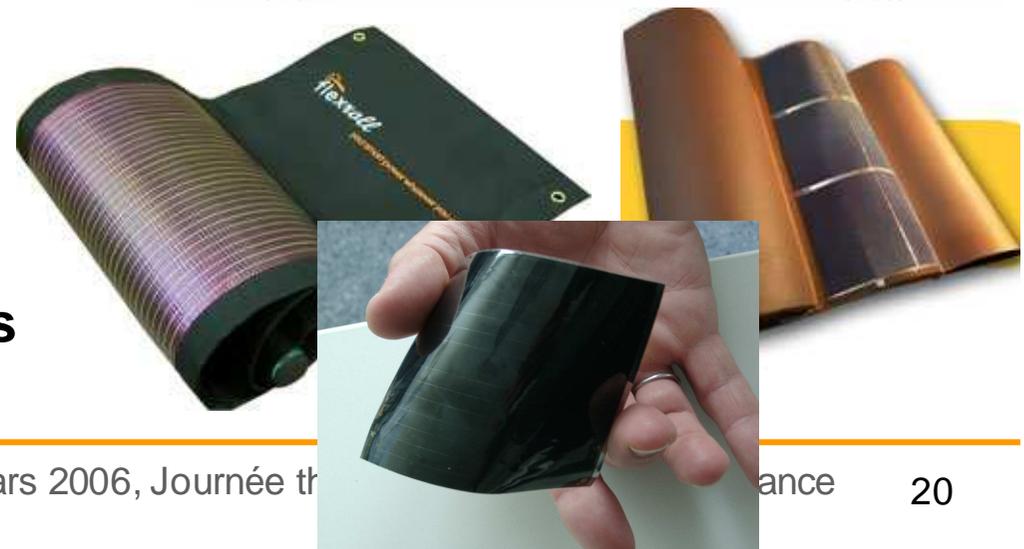
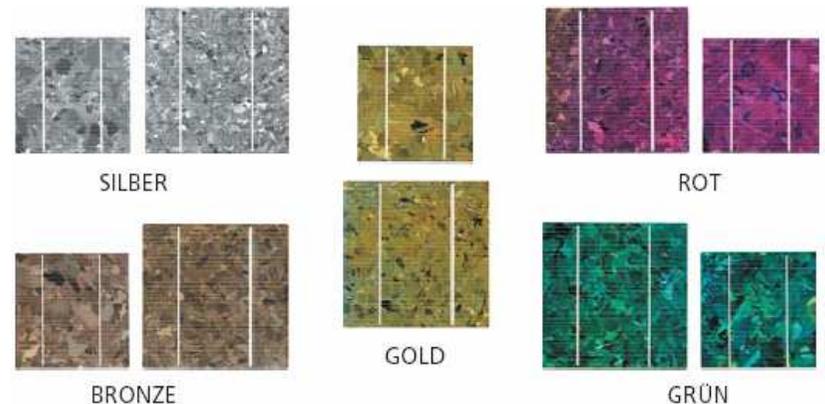
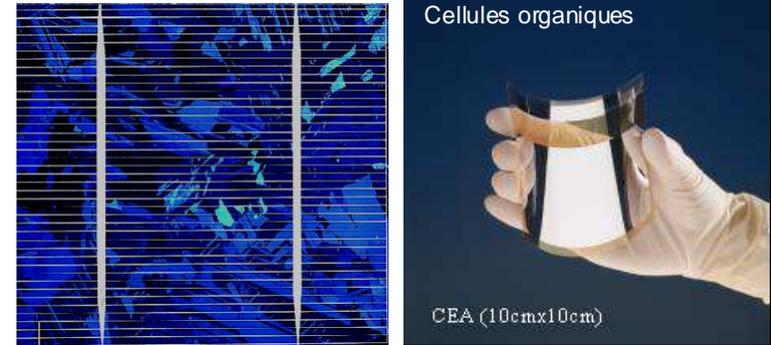
# Les conditions pour une intégration massive : des prix en baisse



Objectifs	2010	2020
Modules	2 €/W	1 €/W
Syst. Installés	3,5 €/W	2 €/W

# Les évolutions techniques en cours : cellules et modules

- **Au niveau des cellules :**
  - ◆ Amélioration du ratio €/W
    - ✓ Filière silicium cristallin : court et moyen terme
    - ✓ Filière couches minces : moyen et long terme
- **Au niveau des modules :**
  - ◆ Intégration visuelle
    - ✓ Traitement des verres
    - ✓ Colorisation appropriée des cellules ou des encapsulants
    - ✓ Variation des formes de modules
  - ◆ Durée de vie : objectif 35 ans



**Objectif : Répondre à la diversification des applications**

## Les évolutions techniques : au niveau système installé

- **Fiabilité des onduleurs**
- **Réduction des coûts d'installation + optimisation des coûts évités :**
  - ◆ Câblage
  - ◆ Intégration toiture
- **Multiplier les bénéfices, au-delà de la production électrique :**
  - ◆ Confort visuel,
  - ◆ Confort sonore,
  - ◆ Confort thermique



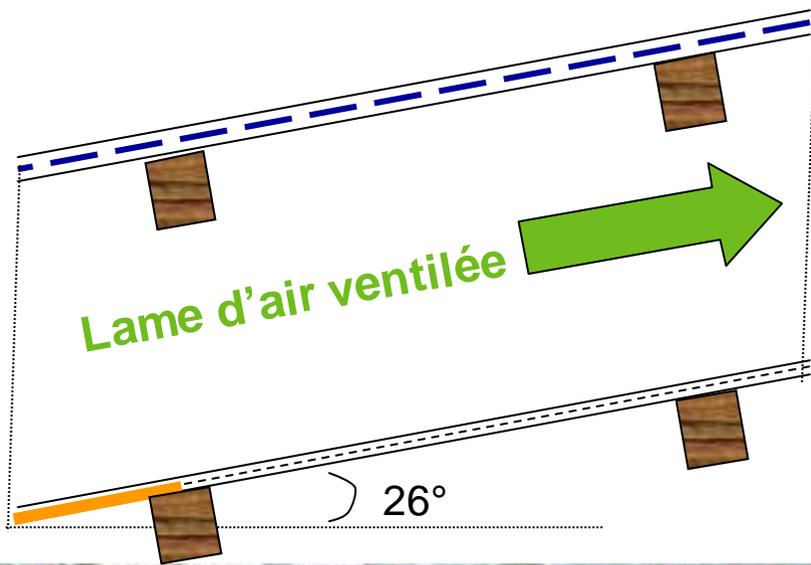
## Les produits multifonctionnels : exemple 1

- **Photovoltaïque + capteur thermique (fluide ou préchauffage d'air ambiant), opaque**



## Les produits multifonctionnels : exemple 2

- Photovoltaïque + préchauffage d'air ambiant, transparent ou semi-transparent



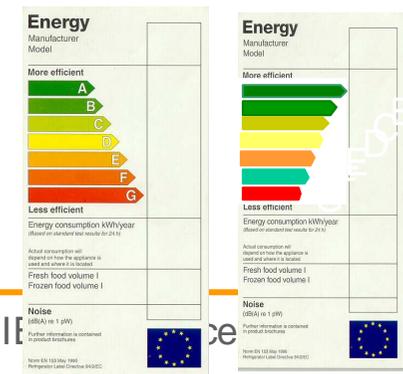
# La recherche pour une intégration plus poussée

- **Quelles performances énergétiques pour de telles façades, ou toitures ?**



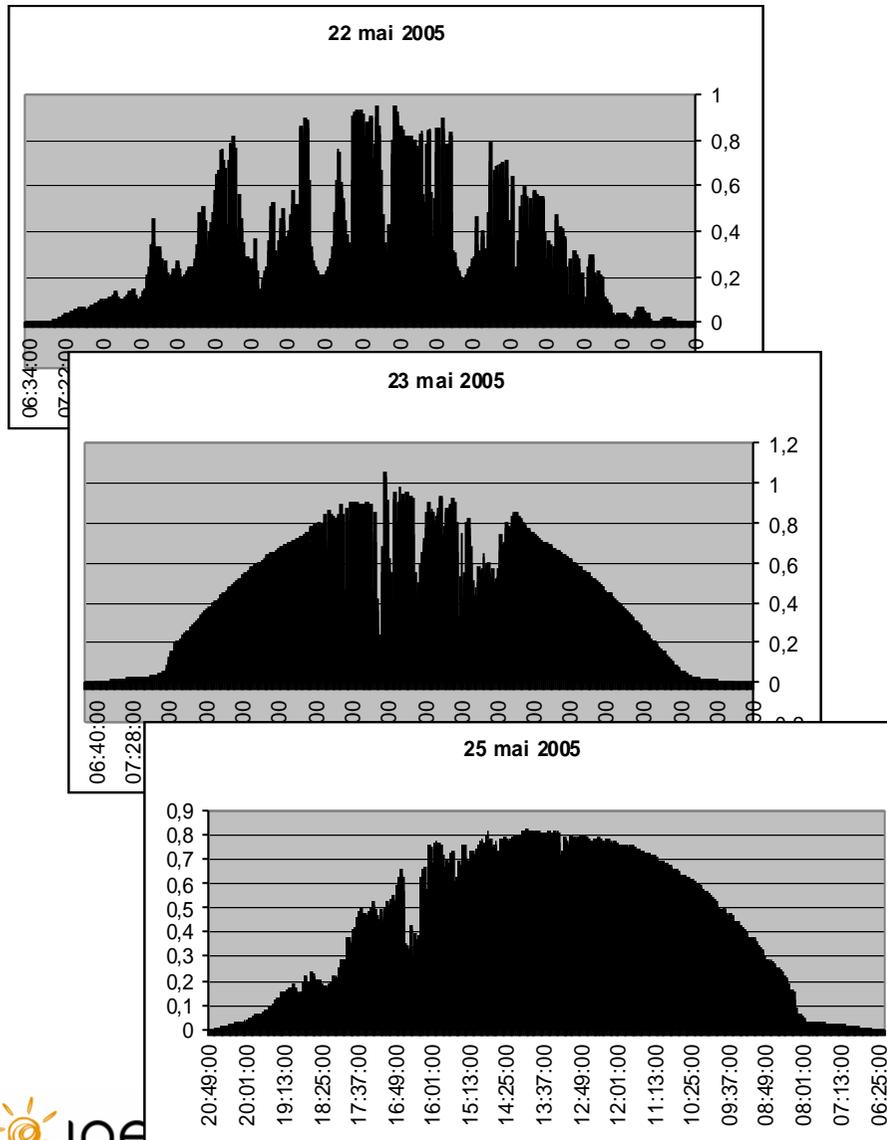
- **Caractérisation des performances selon plusieurs critères :**

- ◆ Production électrique
- ◆ Apport thermique utile
- ◆ Protection thermique utile
- ◆ Éclairage



# La recherche pour une intégration plus poussée

- **La gestion électrique des systèmes photovoltaïques :**



- ◆ **Au niveau individuel :**

- ✓ Les systèmes de stockage peuvent contribuer à une sécurisation et une gestion optimisée
- ✓ Le lissage des échanges vers le réseau, vers une approche gagnant/gagnant entre le distributeur et l'utilisateur ?
- ✓ L'adaptation du solaire à la demande ou de la demande au solaire ?

- ◆ **Au niveau global : L'intégration à grande échelle**

# La recherche pour une intégration plus poussée

- **L'intégration à grande échelle : quartier, ville**
- **Des associations innovantes :**
  - ◆ Photovoltaïque / Solaire Thermique
  - ◆ Photovoltaïque / Pompe à chaleur
  - ◆ Photovoltaïque / Pile à combustible



## Conclusions

---

- **Une filière en plein essor (en Allemagne, au Japon, et depuis peu en Espagne)**
- **Compte tenu du potentiel important, le développement interviendra tôt ou tard en France**
- **La poursuite de la baisse des prix régulière implique 2 actions :**
  - ◆ Un soutien temporaire au marché et aux industriels
  - ◆ Des actions de R&D pour préparer les innovations requises
- **Un marché important se développera au niveau de l'intégration dans les produits du bâtiment (diversité des applications et contraintes régionales) :**
  - ◆ Composants de façade
  - ◆ Composants de toiture
  - ◆ Produits multifonctionnels

---

Merci pour votre attention

***Au Japon,  
60 000 maisons photovoltaïques  
installées l'année dernière***



