



LCCNS\_UFAS



# MATÉRIAUX POUR APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

**Prof. ZEGADI Ameer**

Laboratoire: Croissance et Caractérisation de Nouveaux  
Semiconducteurs.

Département d'Electronique, Université F. A.- Sétif, Sétif.



# MATÉRIAUX POUR APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

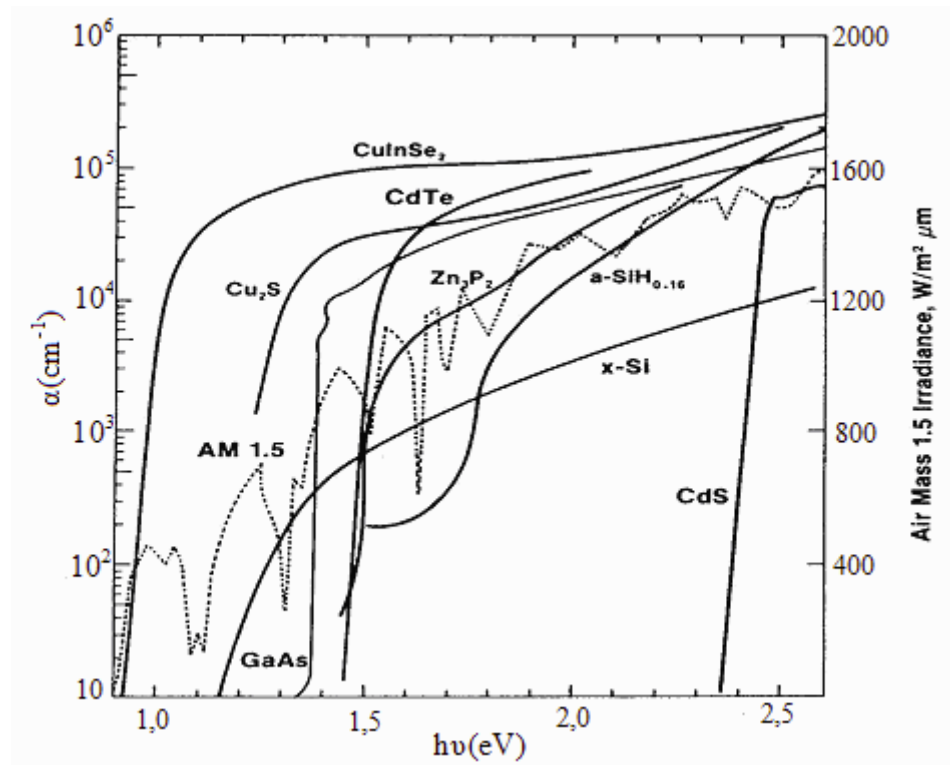
- ⊙ Les cellules solaires sont faites de divers matériaux et avec différentes structures afin de réduire les coûts et atteindre une efficacité maximale.
- ⊙ Il existe différents types de matériaux utilisés dans la fabrication des cellules solaires, monocristallins, au silicium polycristallin et amorphe, matériaux composés en couches minces et d'autres couches d'absorbeur de semi-conducteurs, qui donnent des cellules hautement efficaces pour des applications spécialisées.

## MATÉRIAUX POUR APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

- Les cellules à base du silicium cristallin sont les plus populaires, mais elles sont chères. Les cellules solaires à base du silicium amorphe en couches minces sont moins coûteuses. La couche au silicium amorphe est utilisée à la fois avec l'hydrogène et de fluor incorporé dans la structure ; les alliages a-Si: F: H.

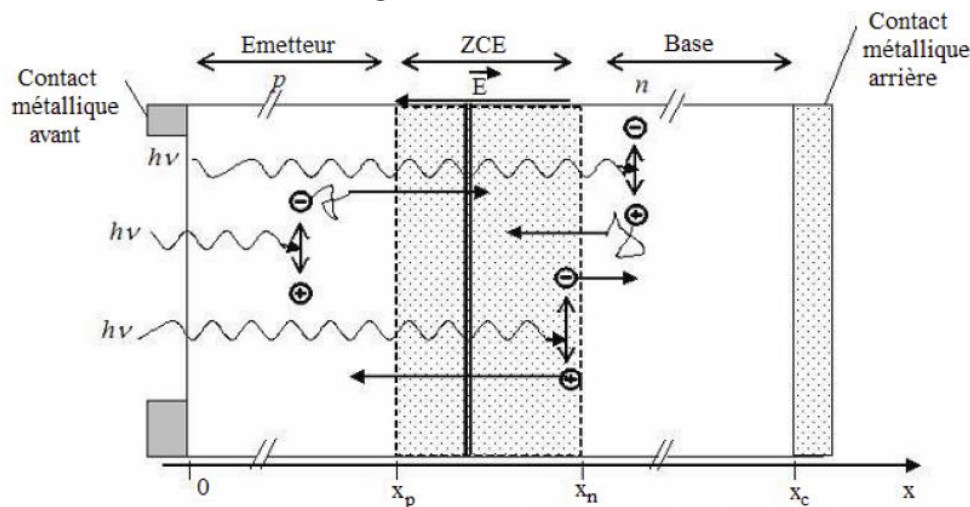


# Coefficient d'absorption



# FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

- La figure montre le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque avec les principales régions (Emetteur, Zone de Charge d'Espace et Base) dans lesquelles les photons incidents peuvent créer des porteurs libres. Le comportement de ces porteurs libres diffère suivant la région de leur création. Dans les zones électriquement neutres (p) et (n), les porteurs minoritaires générés par les photons diffusent, ceux qui atteignent la zone de charge d'espace (ZCE) sont propulsés par le champ électrique  $E_r$  vers la région où ils deviennent majoritaires. Ces porteurs de charges contribuent donc au courant de la cellule photovoltaïque par leurs diffusions, cette composante est appelée courant de diffusion. Dans la zone de charge d'espace, les paires électrons-trous créées par les photons sont dissociées par le champ électrique, l'électron est propulsé vers la région de type n et le trou vers la région de type p, donnant naissance à un courant de génération.

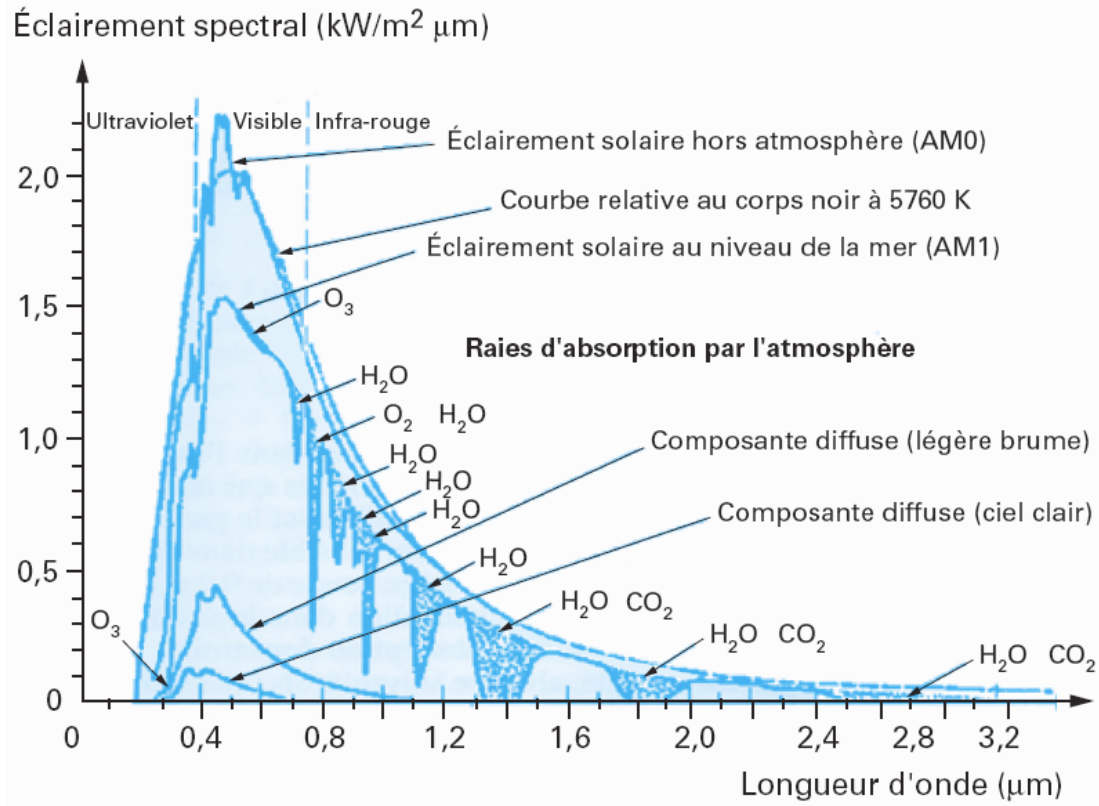


Il convient donc de noter que:

- ⊙ la conversion de l'énergie solaire en électricité est possible si et seulement si trois phénomènes physiques de base ont lieu quasi simultanément :
- ⊙ - l'absorption d'un maximum de photons possible,
- ⊙ - la transformation de l'énergie ainsi absorbée en charges électriques libres,
- ⊙ - la collecte sans perte de ces derniers vers un circuit électrique extérieur.



# SPECTRE SOLAIRE HORS ATMOSPHÈRE ET AU NIVEAU DE LA MER.



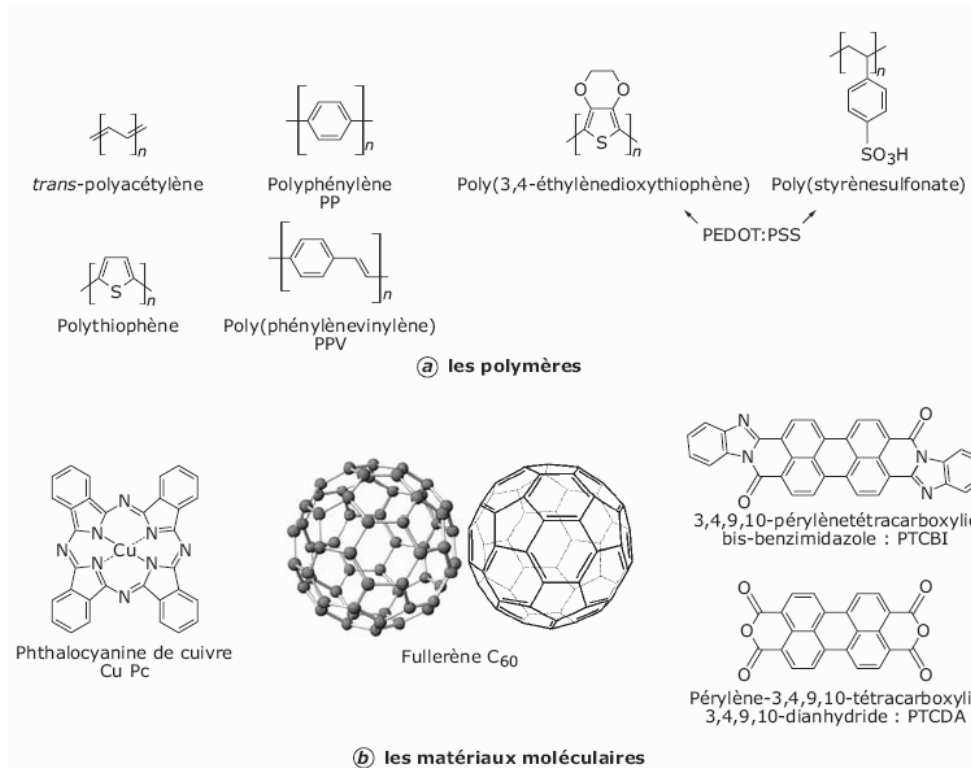
## Matériaux Photovoltaïques en Couches Minces

- ◉ Qu'elles soient amorphes ou polycristallines, les couches minces de matériaux semiconducteurs destinées à la conversion photovoltaïque présentent des avantages certains dans la course à la production solaire à grande échelle. Ceci se traduit par la capacité de produire de grandes surfaces, une consommation très réduite de la matière et une faible consommation énergétique durant le cycle de production. Cependant, il existe un spectre très étendu de matériaux semiconducteurs (inorganiques et organiques) présentant les critères requis pour la conversion photovoltaïque.



# MATÉRIAUX ORGANIQUES

- L'effet photovoltaïque a été observé dans les matériaux organiques depuis plus de 30 ans. Les matériaux organiques sont généralement classés en deux catégories selon la valeur de leur masse moléculaire.
- Aujourd'hui, le record est détenu par les chercheurs de Siemens en Allemagne avec un rendement qui dépasse les 5%.

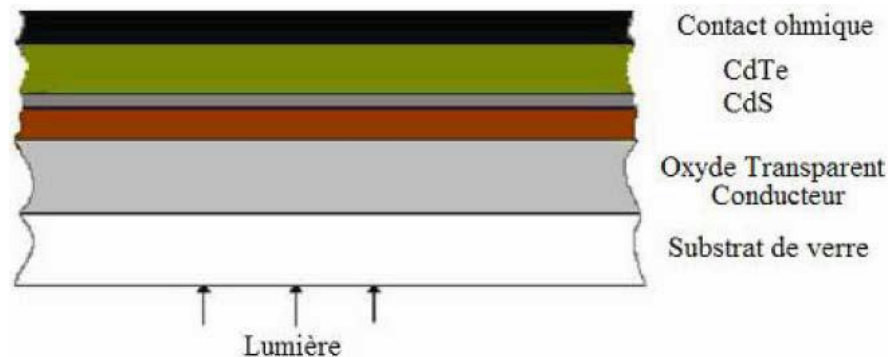


## EXTRA MINCE ABSORBEUR (EXTREMELY THIN ABSORBER)

- Il s'agit d'une récente filière qui utilise une nouvelle structure de cellules photovoltaïques à absorbeur ultra-mince (40-100 nm). Cette structure est constituée de deux semiconducteurs à grand gap ( $E_g > 3 \text{ eV}$ ) de type  $n$  et  $p$ , entre lesquels est inséré un semiconducteur de grande surface développée absorbant la lumière visible ( $1.1 \text{ eV} < E_g < 1.8 \text{ eV}$ ). L'intérêt d'une telle structure est multiple. En effet, le champ électrique entre les semiconducteurs transparents est très élevée et la grande surface développée permet au semiconducteur de très faible épaisseur d'absorber la lumière de manière extrêmement efficace. Basée sur le principe d'une jonction  $p-i-n$ , les problèmes de recombinaisons aux interfaces sont considérablement réduits.

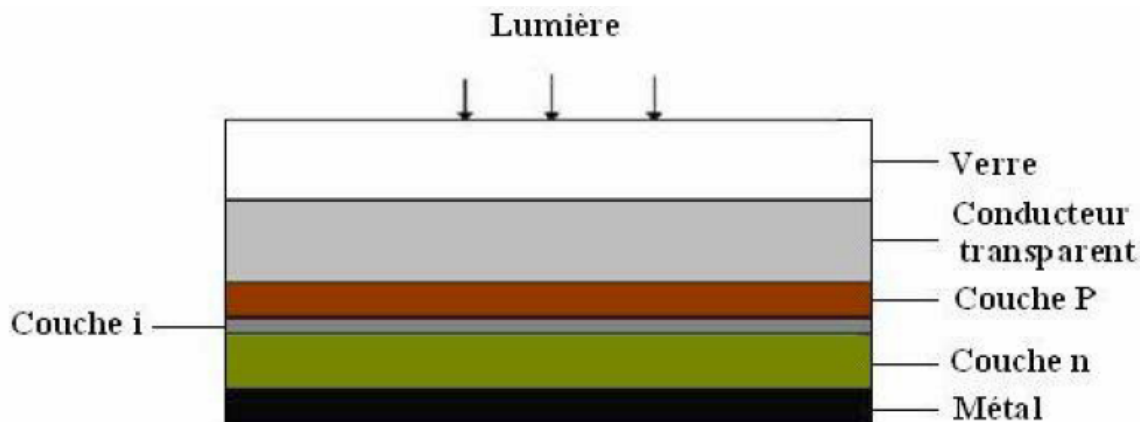
# CdTe

- ◉ Du fait de ses propriétés optiques optimales, le CdTe présente une bande interdite directe de l'ordre de 1,45 eV et une grande absorption dans tout le spectre solaire ( $> 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ). Cette filière a été l'une des premières étudiées (1960). En couches minces, les premières hétérojonctions CdTe/CdS/SnO<sup>2</sup>/Verre sont apparues en 1964 et le premier module CdS/CdTe date de 1972.
- ◉ Malgré des rendements excédant les 16,5 % obtenus sur des substrats de silicate de bore très coûteux, des problèmes non négligeables se posent : difficulté de réaliser des contacts électriques ohmiques stables, effet négatif de la diffusion du sodium sur la durée de vie des porteurs minoritaires, sensibilité de la cellule à la vapeur d'eau et enfin la présence du cadmium qui est toxique et polluant pour l'environnement.



# SILICIUM

- Depuis 1975, des recherches intensives ont été entreprises pour utiliser du silicium non cristallisé, à l'état amorphe, dont les liaisons pendantes sont saturées par hydrogénation. Le silicium amorphe a-Si possède une bande interdite de l'ordre de 1,8 eV, diminuée de quelques dixièmes d'eV par l'hydrogénation. Ce matériau présente trois avantages majeurs : un fort coefficient d'absorption (100 fois supérieur à celui du monocristal) qui autorise de très faibles épaisseurs de l'ordre du micromètre, une faible consommation énergétique durant le cycle de production avec un temps de retour énergétique inférieur à un an et une aptitude à être déposé en grandes surfaces de l'ordre du mètre carré d'un seul tenant.

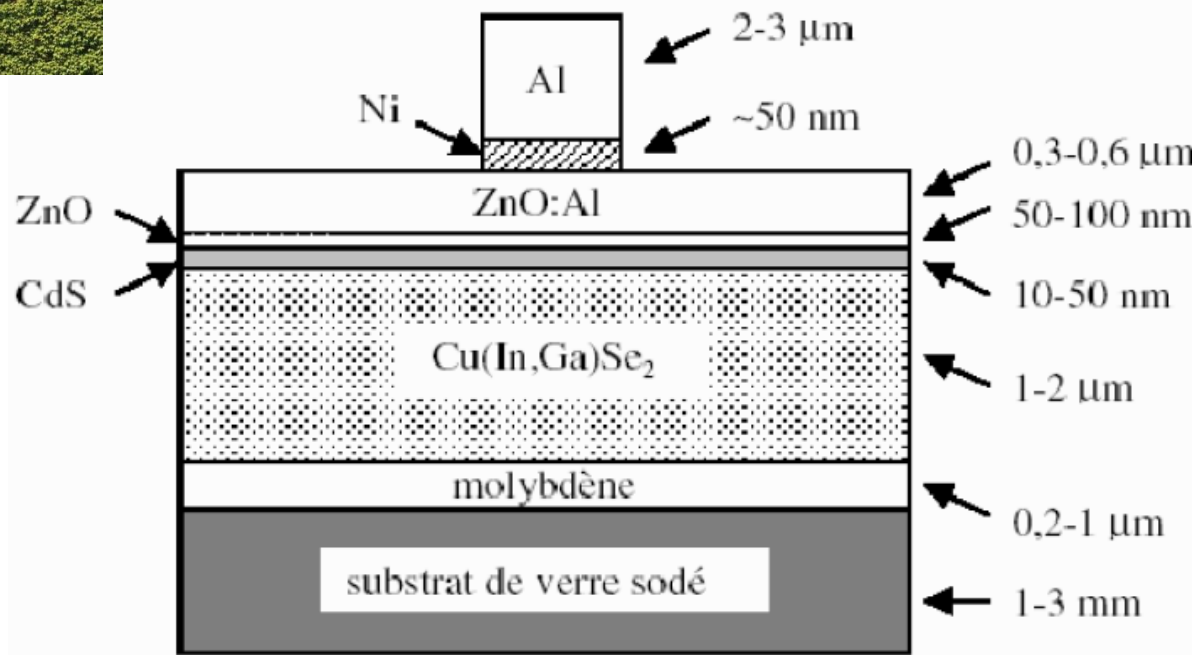


# CuInSe<sub>2</sub> - Alliages

- ◉ Les matériaux absorbeurs chalcopyrites  $\text{Cu-III-VI}_2$  en couche mince polycristalline émergents et destinés à la réalisation de cellules photovoltaïques sont principalement les composés  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$ . Ils possèdent un fort coefficient d'absorption optique de l'ordre de  $10^5 \text{ cm}^{-1}$ . Une épaisseur de quelques microns suffit pour absorber la partie utile du spectre solaire contre  $100 \mu\text{m}$  pour le silicium. Ces composés requièrent une stabilité remarquable, même sous l'effet des rayonnements cosmiques. Les deux principales méthodes pour sa préparation en couche mince de modules à hauts rendements sont la co-évaporation et le dépôt séquentiel des différents constituants suivi d'un recuit.
- ◉ Faisant le choix de matériaux stables à fort coefficient d'absorption, depuis quelques années la filière CIS se détachent nettement des autres par ses performances et souvent sa simplicité de mise en oeuvre. Les performances de ces matériaux en couches minces polycristallines sont étroitement liées à la croissance cristalline (taille, orientation des cristallites, etc.). Le type de conductivité est généralement gouverné par la composition chimique, notamment l'écart à la stoechiométrie. Par conséquent, un dopage des couches n'est pas souvent nécessaire.



$\text{CuInGaSe}_2$



# GaAs

- ◉ Des cellules à haut rendement ont été développées pour des applications spéciales (satellites et l'exploration spatiale). Ces cellules multi-jonctions constituées de multiples couches minces produites en utilisant l'épitaxie par jets moléculaires (MBE). Une cellule triple jonction, par exemple, peut consister en des semiconducteurs GaAs, Ge et GaInP<sub>2</sub>.
- ◉ Chaque type de semi-conducteurs a  $E_g$  qui le fait absorber la lumière plus efficacement à une certaine couleur ou, plus précisément, pour absorber le rayonnement électromagnétique sur une portion du spectre.
- ◉ Les semiconducteurs sont soigneusement choisis pour absorber à peu près toute le spectre solaire, ce qui génère de l'électricité à partir autant de l'énergie solaire possible. Des dispositifs multi-jonctions à base de GaAs sont les cellules solaires les plus efficaces à ce jour, niveau record de 40,7%. Ces dispositifs utilisent 20 à 30 différents semi-conducteurs en en couches superposées en série.



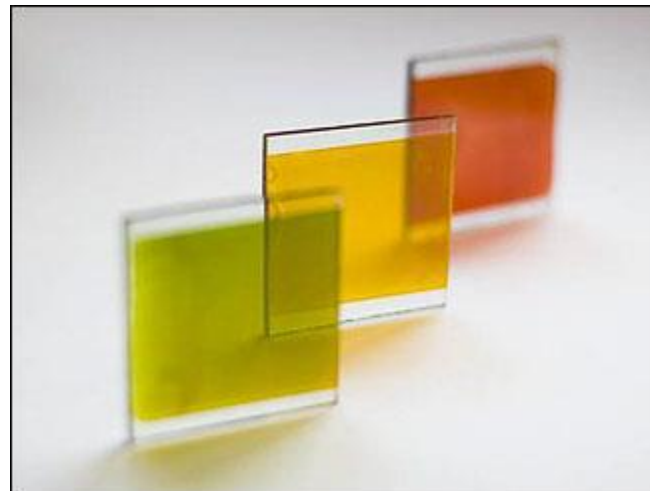
# Light-absorbing Dyes

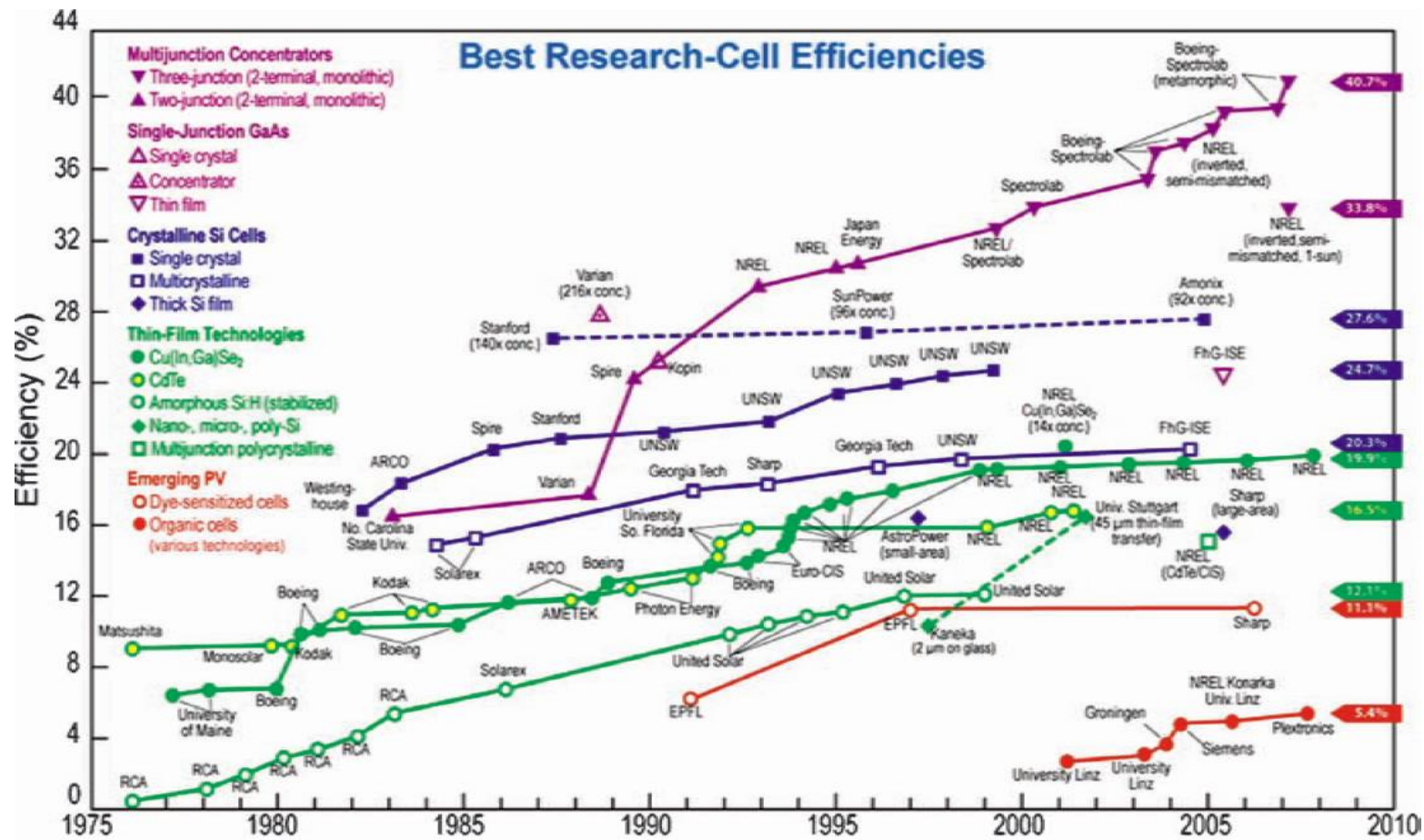
- Typiquement un dye organique au métal de ruthénium est utilisé comme monocouche de matériau absorbeur. La cellule solaire à base de dye-sensitive (DSSC) dépend sur la couche mesoporous de nanoparticule du dioxyde de titane. Les électrons photogénérés à partir du dye après absorption de la lumière passent au n-type  $\text{TiO}_2$ , et les trous passent à l'électrolyte de l'autre côté du dye.
- Ce type de cellules permet une flexibilité dans le choix du matériau et il fabriqué en utilisant screen printing avec un potentiel dans la réduction du coût. Cependant, les dyes dans ce genre de cellules souffrent de dégradation lorsqu'ils sont exposés à la lumière UV. L'encapsulation est difficile pour les solutions utilisées. Néanmoins, cette émergente populaire technologie donne beaucoup d'espoirs pour l'avenir très proche.

# Nouvelle technique

OXFORD, England, Jan. 18, 2011 — An Oxford University spinoff a développé une nouvelle technologie de cellules solaires qui fabriquée à partir matériaux de faible coût, très abondant non-toxique et non-corrosif qui peut être déposée sur une large échelle.

The materials used are plentiful, environmentally benign and very low cost.





Rev 11-07-01

Courtesy: L.L. Kazmerski, NREL, [http://en.wikipedia.org/wiki/File:PVeff\(rev110707\)d.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:PVeff(rev110707)d.png).

A solar-powered car at the north American solar challenge, one of many competitions held to increase interest in solar power.

# Merci pour votre attention

