



CETHIL
UMR 5008



Comportement thermique de cellules photovoltaïques en silicium et nano-thermophotovoltaïques

Olivier DUPRE* et Rodolphe VAILLON°

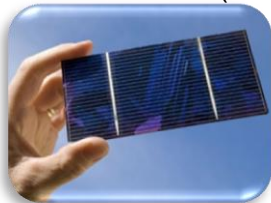
- * olivier.dupre@insa-lyon.fr, +33 (0)4 72 43 74 20
- ° rodolphe.vaillon@insa-lyon.fr, + 33 (0)4 72 43 88 17

Journée SFT & GDR ACCORT
10 octobre 2012, ODEILLO

Cellules photovoltaïques (PV)

1^{ère} génération

Silicium cristallin (cSi)



2^{ème} génération

Films minces



3^{ème} génération

Multi jonctions
Cellules organiques
Concentration
Thermophotovoltaïque
...



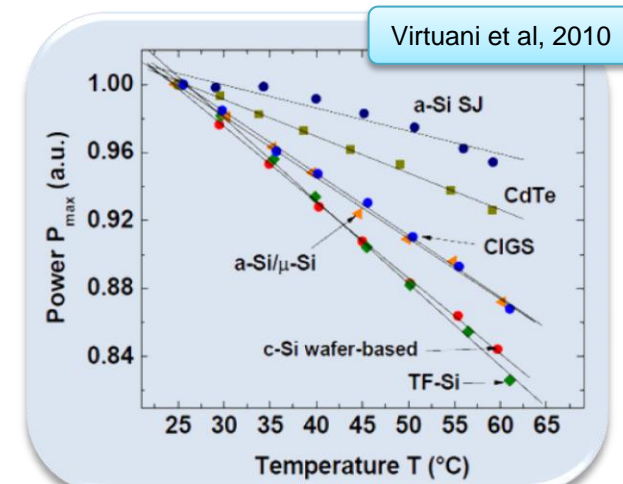
? Augmentation du rendement (& diminution des coûts)



Approches usuelles : **augmentation de la collecte solaire**, **diminution des recombinaisons des charges photogénérées**



Approche originale du CETHIL : **étude du comportement thermique** et impacts sur le rendement

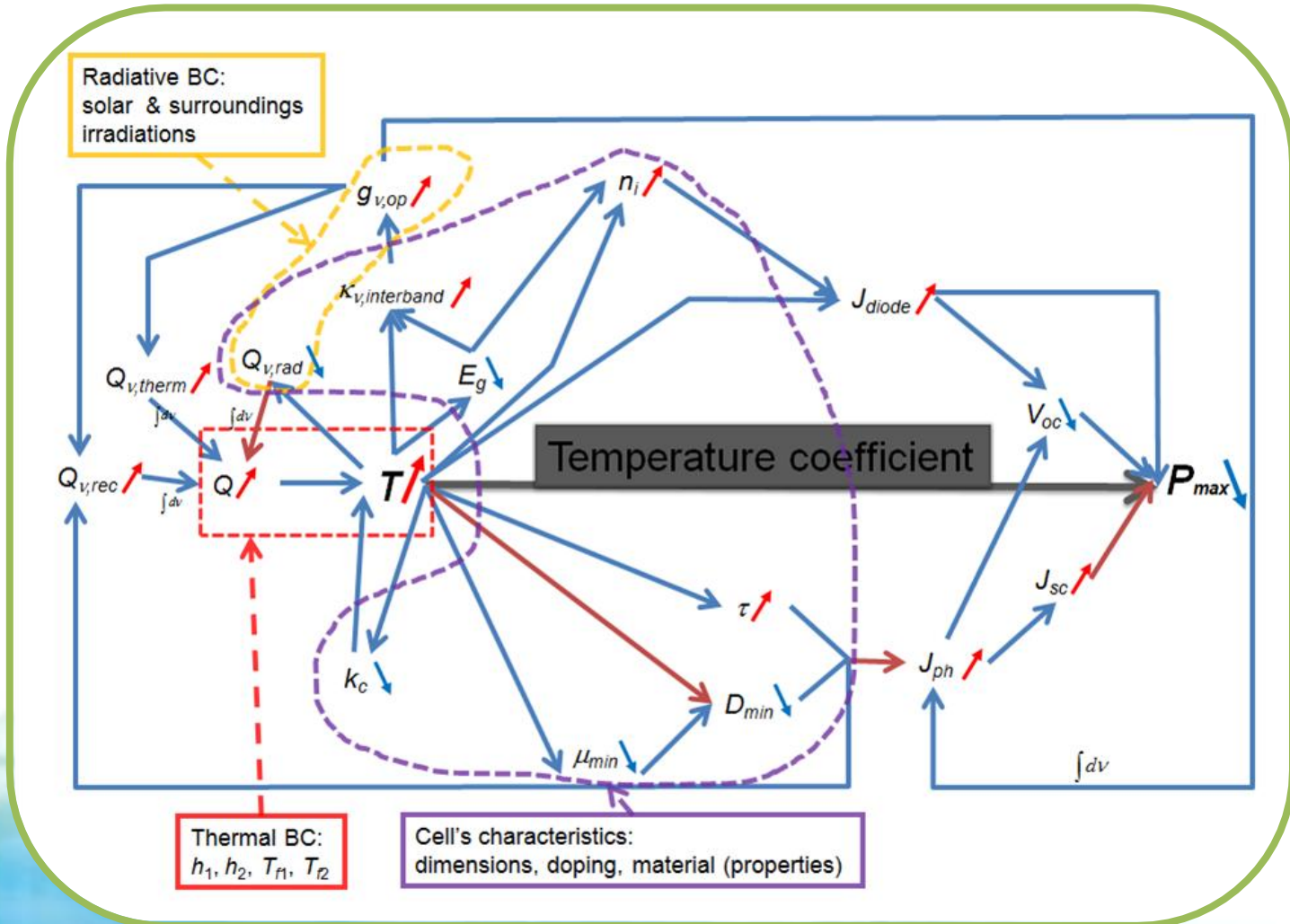


Impact de la température sur la puissance maximale de différentes cellules PV

Enquête : sous le coefficient de température

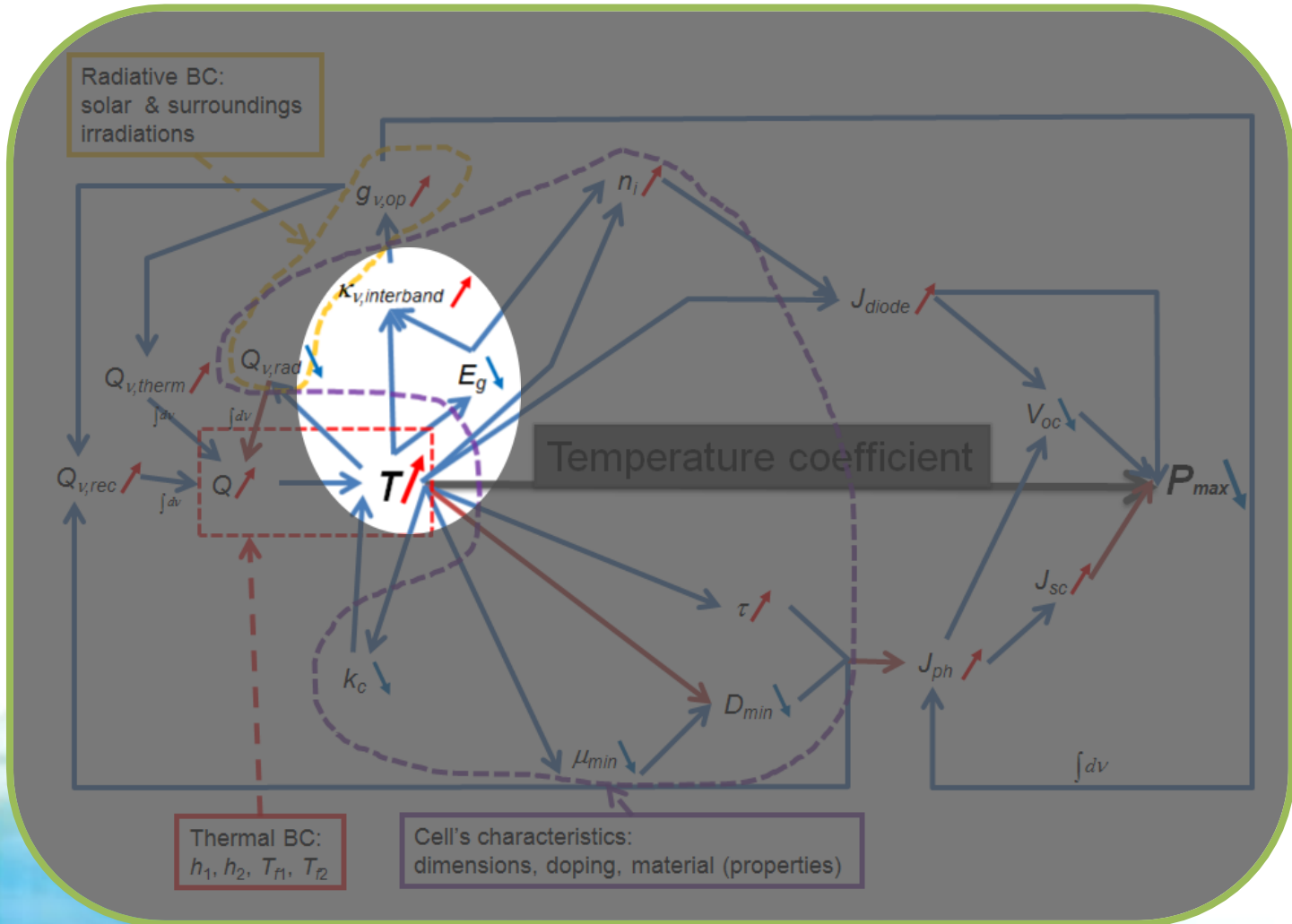


Quels sont les phénomènes physiques mis en jeu dans le **comportement thermique** des systèmes PV ?

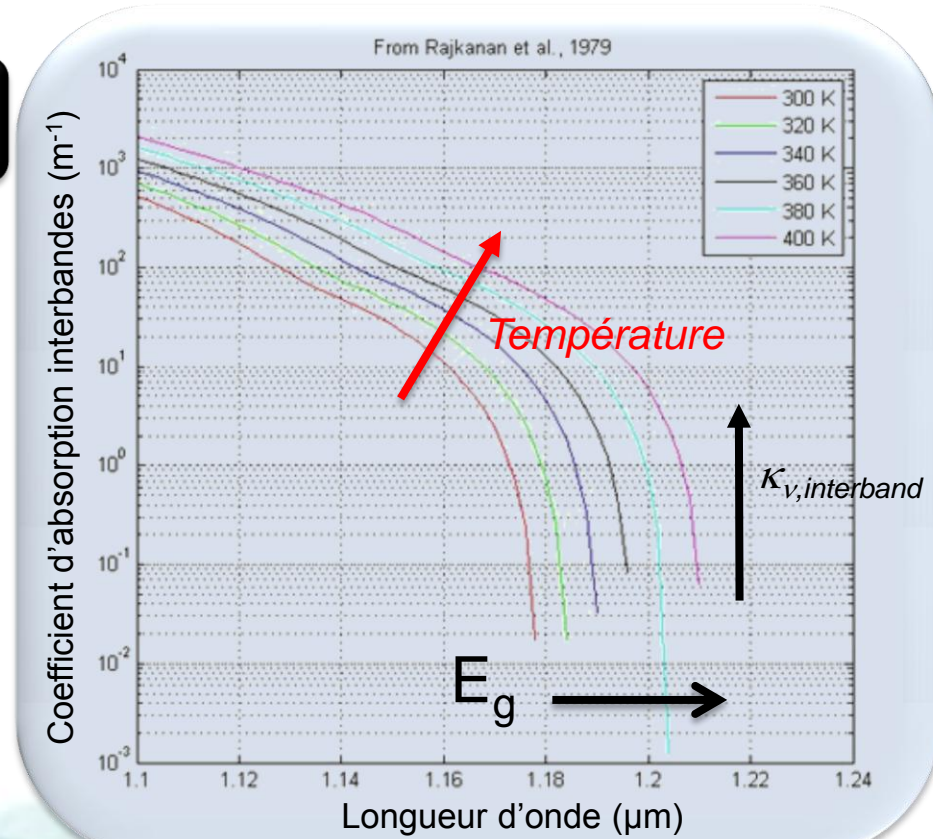
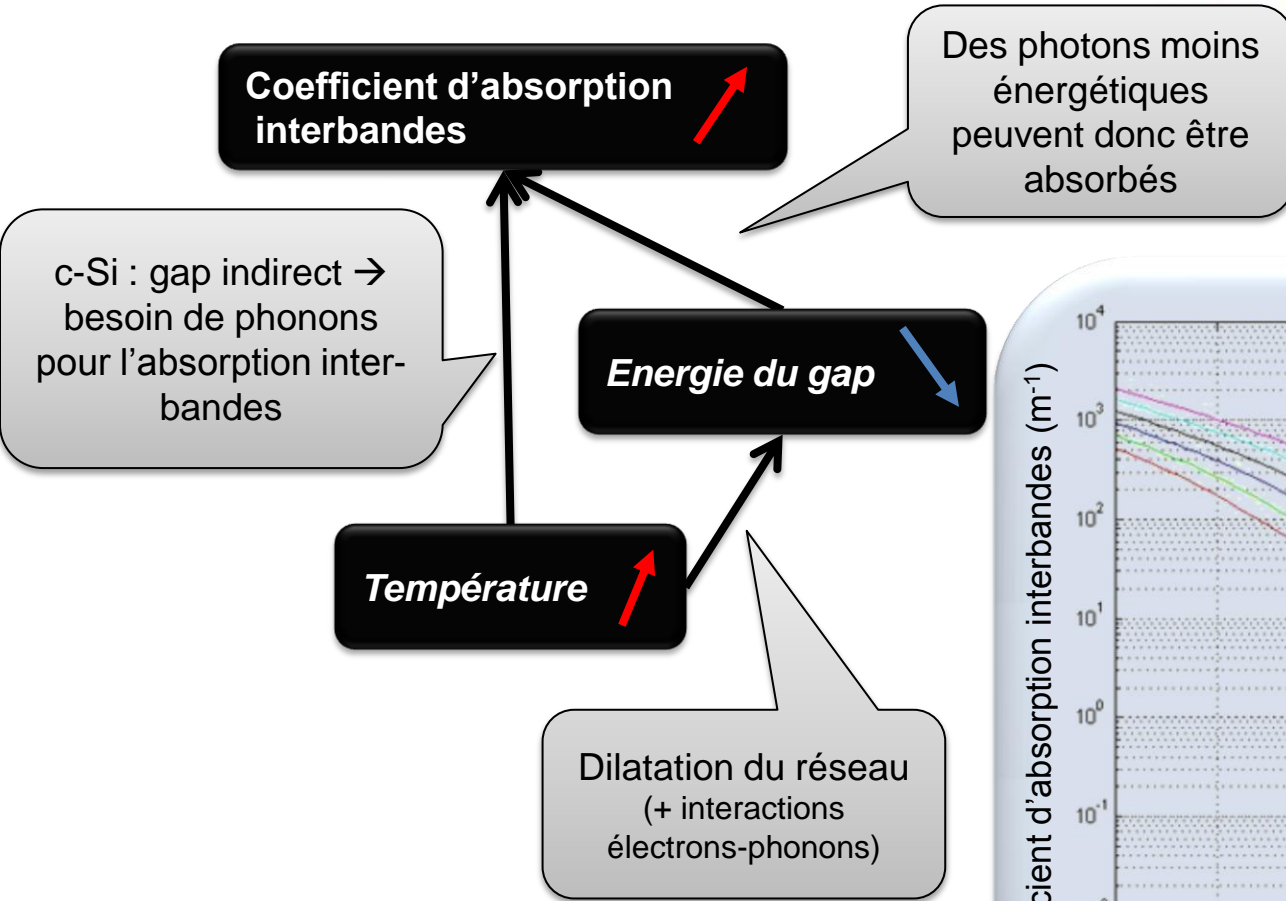


Exemple de dépendance à la température

? Quels sont les phénomènes physiques mis en jeu dans le **comportement thermique** des systèmes PV ?



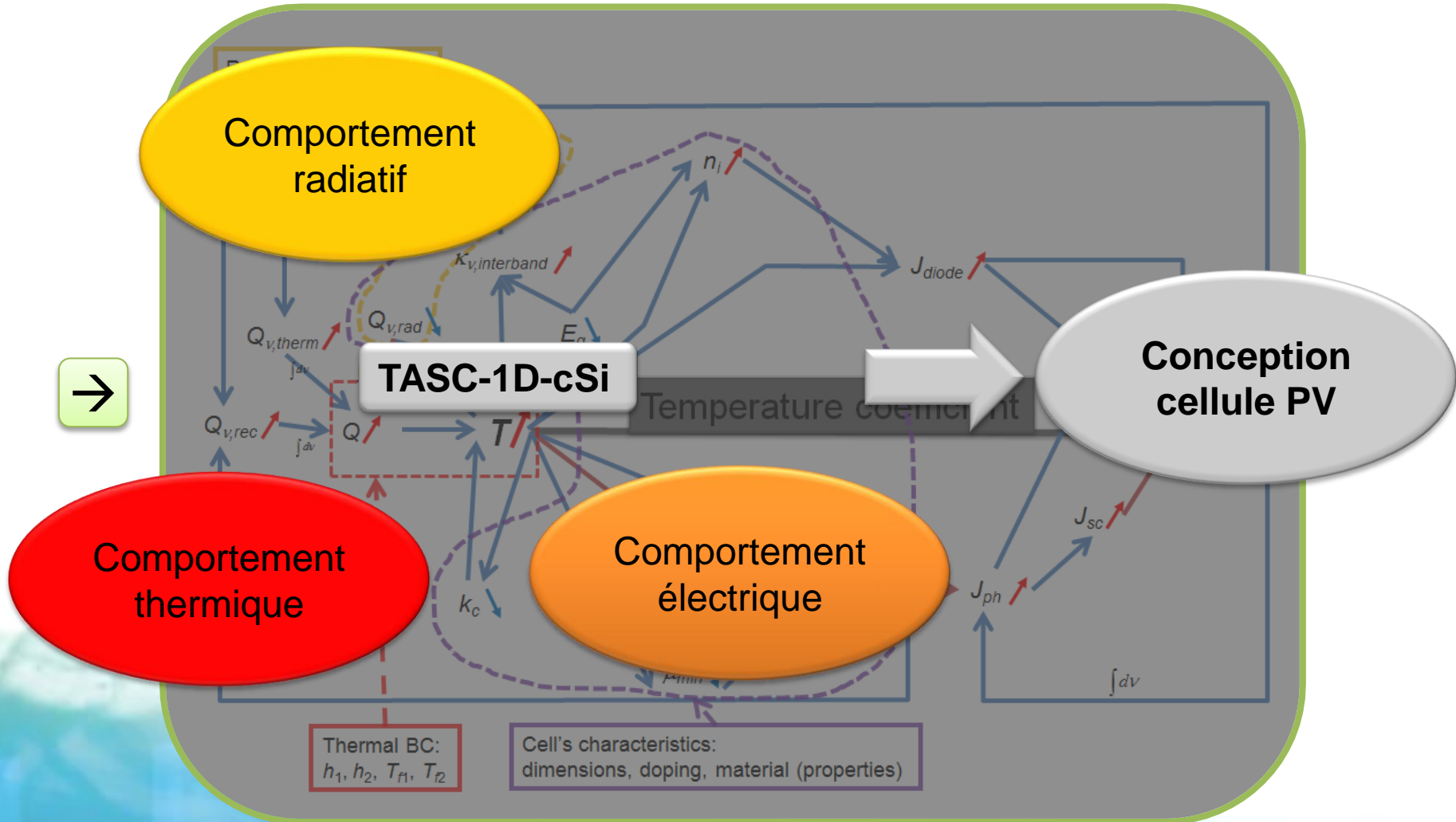
Variation du coefficient d'absorption interbandes

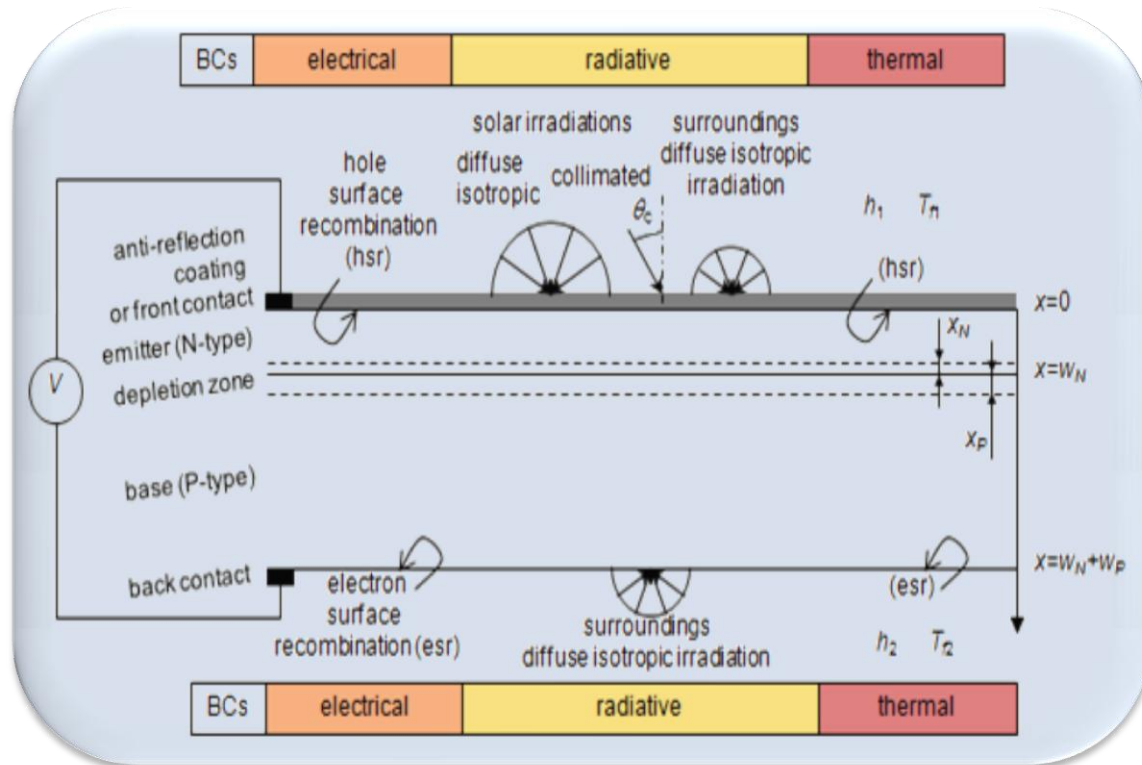


Coefficient d'absorption à plusieurs températures

Objectif du travail de recherche

? Comment simuler le couplage des comportements **radiatifs**, **électrique** et **thermique** d'une cellule PV en c-Si ?



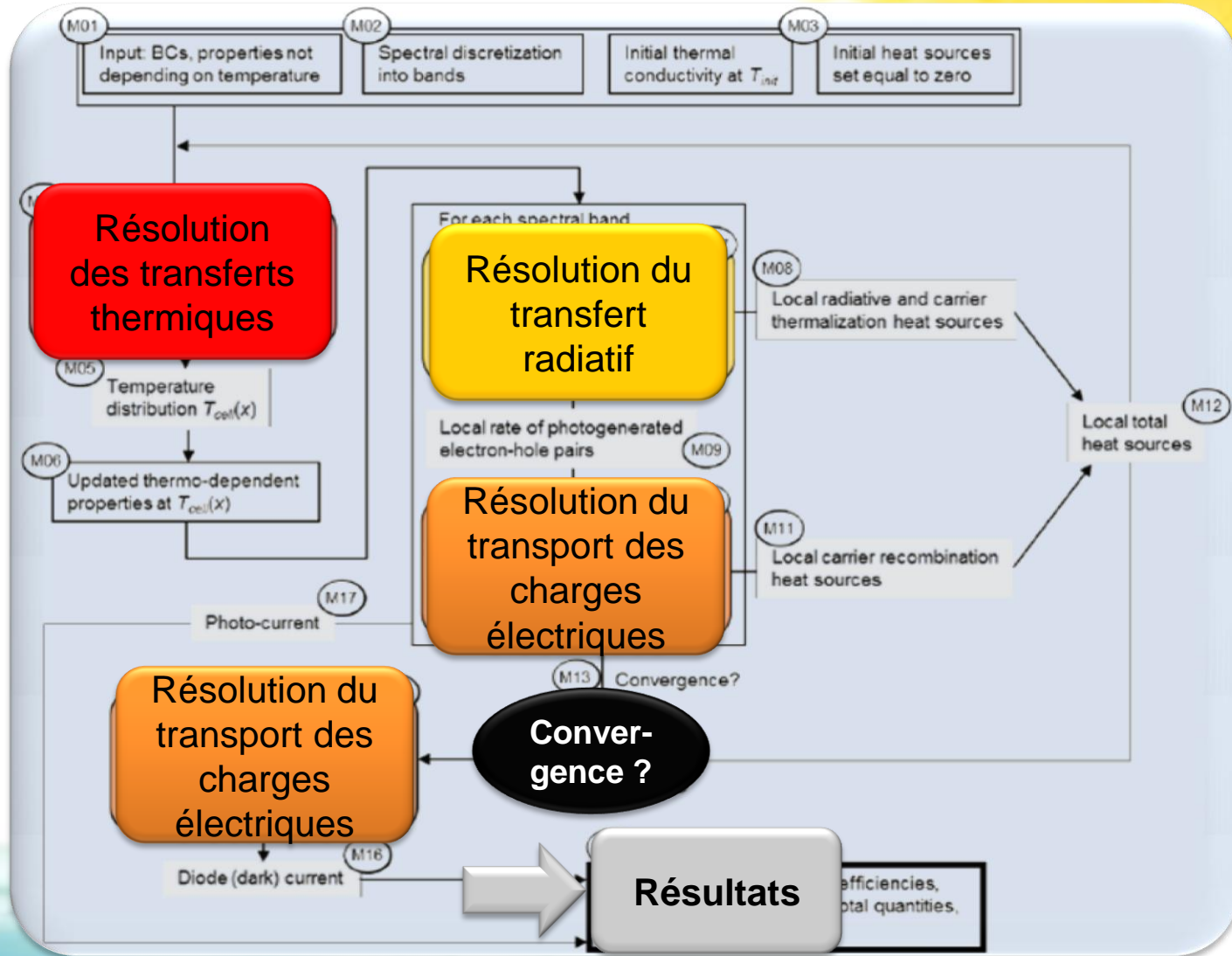


Vue schématique du problème considéré

Le code est capable de :

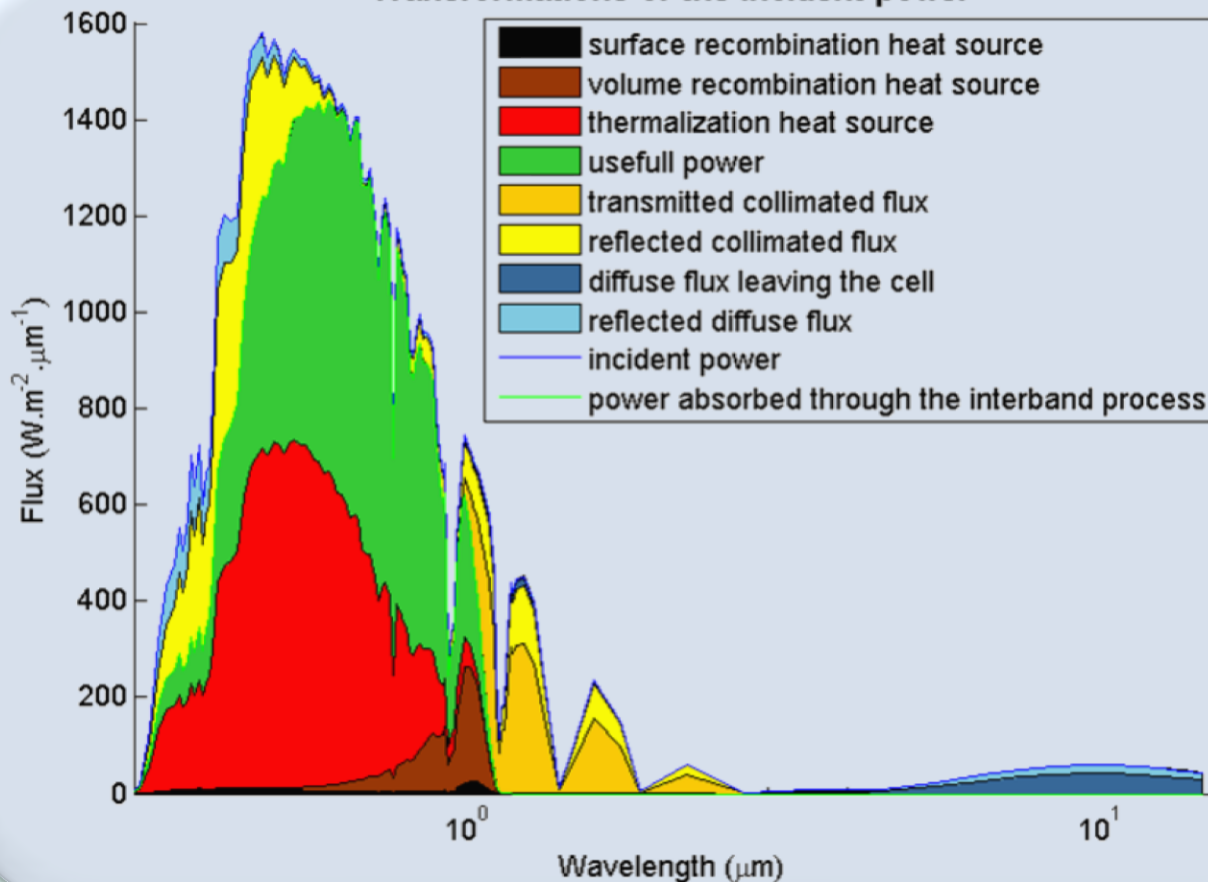
- Calculer **les sources de chaleur** et prédire la température d'équilibre du système
- Traiter les parties directes et diffuses du **rayonnement**
- Fournir les distributions spatiales et spectrales de nombreux paramètres

Présentation du code de simulation TASC-1D-cSi



Algorithme de résolution de TASC-1D-cSi

Transformations of the incident power



□ Importance de la **source de chaleur**

□ Le **bilan radiatif** comprend 13 termes

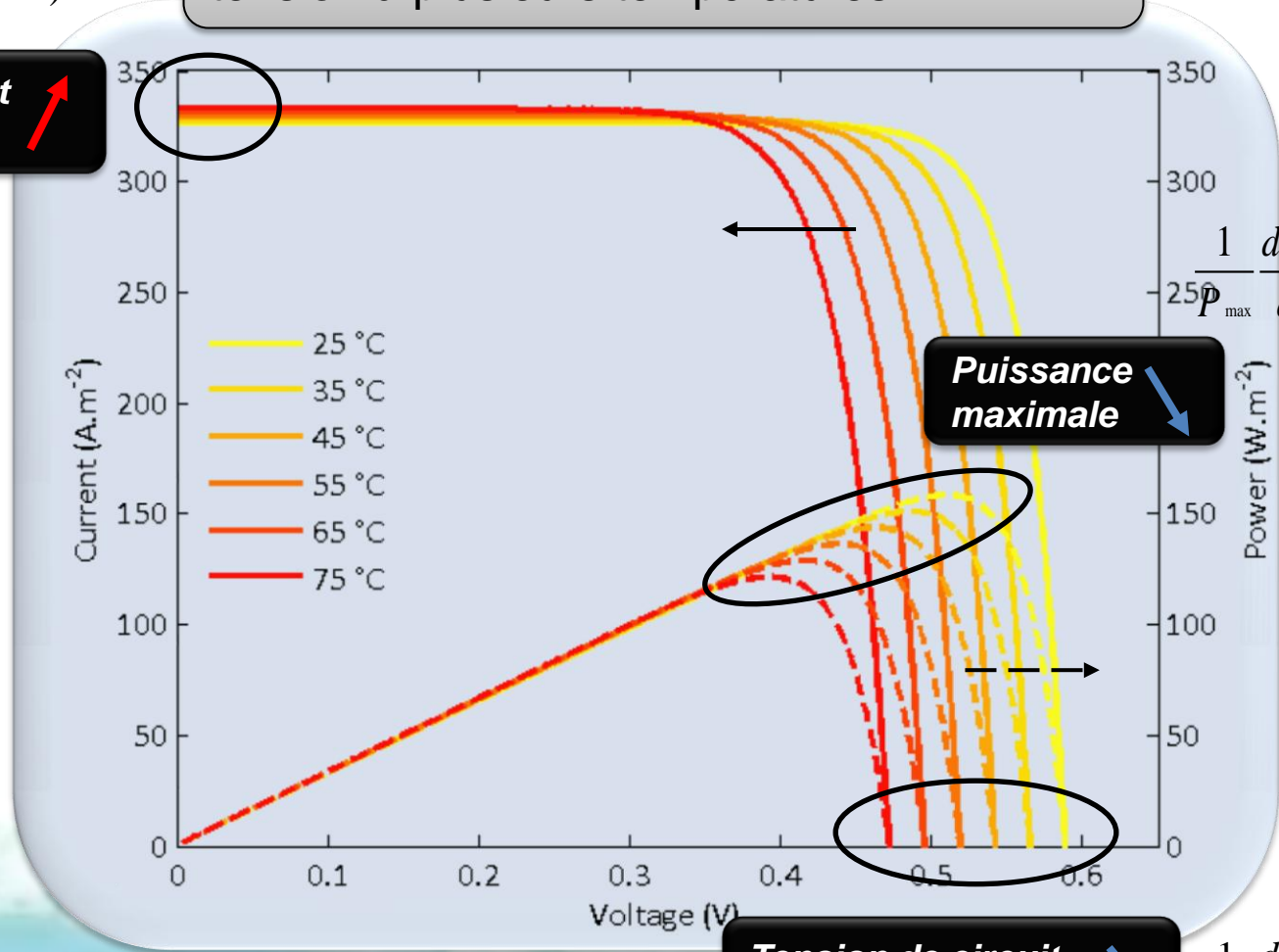
□ Plage de longueurs d'onde : **0.3-15 μm**

Bilan de puissance de l'ensemble des phénomènes

Courbes courant-tension (JV) et puissance-tension à plusieurs températures

$$\frac{1}{J_{sc}} \frac{dJ_{sc}}{dT} \approx 0.04 (\% / K)$$

Courant de court circuit



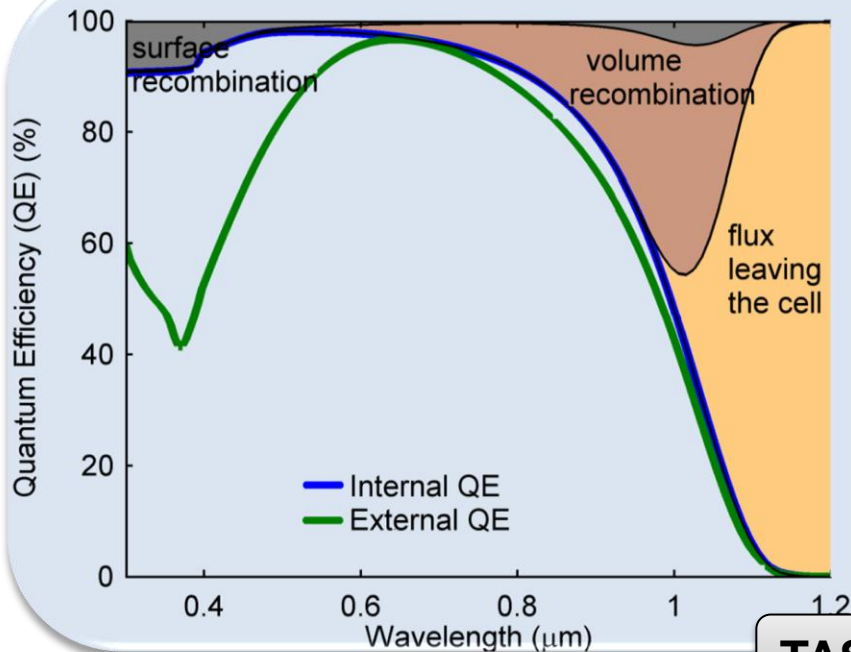
$$\frac{1}{P_{max}} \frac{dP_{max}}{dT} \approx -0.47 (\% / K)$$

Puissance maximale

Tension de circuit ouvert

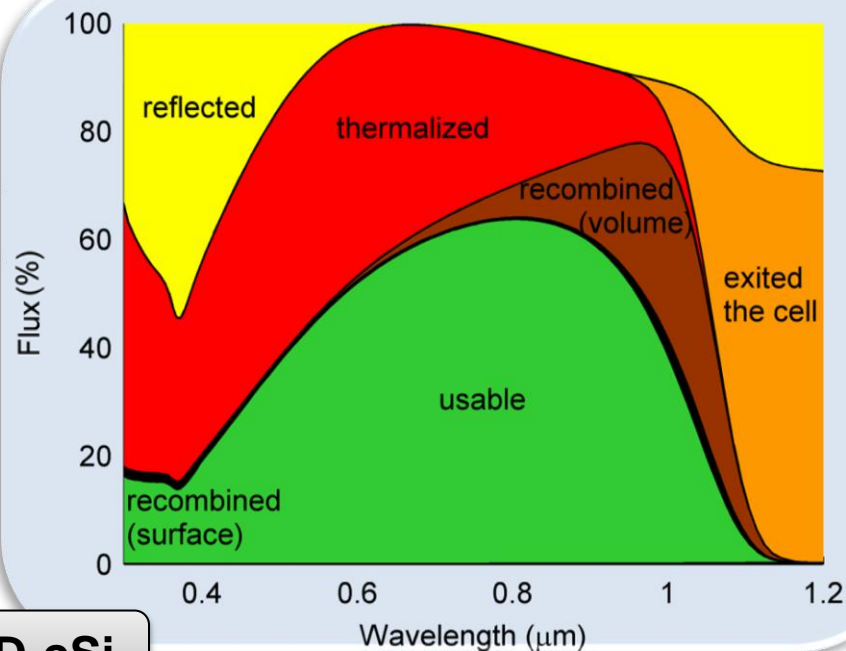
$$\frac{1}{V_{oc}} \frac{dV_{oc}}{dT} \approx -0.4 (\% / K)$$

Pertes optiques et électriques...



TASC-1D-cSi

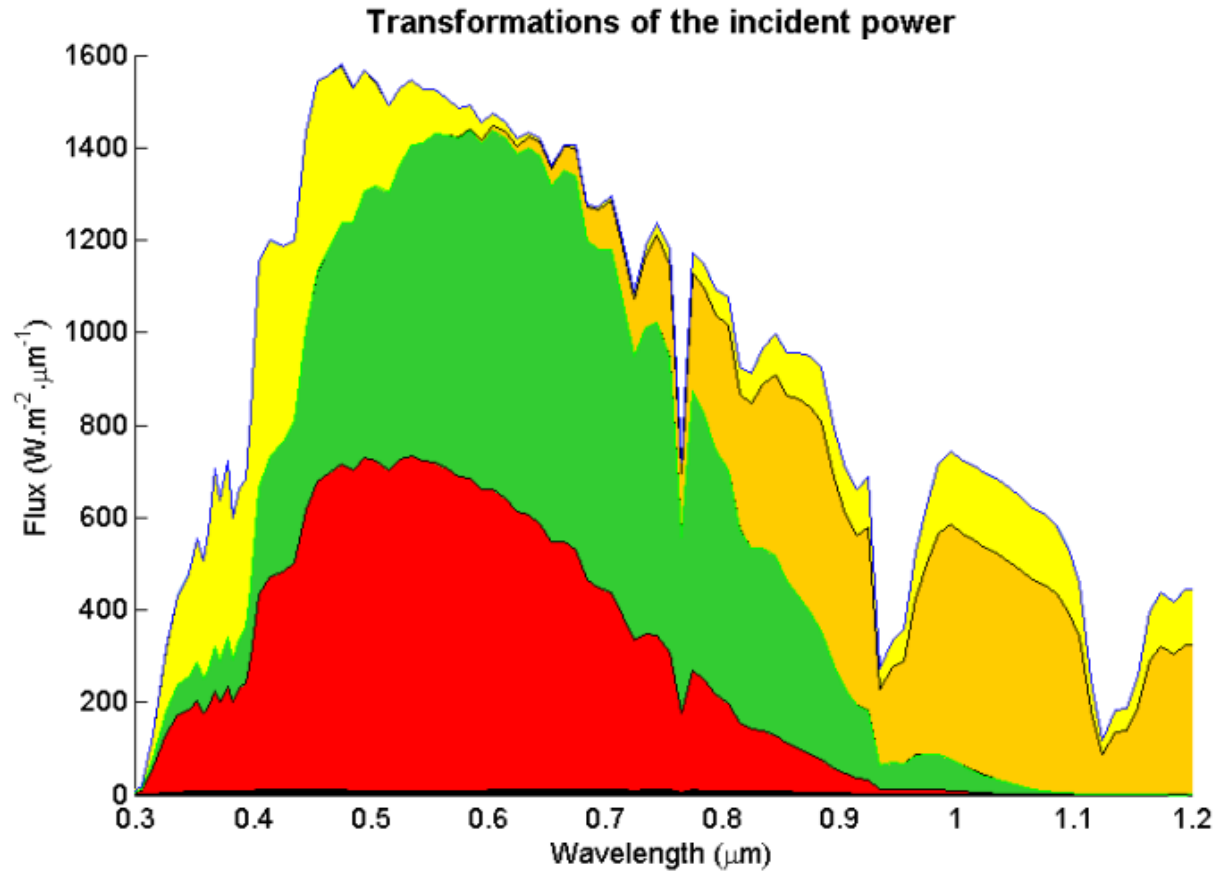
...mais aussi pertes thermiques



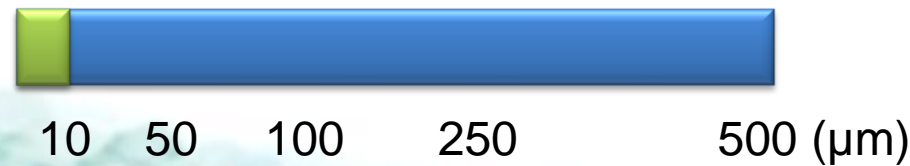
Compréhension des phénomènes + code TASC-1D-cSi

→ possibilités d'étude d'optimisation avec **critère thermique**

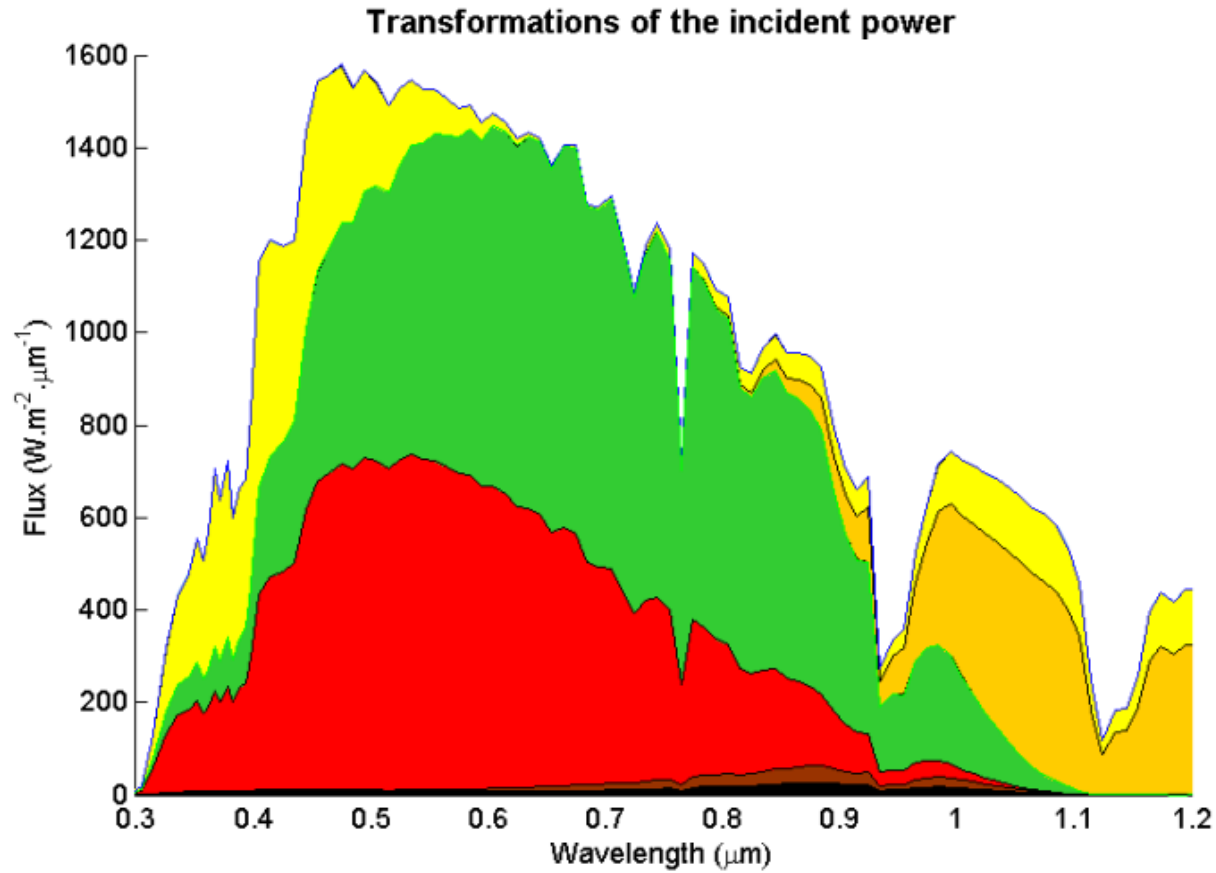
Effet de l'épaisseur de la cellule



Épaisseur :



Effet de l'épaisseur de la cellule



Épaisseur :



10

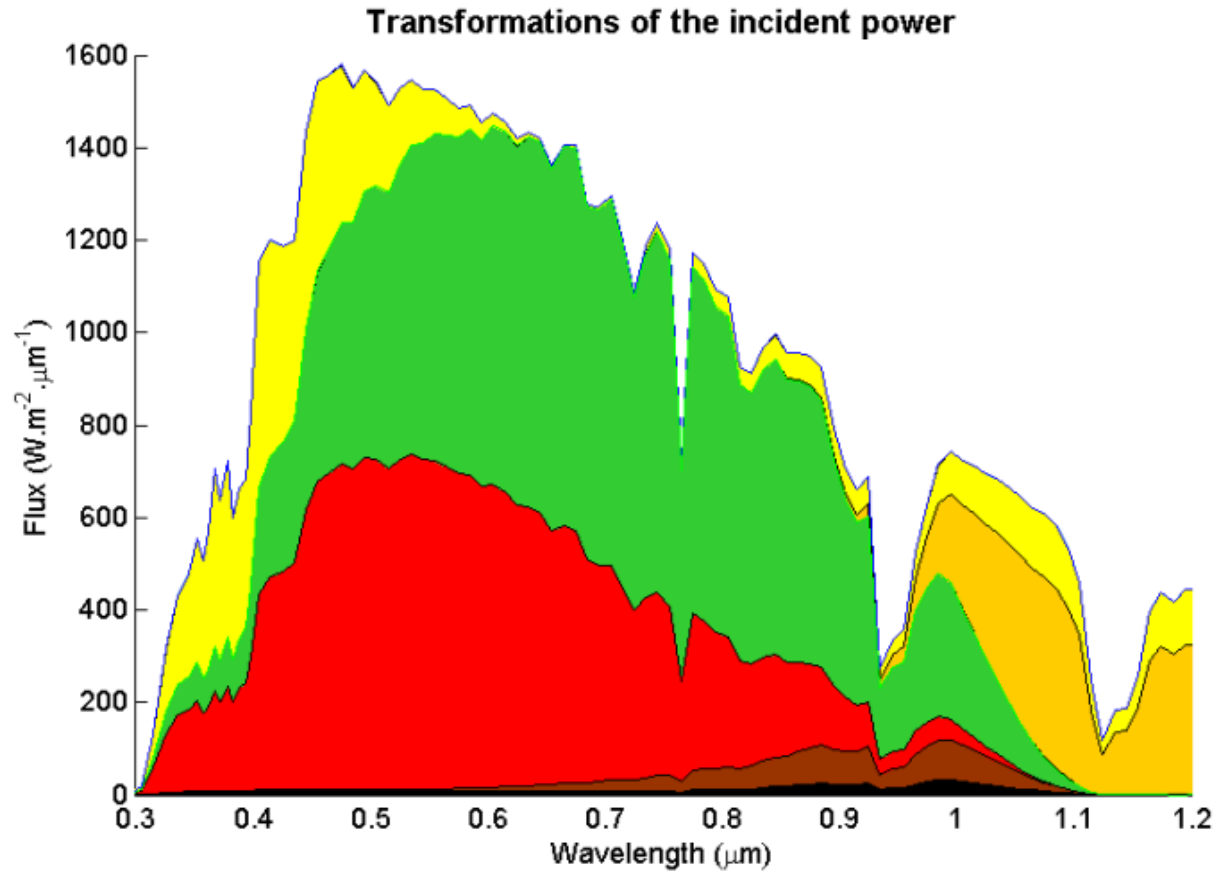
50

100

250

500 (μm)

Effet de l'épaisseur de la cellule

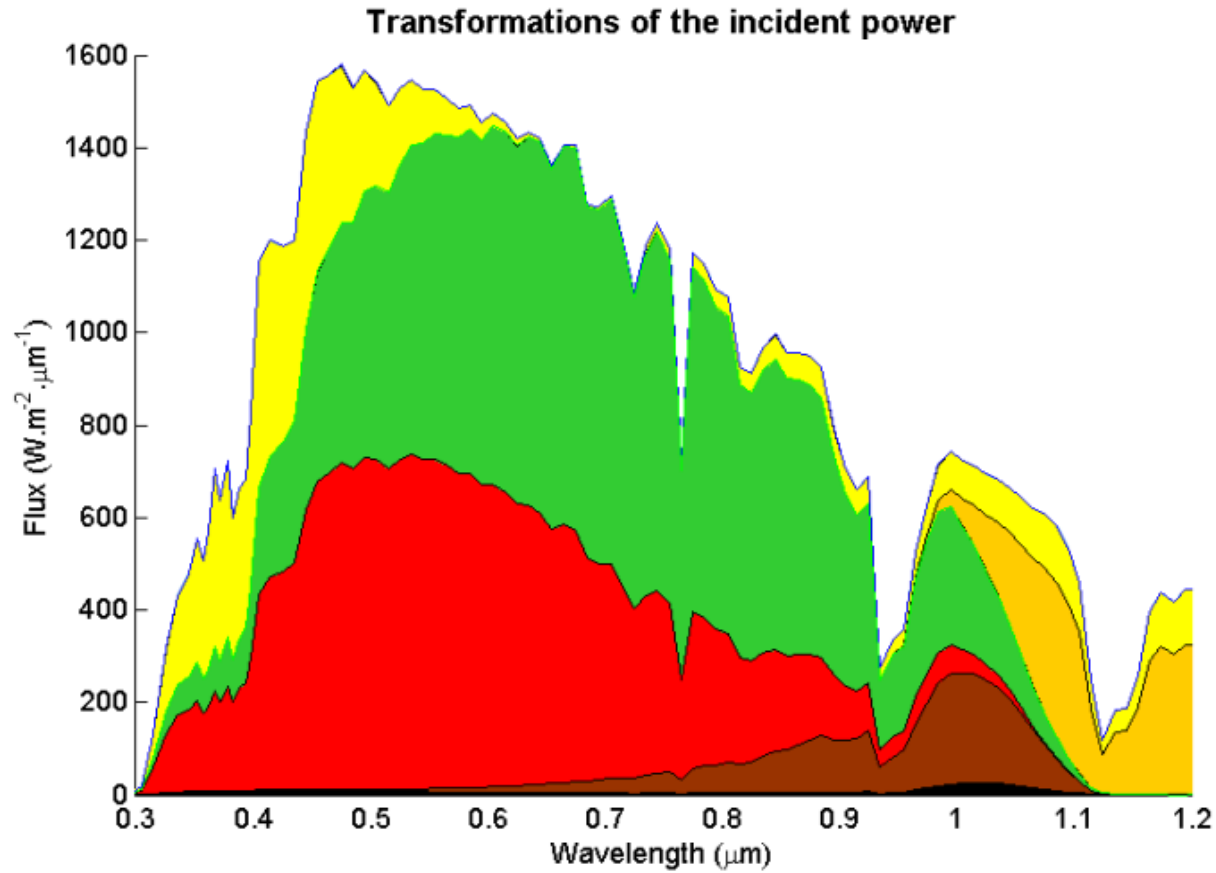


Épaisseur :



10 50 100 250 500 (μm)

Effet de l'épaisseur de la cellule

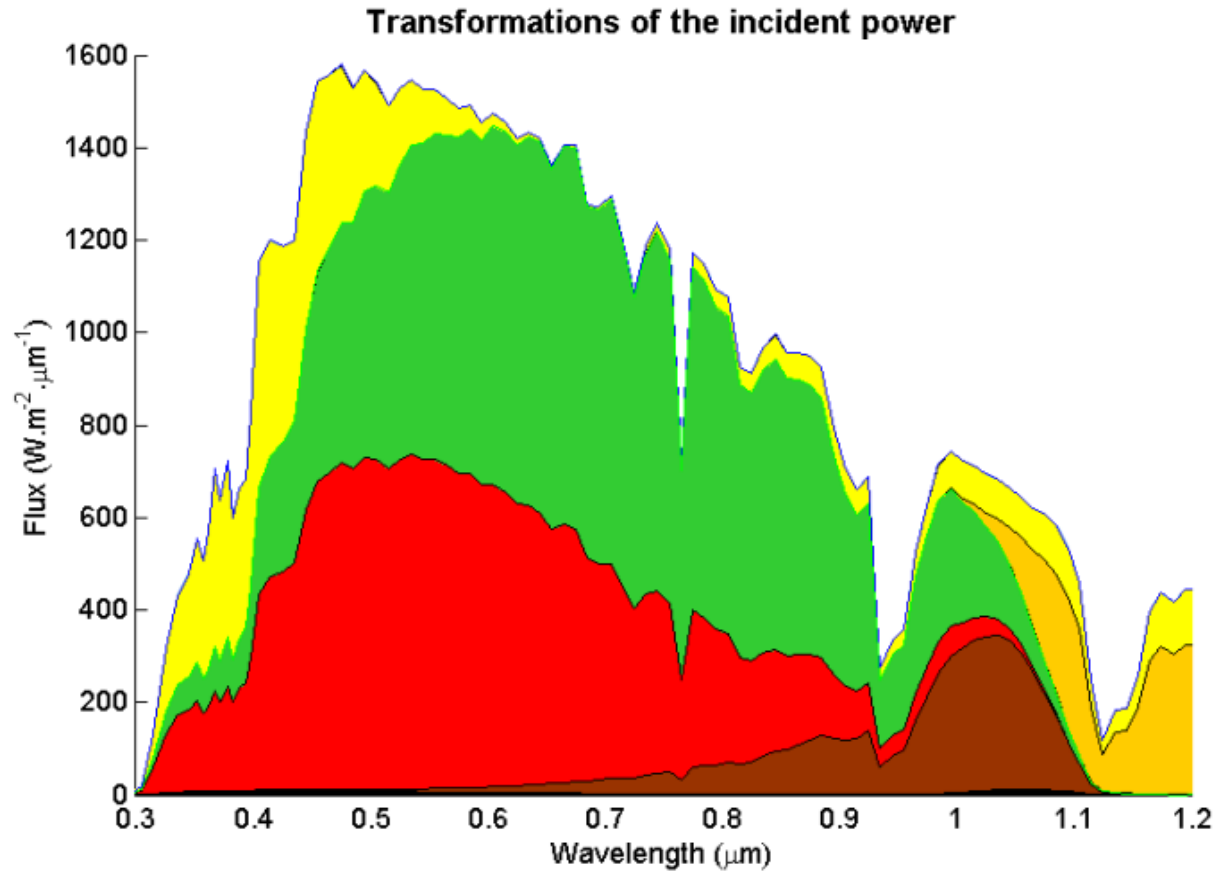


Épaisseur :



10 50 100 250 500 (μm)

Effet de l'épaisseur de la cellule



Épaisseur :



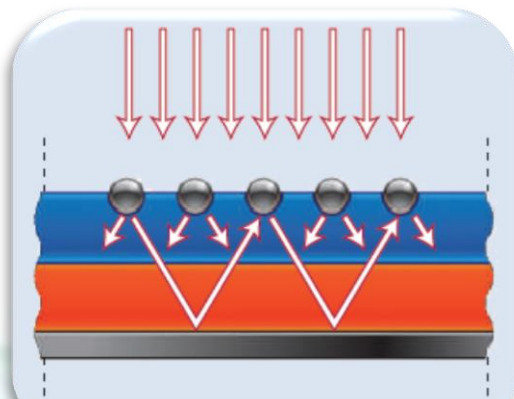
10 50 100 250 500 (μm)

Aboutissement de la compréhension du comportement thermique des systèmes PV et des différents mécanismes physiques mis en jeu

Quelles optimisations peut-on envisager en prenant en considération des critères thermiques ?

Paramètres de base : tailles, niveaux de dopage, encapsulation (verre protecteur)

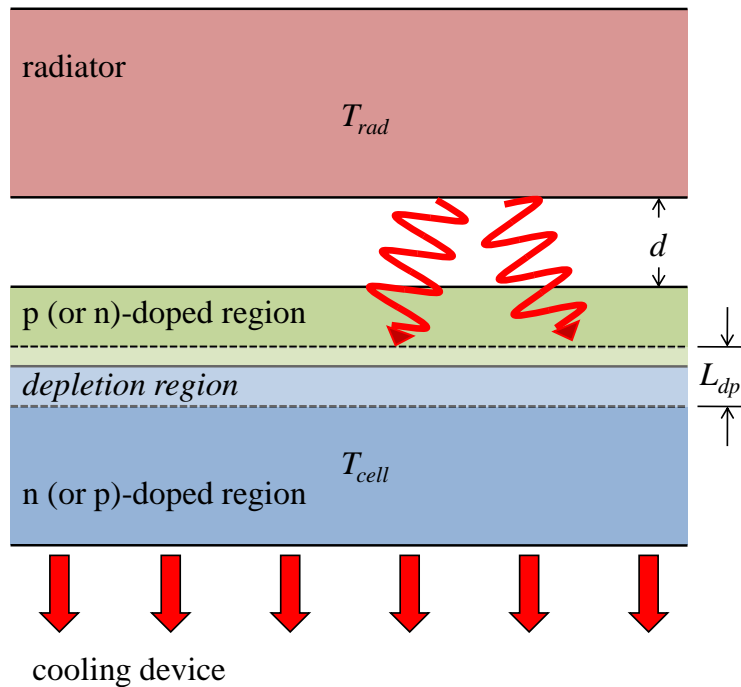
Collecte optique : Couche Anti-Reflets, micro et nano structurations de surface, nanoparticules*



Principe de **capture optique** par nanoparticules métalliques aux propriétés de diffusion directionnelles

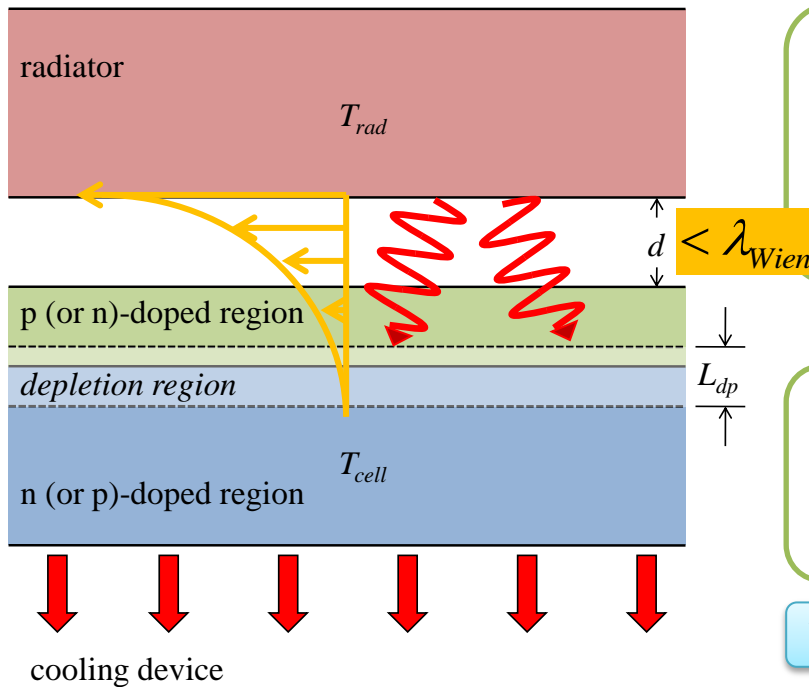
* Atwater H.A. & Polman A., Plasmonic for improved photovoltaic devices, Nature Materials, Vol. 9, pp.205-213, 2010.

Cellules ThermoPhotoVoltaïques (TPV)



- sources thermiques (1000 – 2000 K): fours, moteurs, solaire concentré,...
- cellules PV à bas gap (0,5 – 0,7 eV)

Cellules nano-ThermoPhotoVoltaïques (nanoTPV)



- sources thermiques (1000 – 2000 K): fours, moteurs, solaire concentré,...
- cellules PV à bas gap (0,5 – 0,7 eV)

+

- augmentation du rayonnement transféré à la cellule PV par canalisation des **ondes évanescentes** (champ proche)

Whale & Cravalho, 1997

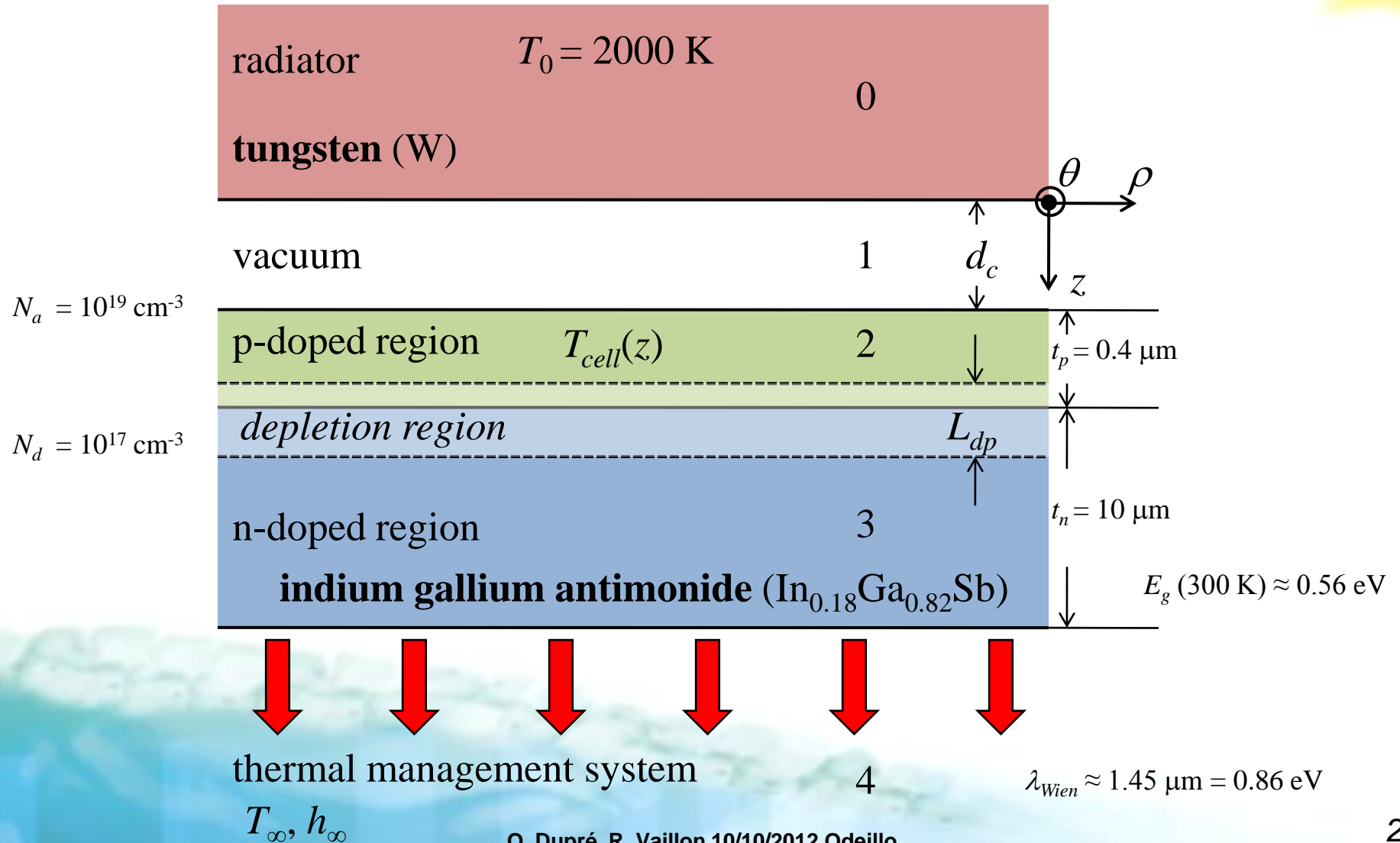
?

Impact des transferts thermiques sur les performances des cellules nano-TPV ?



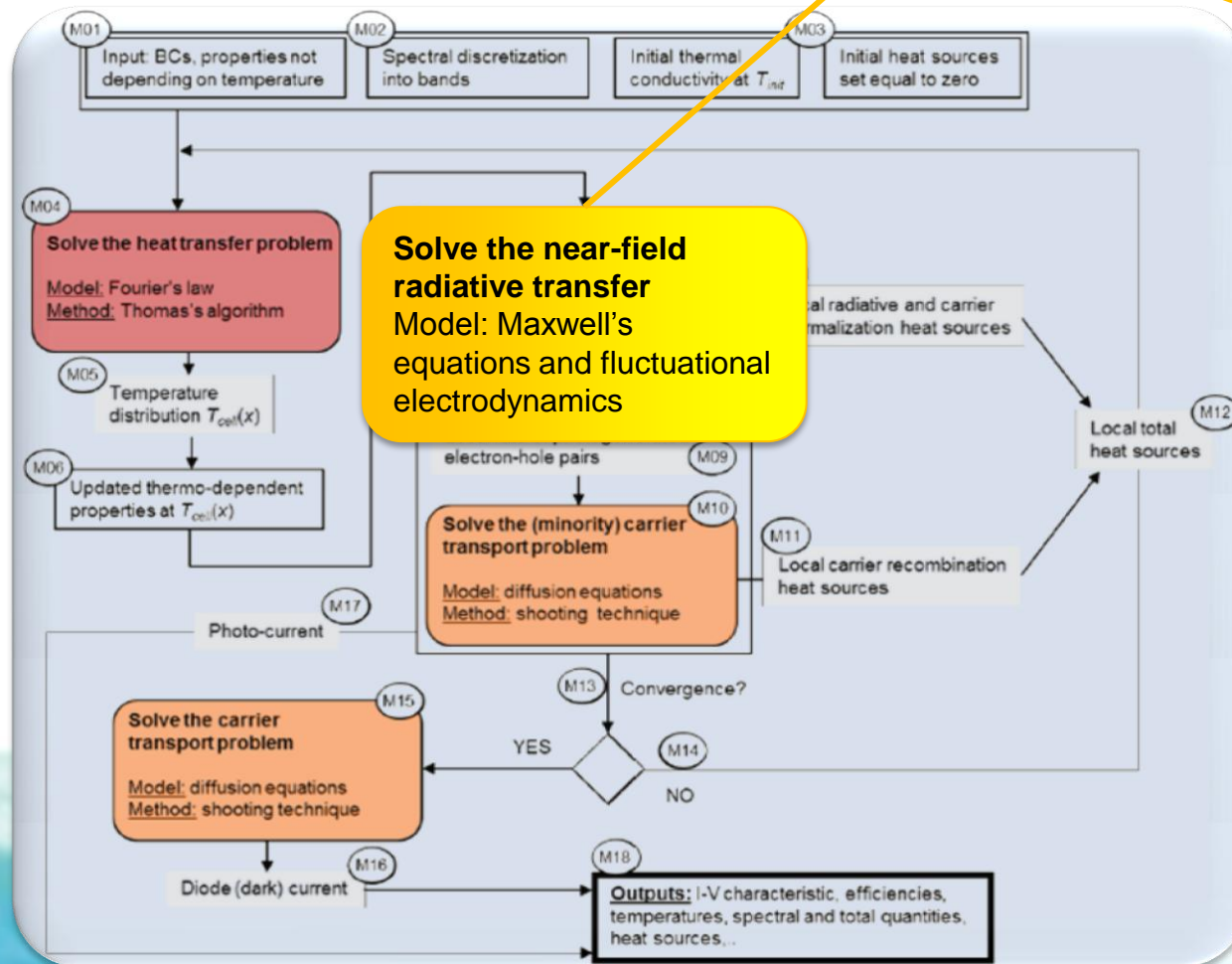
conception

Configuration étudiée

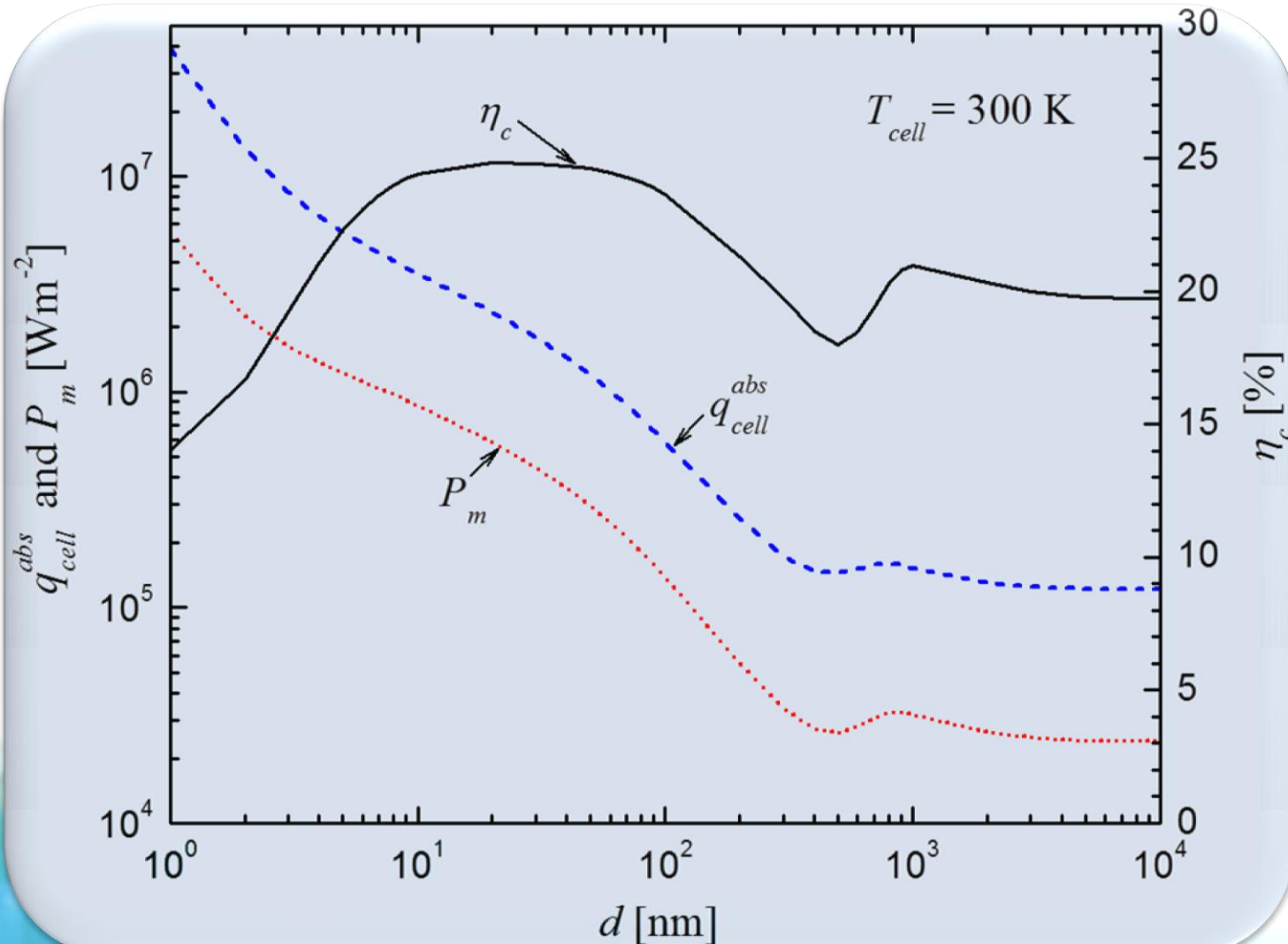


Modèles couplés rayonnement champ proche - électrique - thermique

Francoeur, Mengüç,
Vaillon, JQSRT, 2009



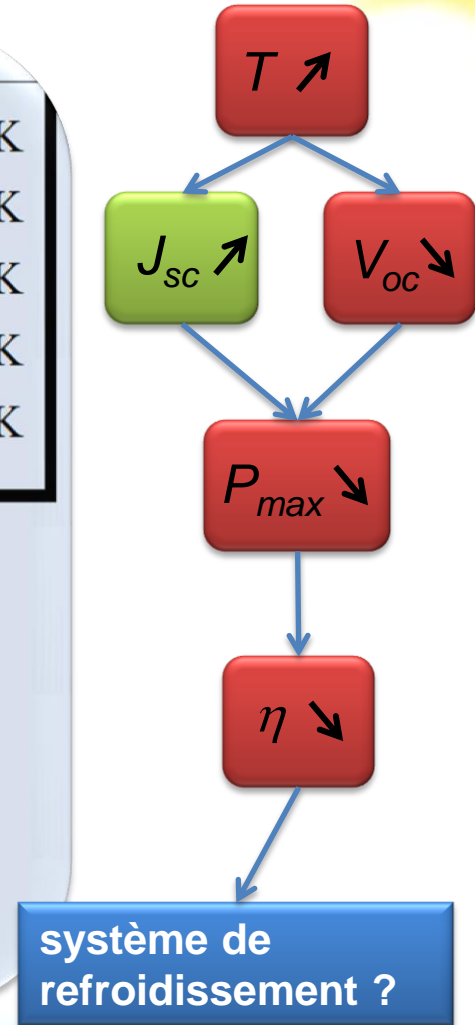
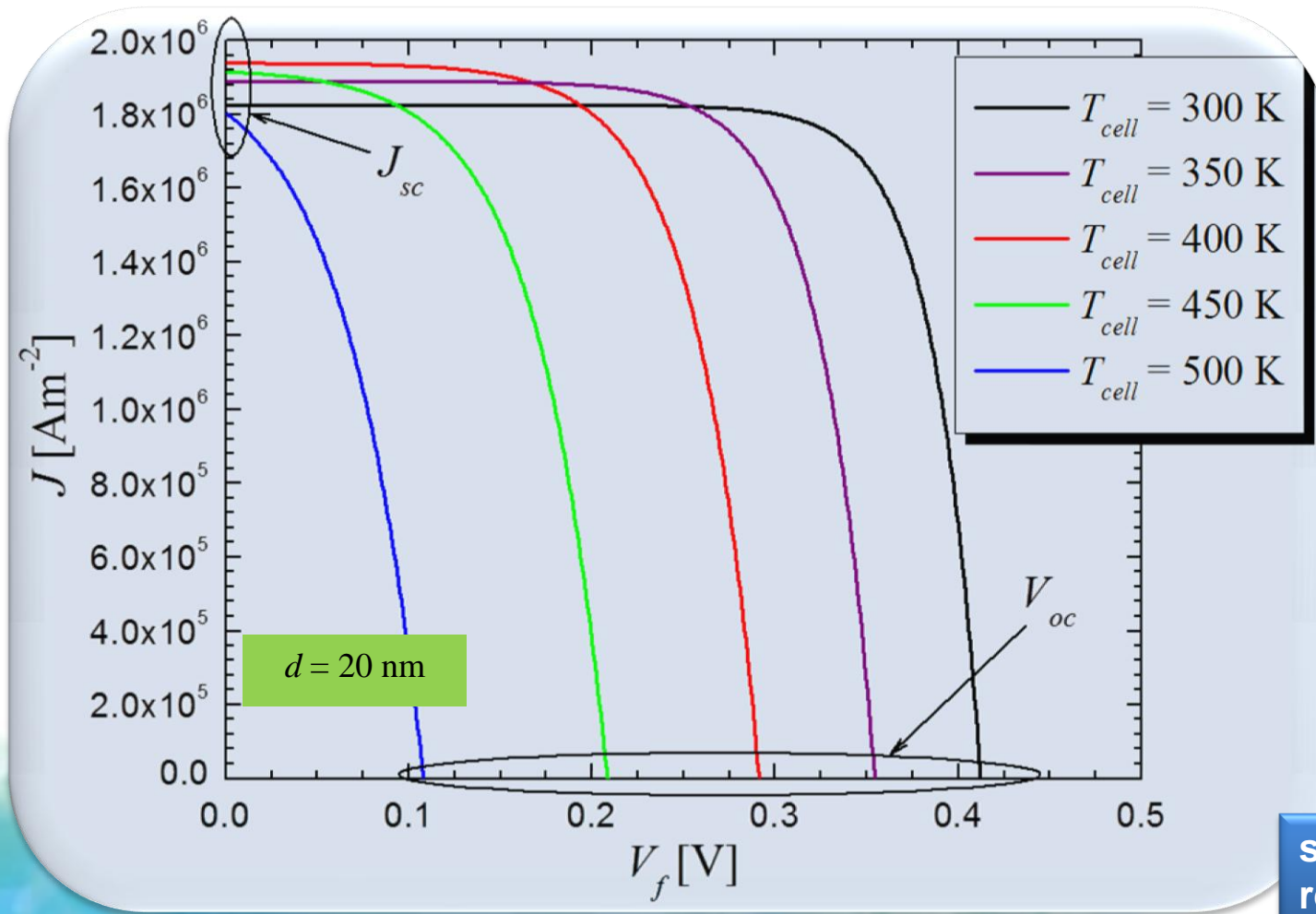
Performances à 300 K



$$\eta_c = \frac{P_m}{q_{cell}^{abs}}$$

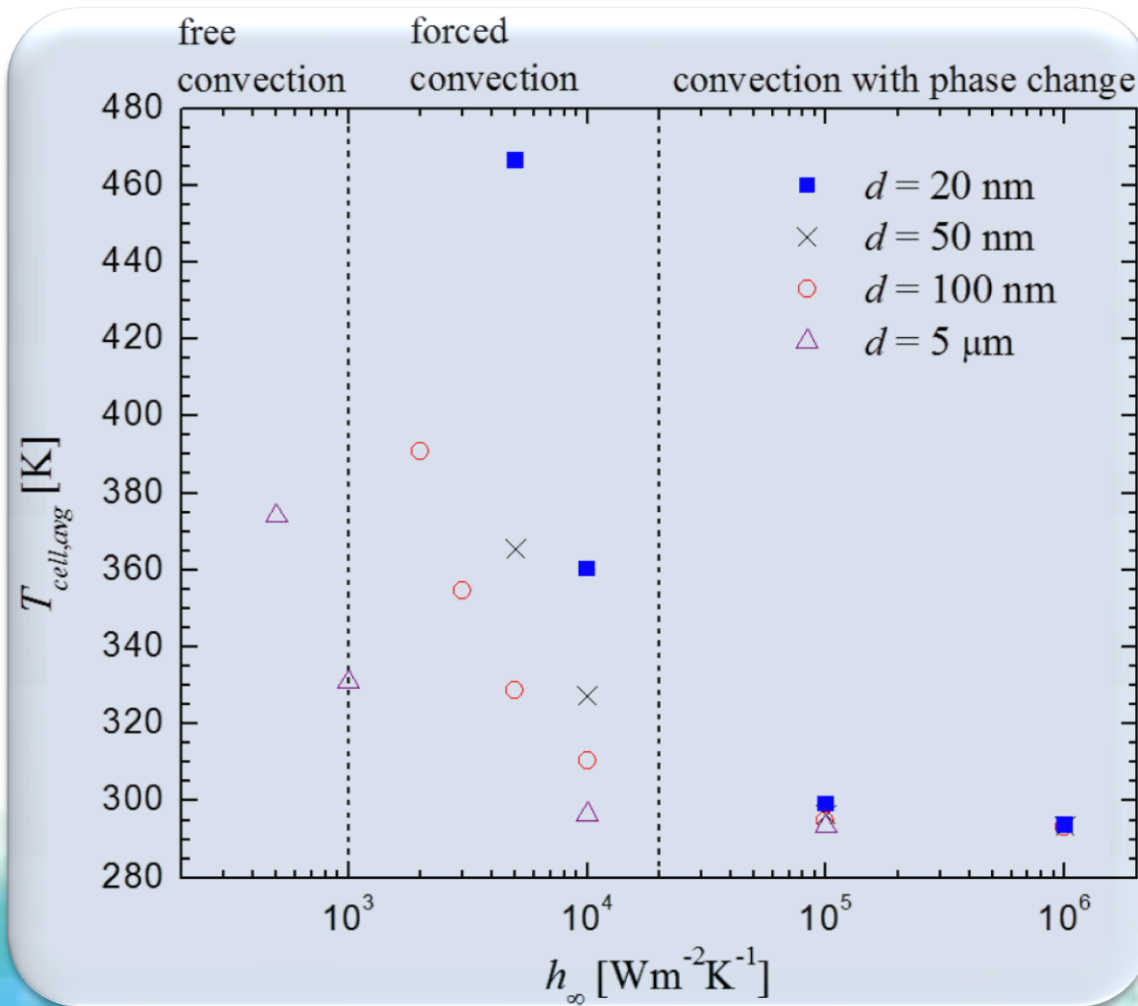
Cellules nano-TPV: impacts thermiques

Performances en fonction de la température



Cellules nano-TPV: impacts thermiques

Système de refroidissement requis




 système de
refroidissement ?

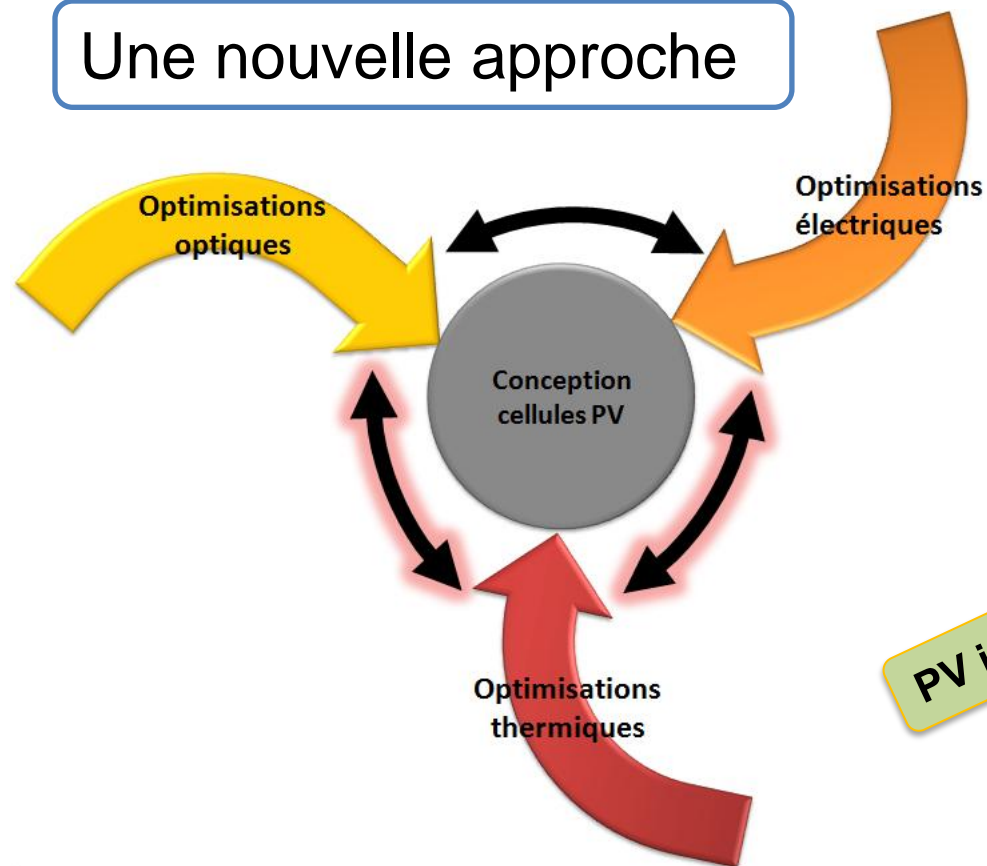

 source thermique


 conception


 optimisations

- rayonnement spectral champ proche émetteur (source thermique) récepteur (cellule PV)
- caractéristiques de la cellule

Une nouvelle approche



PV - Si

Thèse CETHIL
O. Dupré
(enc : R. Vaillon)

TPV

nano-TPV

PV couches minces

PV intégré

PV concentré

Thèse INL-CETHIL
R. Couderc
(enc : M. Lemiti – M. Amara)

Références

PV - cSi

Vaillon et al., IJHMT, 2006

Dupré, Amara, Vaillon, Prog. in Photovoltaics, in preparation, 2012

Nano-TPV

Francoeur, Mengüç, Vaillon, IEEE Trans. Energy Conv., 2011

Merçi de votre attention



Temps de discussion