

# Cellules Solaires Organiques : Enjeux et Perspectives

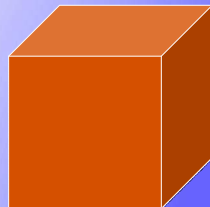
Jean Roncali

Groupe Systèmes Conjugués Linéaires.  
CIMA, CNRS UMR 6200, Université d'Angers

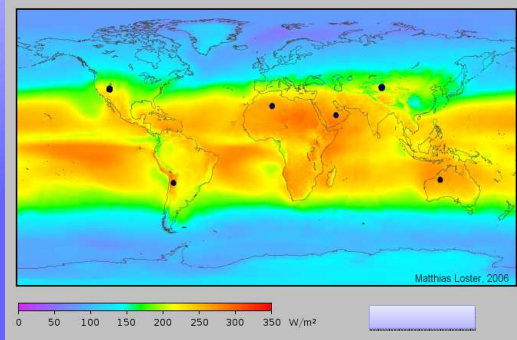
## Energie solaire : ressources



$1.5 \cdot 10^8$  TWh  
consommation mondiale  
d'énergie (an 2000)



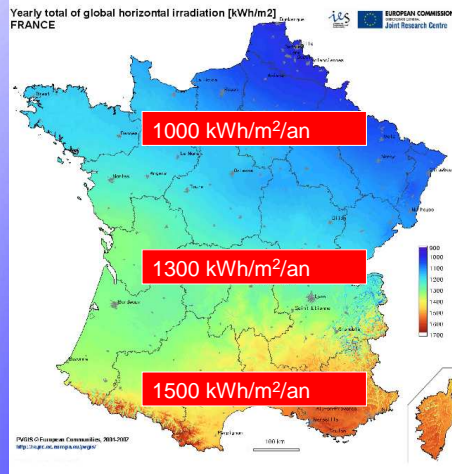
$1.5 \cdot 10^{12}$  TWh  
énergie solaire reçue  
par la Terre (par an)



- Disponibilité
- Quantité
- Répartition

Problèmes : Conversion en électricité, stockage

## Le gisement solaire français



- \* La France reçoit annuellement **200 fois** sa consommation en énergie.
- \* La surface des bâtiments reçoit l'équivalent de **4 fois** les besoins énergétiques.

## L'électricité photovoltaïque

Marché dominé par la technologie du silicium



Rendements : GaAs, 25%  
Si monocristallin 15%, Polycristallin 12%, Amorphe 7%

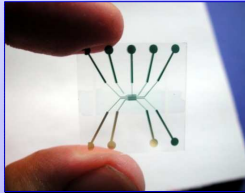
- \* Coût, disponibilité, impact environnemental
- \* Il faut 2 à 3 ans pour qu'une cellule en silicium monocristallin restitue l'énergie consommée pour sa fabrication

Solutions  
alternatives

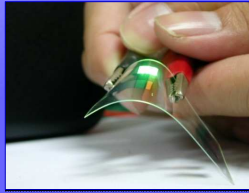
- \* Cellules couches minces (CIGS, CIS, CdTe)
- \* Cellules solaires organiques

## (Opto)électronique Organique Flexible

Transistor



Diode électroluminescente



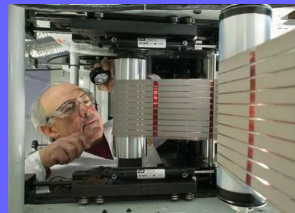
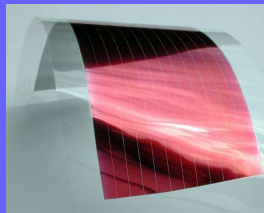
Cellule Solaire



- \* Faible coût
- \* Légèreté
- \* Supports flexibles
- \* Grande surfaces

## Cellules Solaires Organiques

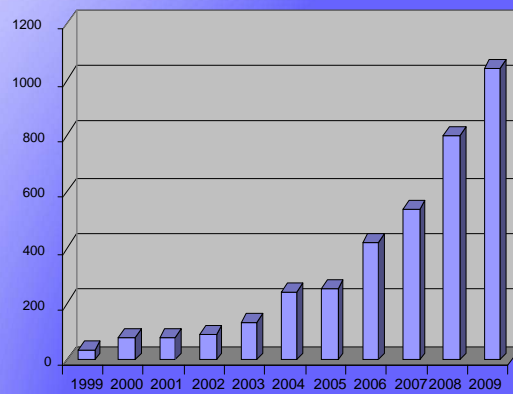
- \* Faible Coût
- \* Légèreté
- \* Facilité de mise en forme (encres peintures)
- \* Faible impact environnemental
- \* Support Flexible
- \* Grandes surfaces
- \* Modulation des propriétés par ingénierie moléculaire



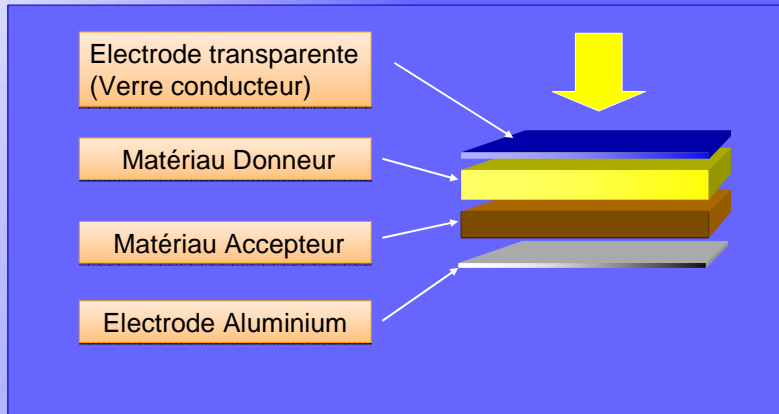
## Historique

- \* 1978 : Exxon, Merocyanines, squaraines
- \* 1984 : France, Phthalocyanines, Polythiophènes, 0.10%
- \* 1986 : Kodak, USA, 0.90 %
- \* 1992 : Transfert d'électron PI polymère conjugué/C<sub>60</sub>
- \* 1995 : Hétéro-jonction volumique
- \* 2001 : 2.5 % (Université de Linz)
- \* 2005 : 5.0 % (Konarka)
- \* 2010 : 8.0 % (Solarmer)

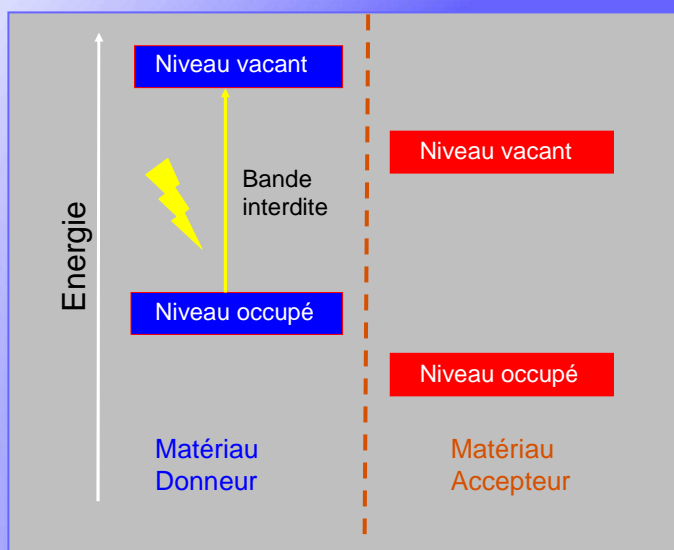
## Publications sur les Cellules Solaires Organiques



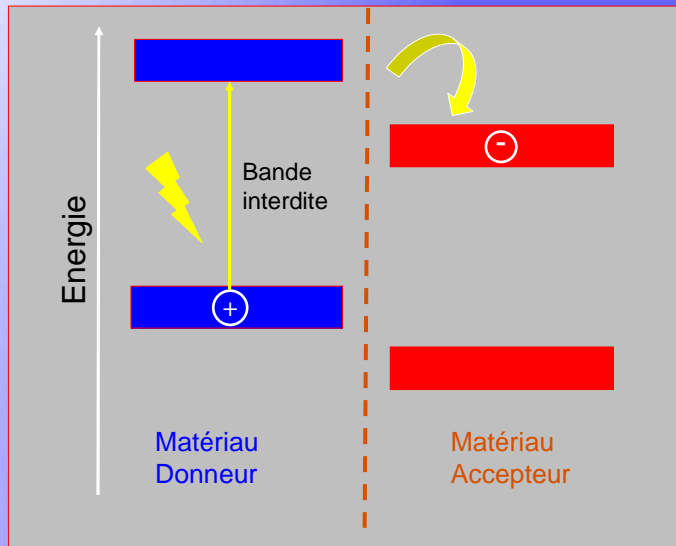
## Hétéro-jonction Donneur-Accepteur



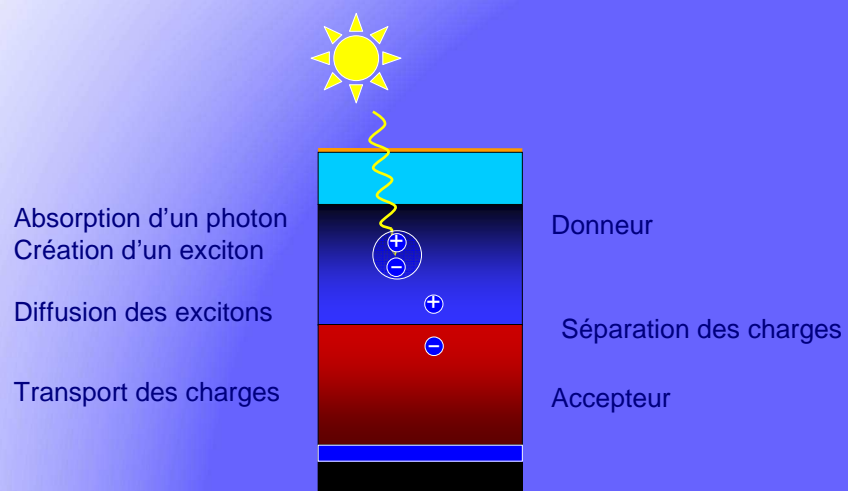
## Hétéro-jonction Donneur-Accepteur



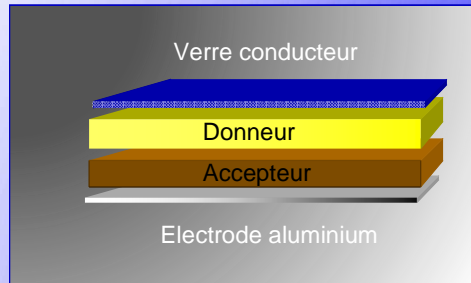
## Hétéro-jonction Donneur-Accepteur



## Hétéro-jonction Donneur-Accepteur



## Hétéro-jonction Donneur-Accepteur



### Cellules multi-couches

Technologie du vide,

Rendement  $\square$  5%

*S. Forrest, Princeton*

*K. Leo, Dresde*

*Heliatek*

Longueur de diffusion des excitons 10-20 nm

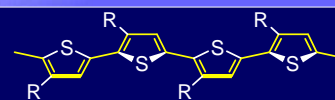
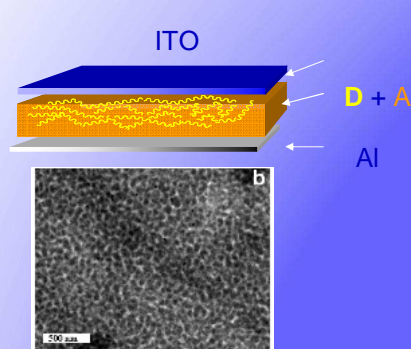


Limite l'épaisseur maximum

Limite l'absorbance de la couche

Limite le rendement de la cellule

## Hétéro-jonction volumique (Bulk Heterojunction)



Polythiophène : donneur



Fullerene  $C_{60}$

Accepteur

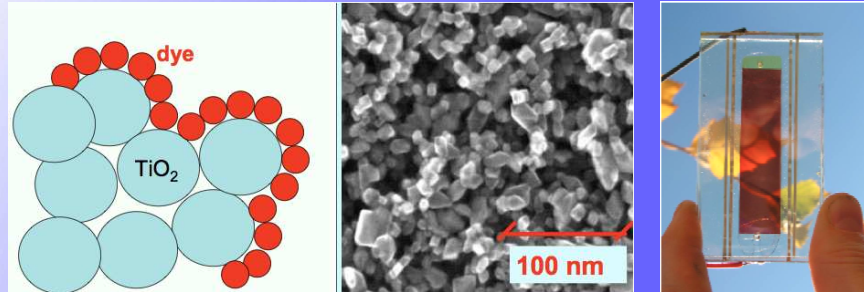
Réseaux interpénétrés de donneur et d'accepteur  
Augmentation considérable de la surface de contact

### Problèmes

- \* Continuité des réseaux
- \* Taille des domaines de D et A (~ longueur de diffusion des excitons)



## Cellules hybrides à colorant, Dyesensitized solar Cells (DSSC)



Nano-particules d'oxyde de Titane ( $\text{TiO}_2$ ) recouvertes d'une monocouche de colorant organique, M. Grätzel, Lausanne, 1991



Rendement > 10%  
Problèmes: Colorants complexes métalliques  
Fonctionne avec un électrolyte liquide

## Applications des cellules solaires organiques

Utilisations nomades liées au faible poids



Chargeurs pour : téléphone, laptop, lecteur mp3



## Applications des cellules solaires organiques

### Utilisations nomades liées au faible poids



## Souplesse : Textiles et vêtements

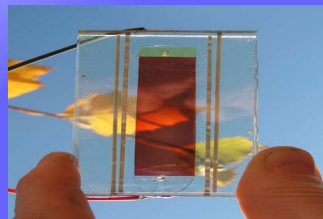


## Souplesse : Textiles et vêtements

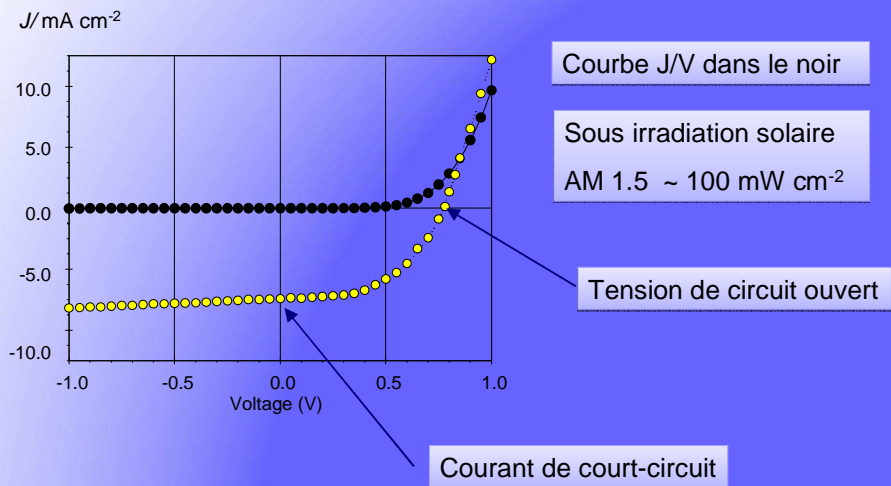


Mais un problème de surface !

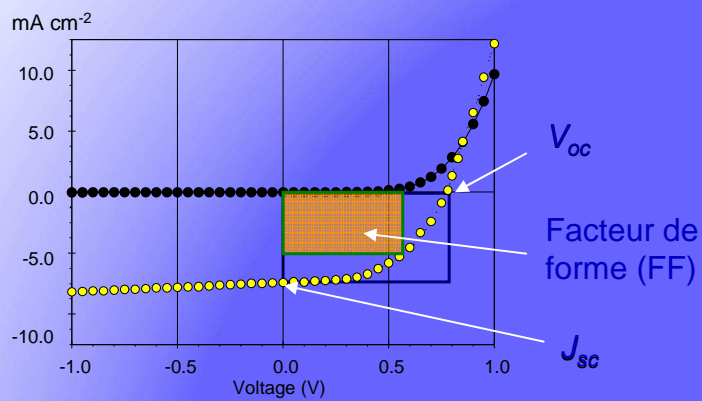
## Cellules solaires organiques et habitat



## Grandeurs caractéristiques

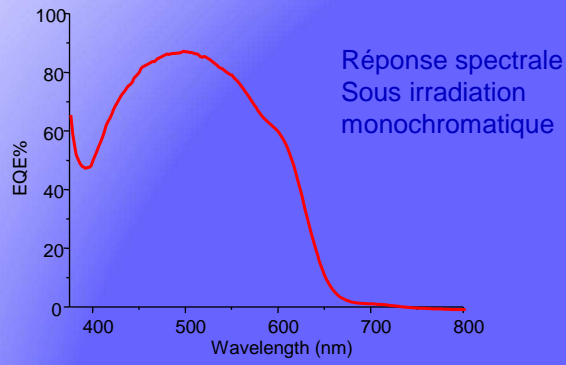


## Grandeurs caractéristiques



$$\text{Rendement} = \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{\text{Puissance incidente}}$$

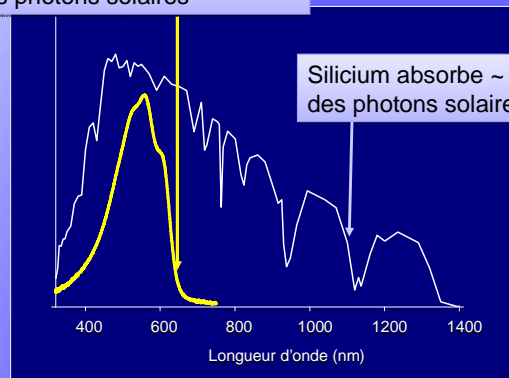
## Efficacité quantique externe (EQE)



$$EQE = \frac{\text{Nombre de charges collectées}}{\text{Nombre de photons incidents}}$$

## Les enjeux de la recherche

Polythiophène : absorbe ~ 30%  
des photons solaires



Silicium absorbe ~ 80%  
des photons solaires

## Les enjeux de la recherche

### Performances

- Adaptation au spectre solaire
- Absorbance
- Courant, voltage
- Facteur de forme
- Stabilité

### Synthèse, process

- Coût
- Propreté
- Pureté
- Processabilité
- Reproductibilité

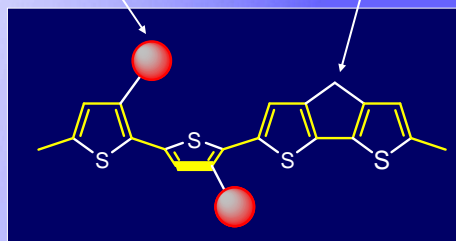
## Ingénierie moléculaire des matériaux actifs

Molécule

Matériau

Substitution

Rigidification

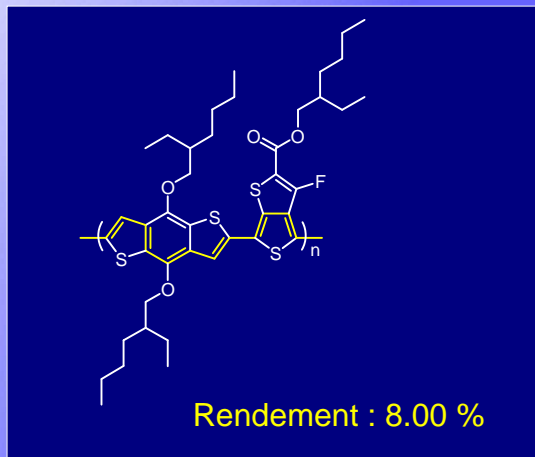


Arrangement  
des molécules



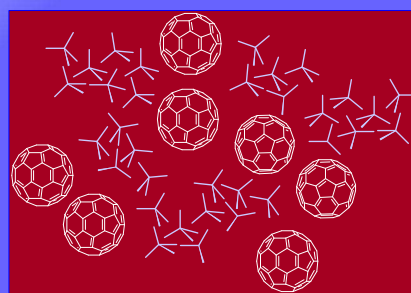
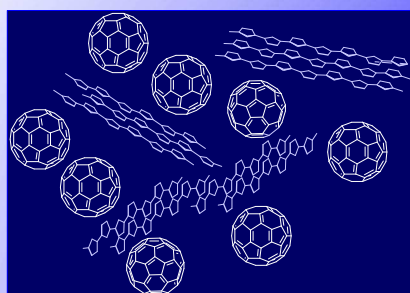
Contrôle des propriétés électroniques de la molécule  
et de l'organisation du matériau

## Record actuel en cellule tout organique



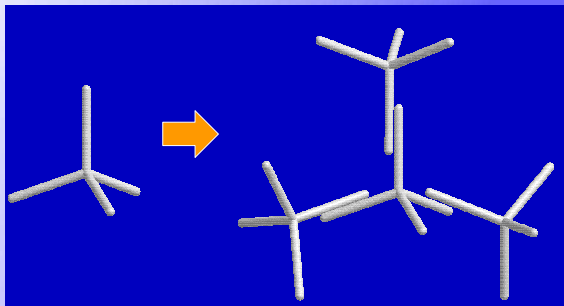
Janvier 2010, Yu, Université de Chicago, Solarmer

## Hétérojonction volumique moléculaire



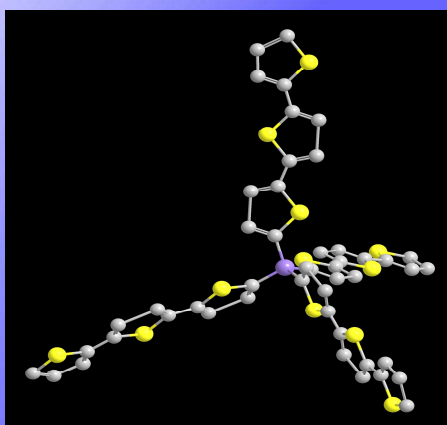
- Molécules : structure parfaitement définie
- Reproductible
- Purification plus facile

## Semiconducteurs organiques 3D



- Amélioration de la solubilité
- Propriétés électroniques isotropes

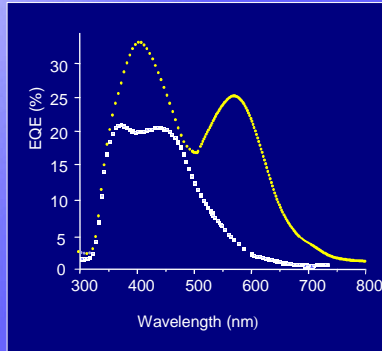
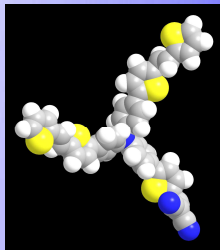
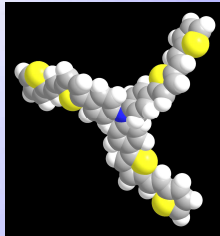
## Semi-conducteurs Organiques 3D



Première cellule bulk moléculaire  
SCL, CNRS, Université d'Angers, 2005



## Donneurs 3D et extension de la photo-réponse



$J_{sc} = 2.40 \text{ mA cm}^{-2}$   
 $\eta = 0.50 \%$



$J_{sc} = 4.10 \text{ mA cm}^{-2}$   
 $\eta = 1.00 \%$

SCL, CNRS, Université d'Angers 2006

## Performances des cellules à hétérojonction volumique à base de semi-conducteurs organiques moléculaires

- \* 2005, 0.30%, Angers
- \* 2006, 1.00%, Angers
- \* Nov. 2008. 1.68%, (Würthner, D)
- \* Déc. 2008, 1.70%, Angers
- \* Mars 2009, 3.00% (Nguyen, USA)



Record actuel

Octobre 2009, **4.40%**  
Nguyen, (USA)

## Stabilité ?

Les matériaux organiques sont réputés peu stables mais :



## Optimisation des hétéro-jonctions volumiques

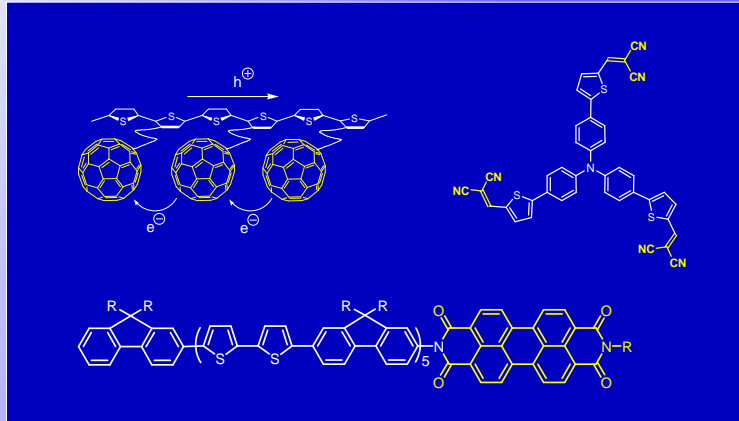
- Proportions des deux composants
- Solvants, vitesse d'évaporation
- Additifs
- Traitements thermiques



- Complique le process
- Augmente les coûts de fabrication
- Limite la durée de vie de la cellule

Peut-on concevoir et fabriquer une cellule solaire organique à partir d'un matériau unique ?

## Vers la cellule à matériau unique



Fin 2009: publication des premiers exemples de cellules à matériau unique dépassant 1.00%

## Conclusions Perspectives

### Trois approches

- Cellules Multi-couches
- Cellules hybrides à colorants
- Hétérojonctions volumiques

Mise sur le marché de produits pour applications de niches

### Recherche : les défis de la décennie à venir

- Nouveaux matériaux performants et stables
- Des objectifs plus ambitieux : rattraper le silicium!
- Cellules à matériau unique, vers le « silicium organique »