



Recherches sur les énergies renouvelables à l'Université de Nîmes

- Situation actuelle
- Projets
- Perspectives

Pierre Saint-Grégoire

Professeur, Université du Sud Toulon-Var
En détachement à l'Université de Nîmes
pierre.saint-gregoire@unimes.fr

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011



Recherches sur les énergies renouvelables à l'Université de Nîmes

+ **Situation actuelle**

- Projets
- Perspectives





Cadre des recherches : laboratoire MIPA

Mathématiques, Informatique, Physique, et Applications

<http://mipa.unimes.fr>





[Accueil](#) [Membres](#) [Recherche](#) [Séminaire](#) [Preprints](#) [Infos](#)



Laboratoire MIPA - Mathématiques, Informatique, Physique et Applications

Université de Nîmes

Site des Carmes
Place Gabriel Péri
30021 Nîmes, France
([Plan d'accès](#))



Rencontre Energ@Nîmes I

Lundi 7 février 2011 ([programme](#))



Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011





Composition :

- Moins de 10 membres sur les trois disciplines (Math, Info, Phys.)

- Sur Nîmes, deux grandes thématiques :

- Calcul des variations, analyse non-linéaire**
- Matériaux hétérogènes, homogénéisation**

... et applications !



– **Matériaux hétérogènes, homogénéisation**

... et applications :

MATERIAUX POUR L'ENERGIE

- Matériaux pour le photovoltaïque
- Matériaux piézoélectriques
- Matériaux pour l'accumulation d'énergie





« Laboratoire sans mur » :

- Localement en dessous de la masse critique !

Mais :

- Professeurs invités

- Collaborations régionales, nationales et internationales

- Accueil de doctorants



Niveau régional :

- **Institut Européen des Membranes, Montpellier**
- **Groupe d'Etude des Semiconducteurs, Montpellier**
- **Institut Charles Gerhardt, Montpellier (*)**
- **Laboratoire de Mathématiques et Physique des systèmes, Perpignan**
- **PROMES (Procédés, Matériaux, et Energie Solaire), Perpignan**



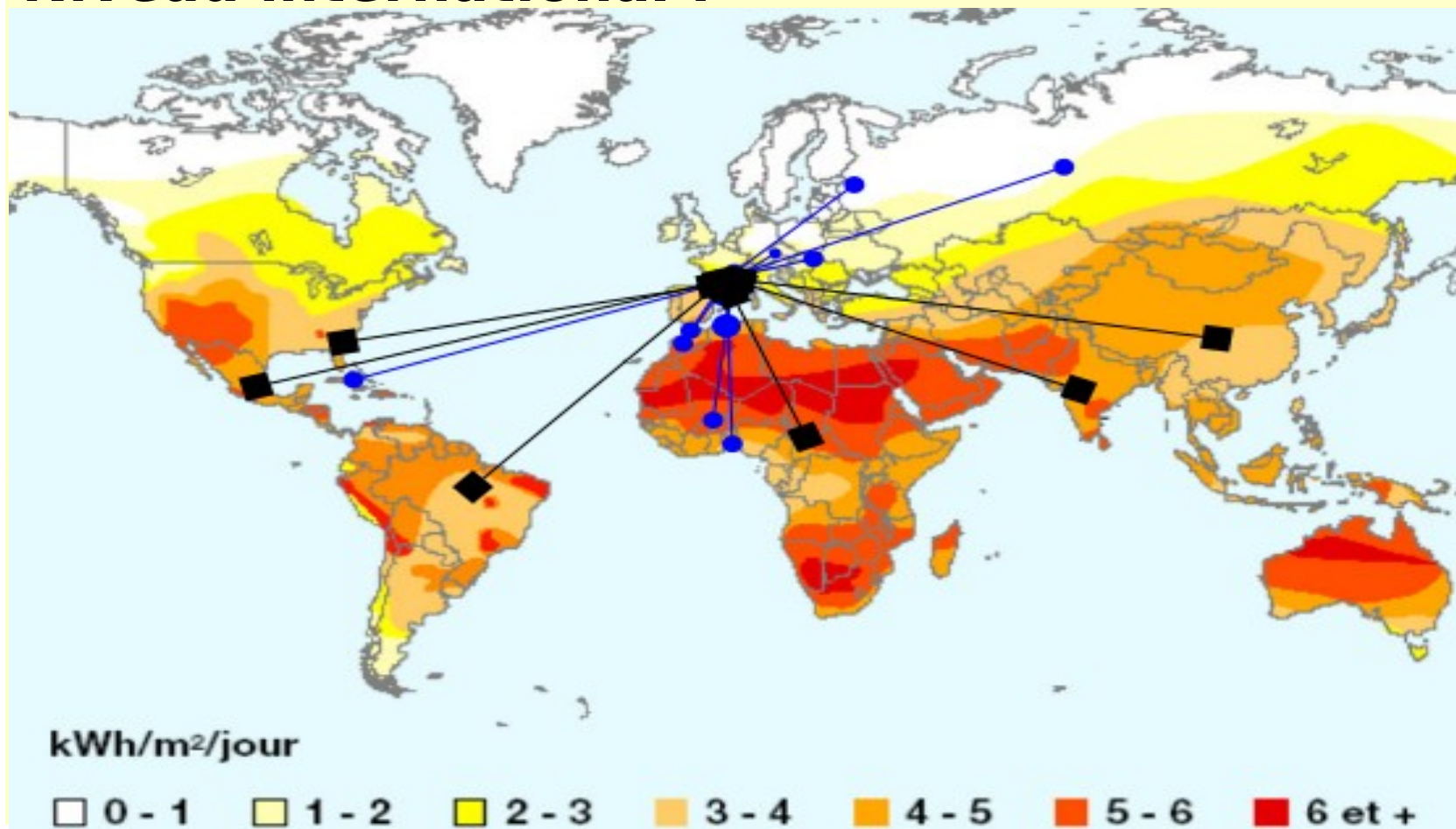
Niveau national hors région :

- Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université de Picardie Jules Verne, Amiens**
- Laboratoire Léon Brillouin, CEN-CEA Saclay**
- Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales, Toulouse**





Niveau international :





Niveau local sur le site de l'université de Nîmes :

- Accueil de professeurs invités (dispositif de la région) pour des collaborations sur des aspects théoriques**
- A développer :**
 - Accueil de doctorants**
 - Accueil de stagiaires de master**
 - Moyens expérimentaux sur Unîmes, actuellement totalement inexistant**



Thématiques :

MATERIAUX POUR L'ENERGIE

- Matériaux pour le photovoltaïque
- Matériaux piézoélectriques
- Matériaux pour l'accumulation d'énergie





Thématiques :

MATERIAUX POUR L'ENERGIE

- **Matériaux pour le photovoltaïque**
- Matériaux piézoélectriques
- Matériaux pour l'accumulation d'énergie





Photovoltaïque

Effet photoélectrique :

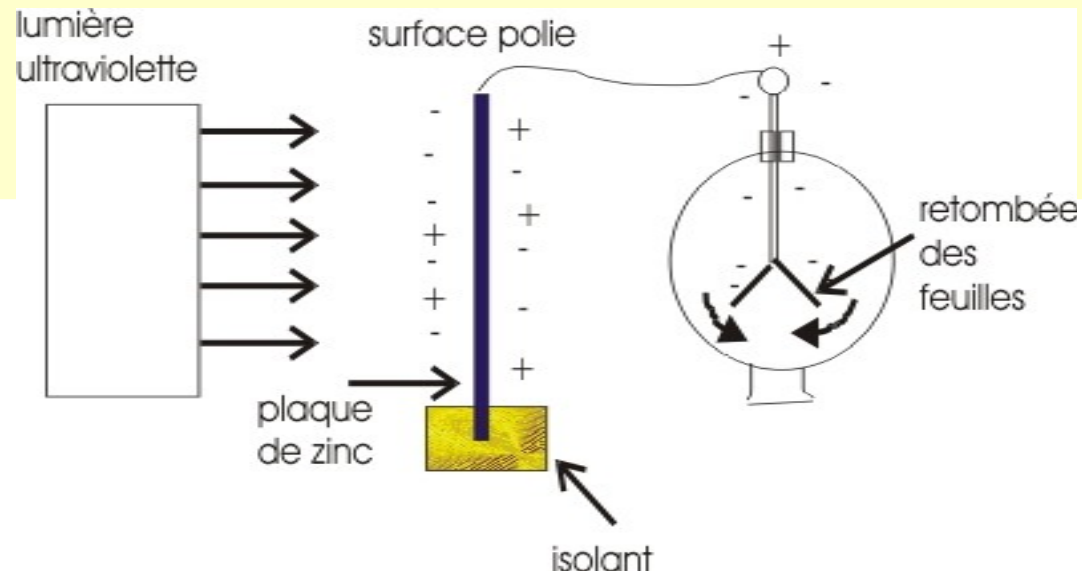
- découvert par Becquerel en 1839 (électrodes plongées dans électrolyte) > ddp sous illumination
 - Hertz lors de ses recherches sur les ondes électromagnétiques, met en évidence des pertes de charges sous exposition à des ondes électromagnétiques
 - contrairement à la mise en évidence de ces dernières (1888), exactement conformes à la théorie de Maxwell, l'effet photoélectrique posait problème...
- Cet effet ne peut être expliqué par les approches antérieures !





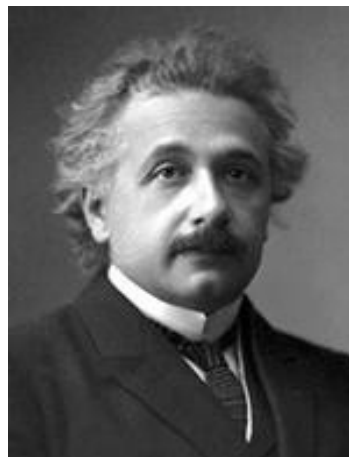
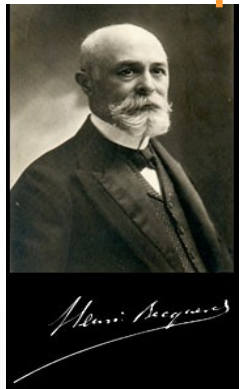
Effet photoélectrique : description des observations de Hertz et Hallwachs

- **Perte de charge sous illumination UV**





De la physique classique à la physique moderne



*« Sur un point de vue
heuristique concernant la
production et la
transformation de la
lumière »*

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011

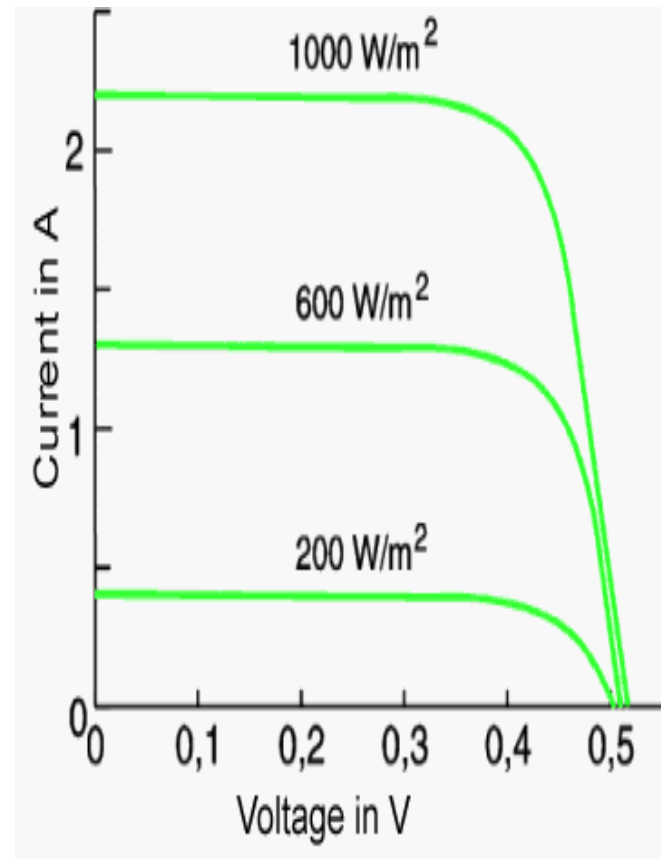
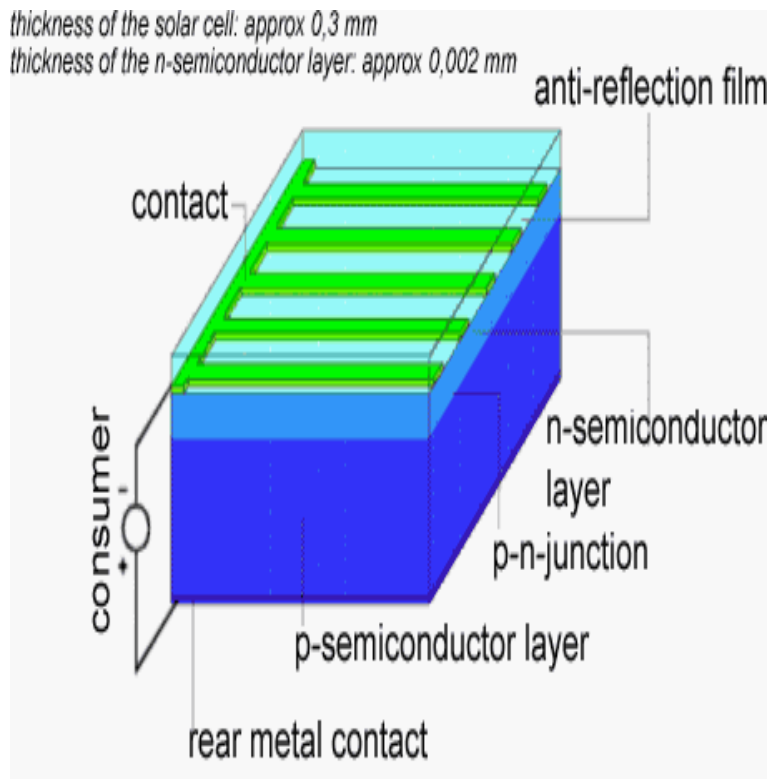


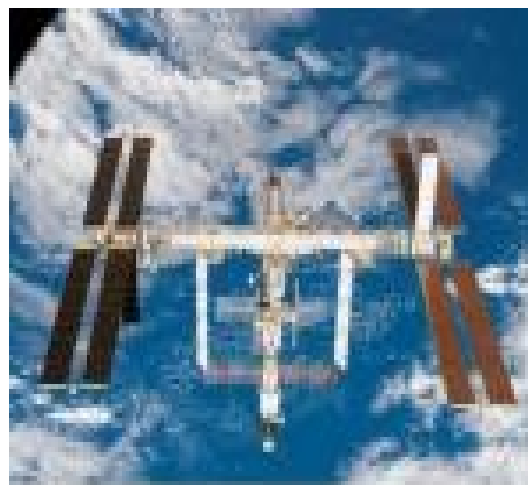
De l'effet photoélectrique au photovoltaïque

L'histoire de la physique des semiconducteurs : quelques dates et découvertes clés

- 1833 : Faraday observe que le pouvoir conducteur de certains matériaux augmente avec la température, contrairement à ce qui se passe habituellement pour les métaux.
- 1931 : K. G. Wilson jeta les bases de la théorie moderne des semiconducteurs comme des isolants à faible bande interdite et introduisit la notion de trou.
- 1948 : découverte de l'effet transistor par John Bardeen, William H. Brattain et William Shockley
- 1954 : les premiers transistors au silicium furent fabriqués et les premiers ordinateurs complètement transistorisés virent le jour.
- A partir des années 1960, les satellites artificiels sont équipés de modules photovoltaïques pour leur alimentation électrique. Technologie majoritairement basée sur le silicium.

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011





Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011





Cellules solaires de première génération

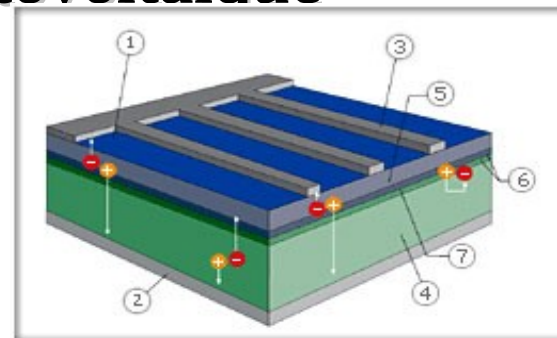
**Matière première dominante :
le silicium**

forte dépendance de la matière première !

**Structure d'une cellule solaire
photovoltaïque**



Lingot de Si





Evolution des dispositifs PV : les 3 générations

Cellules PV de première génération : issues des « wafers » de silicium

Coûts du matériau (Si) ~ 70 % du coût final

Rendement : < 20 % - limite théorique (Shockley & Queisser : 33 %)

Cellules PV de deuxième génération : les films minces

CdTe, CIS (CuInSe₂,...)

Rendement ~ 10 % mais coût inférieur

Problème environnemental (Cd, Te, Se) ?

Cellules PV de troisième génération

- **Cellules de fort rendement (~> 50 %)**
Limite thermodynamique : ~ 93 %
Processus technologiques plus complexes
- **Cellules de technologie simple : DSSC, organiques,...**
Coûts moindres mais faible rendement (< ~ 10 %)

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011



Evolution des dispositifs PV : les 3 générations

➔ Cellules PV de première génération : issues des « wafers » de silicium

Coûts du matériau (Si) ~ 70 % du coût final

Rendement : < 15 % - limit théorique (Shockley & Queisser : 33 %)

Cellules PV de deuxième génération : les films minces

CdTe, CIS (CuInSe₂,...)

Rendement ~ 10 % mais coût inférieur

Problème environnemental (Cd, Te, Se) ?

Cellules PV de troisième génération

- **Cellules de fort rendement (~> 50 %)**

Limite thermodynamique : ~ 93 %

Processus technologiques plus complexes

➔ **Cellules de technologie simple : DSSC, organiques,...**

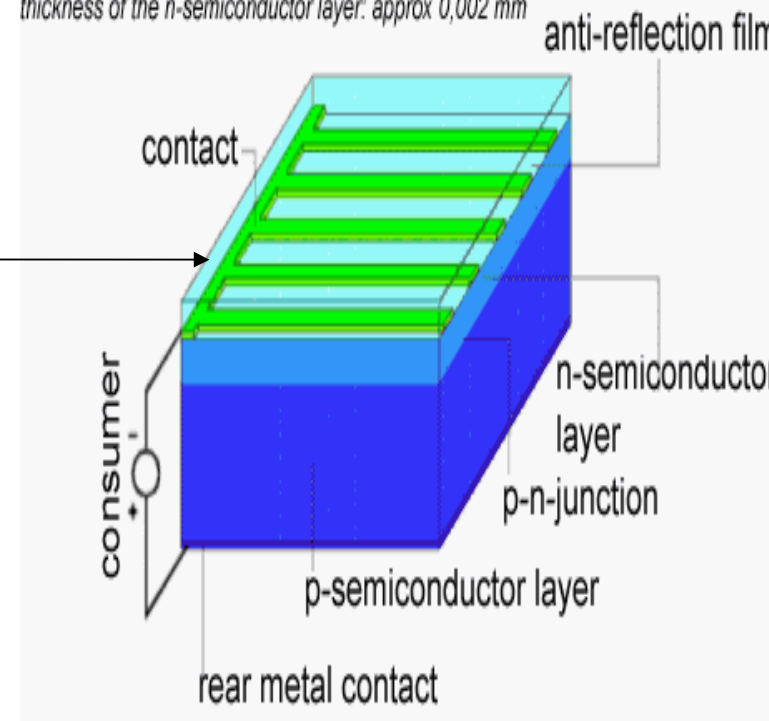
Coûts moindres mais faible rendement (< ~ 10 %)



Cellules PV de première génération :

thickness of the solar cell: approx 0,3 mm

thickness of the n-semiconductor layer: approx 0,002 mm





Cellules PV de troisième génération : les cellules à colorants ou cellules de Graetzel

Processus simples de fabrication, mais dispositif complexe :

1. lame de verre comme support, ou autre matériau
2. Couche d'oxyde transparent conducteur
3. Couche de dioxyde de titane, TiO_2 (mésoporeuse)
4. Colorant
5. Electrolyte
6. Contre – électrode
7. lame de verre ou autre matériau





Cellules PV de troisième génération : les cellules à colorants ou cellules de Graetzel

Toutes ces parties nécessitent un travail de recherche :

- 1. lame de verre comme support, ou autre matériau**
- 2. Couche d'oxyde transparent conducteur**
- 3. Couche de dioxyde de titane, TiO₂ (mésoporeuse)**
- 4. Colorant**
- 5. Electrolyte**
- 6. Contre électrode**
- 7. lame de verre ou autre matériau**





Cellules PV de troisième génération : les cellules à colorants ou cellules de Graetzel

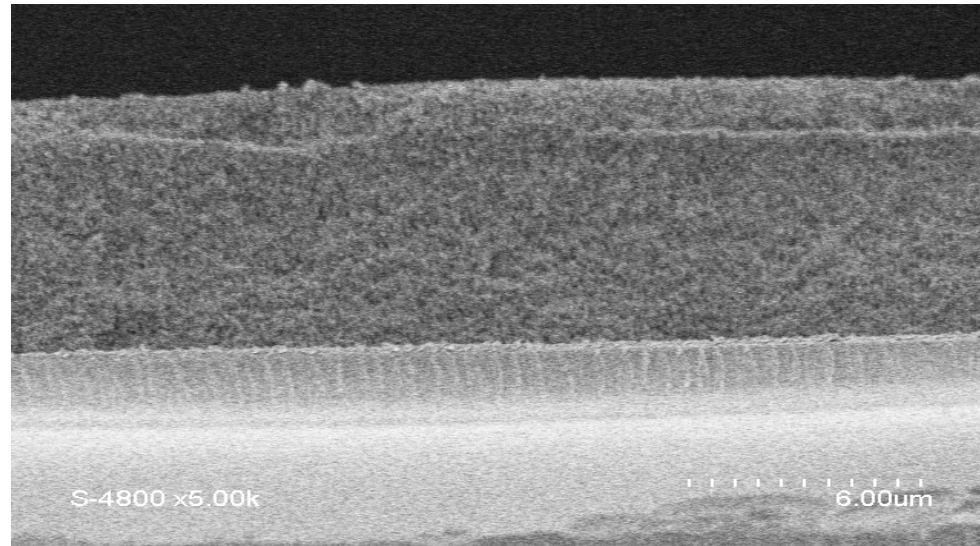
Toutes ces parties nécessitent un travail de recherche :

1. lame de verre comme support, ou autre matériau
2. Couche d'oxyde transparent conducteur
3. Couche de dioxyde de titane, TiO_2 (mésoporeuse)
4. Colorant
5. Electrolyte
6. Contre – électrode
7. lame de verre ou autre matériau





Optimisation de la (multi)couche de TiO₂



Du bas vers le haut : lame de verre, dépôt de FTO, couche fine dense de TiO₂, couche mésoporeuse de TiO₂

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011



Thématiques :

MATERIAUX POUR L'ENERGIE

- Matériaux pour le photovoltaïque
- **Matériaux piézoélectriques**
- Matériaux pour l'accumulation d'énergie





Effet piézoélectrique / piézoélectrique inverse :

- Déformation (mécanique) \leftrightarrow Tension électrique
- Multiples applications, en énergie : récupération d'énergie mécanique (vibrations de structures – moteurs) sous forme d'énergie électrique.
- Matériaux étudiés : « structures perovskites et bronzes de tungstène »
- Rejoint la thématique de mathématiques sur le calcul variationnel



Thématiques :

MATERIAUX POUR L'ENERGIE

- Matériaux pour le photovoltaïque
- Matériaux piézoélectriques
- **Matériaux pour l'accumulation d'énergie**





Matériaux pour l'accumulation d'énergie :

- Siège d'une transition de phase du premier ordre
- Importante chaleur latente
- Structure : feuillets perovskite séparés par des molécules organiques
- Défi : par changement de la composition, obtenir une température de transition proche de la température ambiante (pour applications en écoconstruction - régulation thermique des bâtiments)





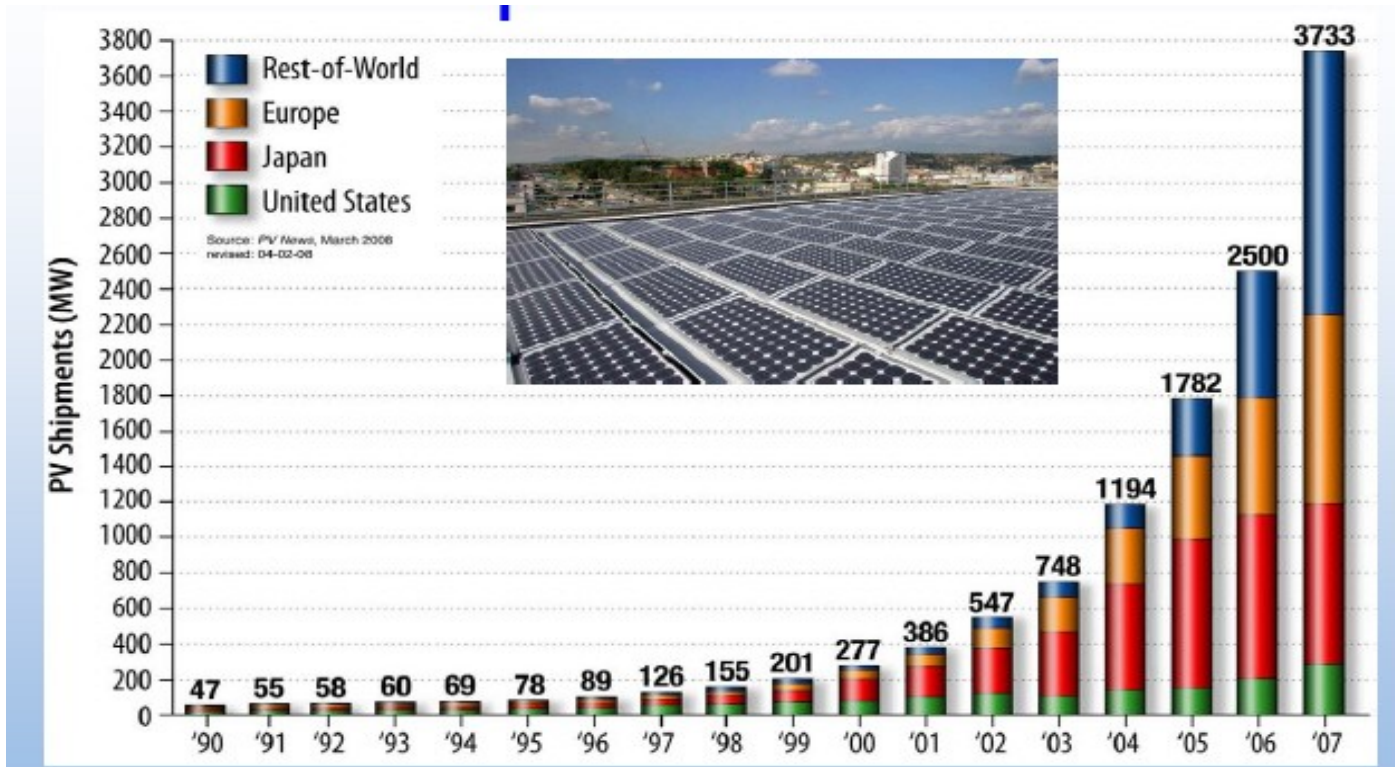
Recherches sur les énergies renouvelables à l'Université de Nîmes

- Situation actuelle
- Projets
- ➔ **Perspectives**

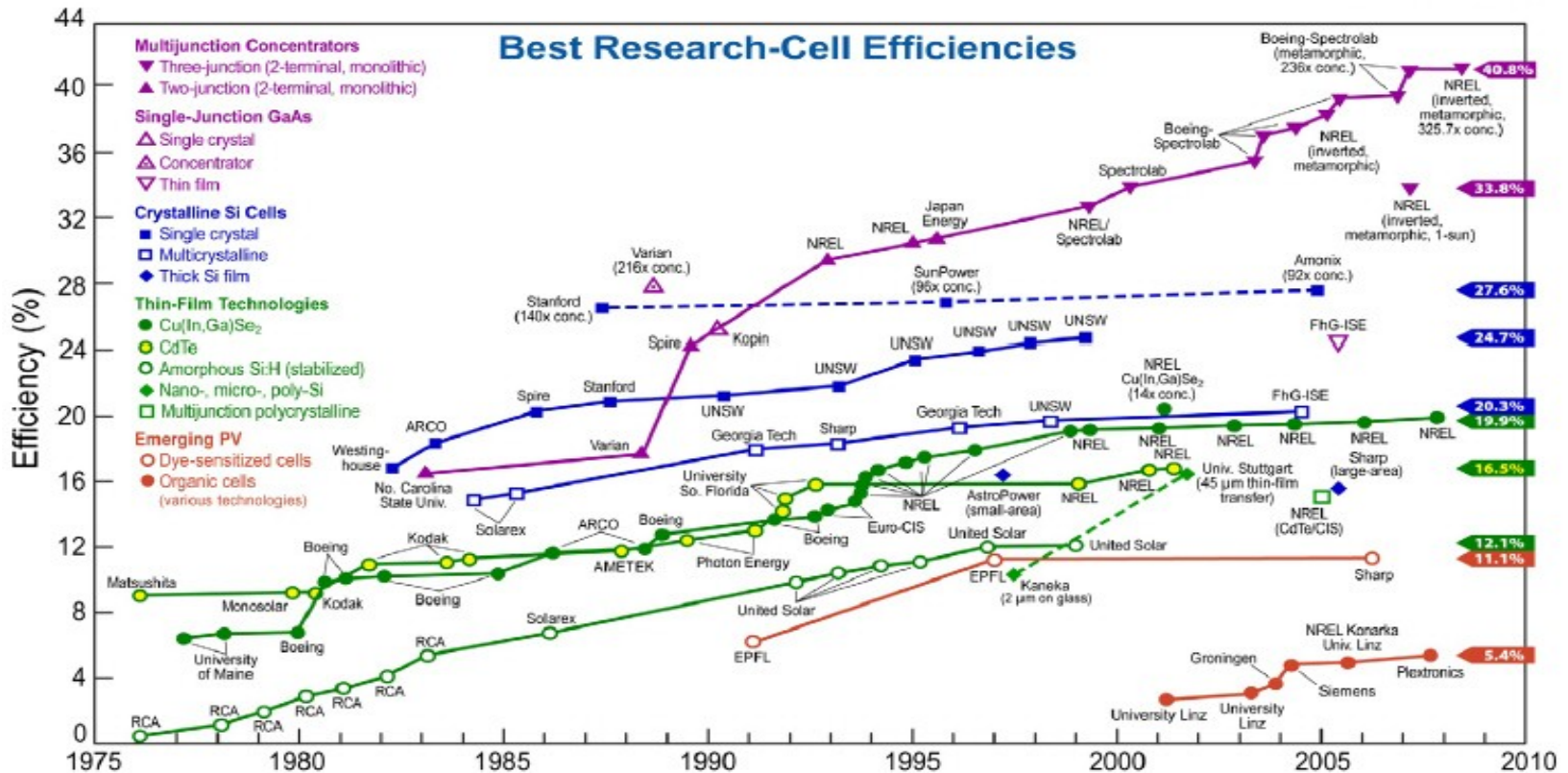




Photovoltaïque



Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011



High efficiencies make possible solar concentration on the cells
(less losses as heat)

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011



Recherches sur les énergies renouvelables au sein de l'Université de Nîmes : Projets dans le cadre du laboratoire MIPA

- développer les capacités de production d'échantillons – matériel minimal : four, chimie
- implanter les méthodes élémentaires de caractérisation pour piloter les synthèses
- études de propriétés physiques importantes dans les mécanismes fondamentaux

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011



Perspectives hors du cadre de MIPA :

- Nécessité de recherche hors des thématiques de MIPA, en relation avec les questions d'environnement, d'aménagement du territoire, de psychologie de l'environnement, d'économie
- Intérêts d'études pluridisciplinaires en relation avec la thématique des énergies renouvelables (prospectives à 5, 10, 15, 20 ans, et au delà)
- Synergie entre tous les acteurs locaux





Obstacles actuels :

- Pas d'école doctorale sur le site de Nîmes, pas de master
- Faiblesse des ressources humaines
- Peu de possibilité de financement de thèses

Perspectives :

- Politique de site → école doctorale, synergies IUT/EMA/UNîmes/entreprises
- Rôle moteur de Nîmes métropole → dynamique d'ensemble





Merci pour votre attention !



Vitrage photovoltaïque utilisant des cellules à colorants

Rencontre Energ@Nîmes, 7 février 2011

