



## Projet FORCO-PV

# Fortes concentrations pour la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire

**Laboratoire Procédés, Matériaux et Energie Solaire (PROMES) - UPR 8521**

A. Dollet, A. Perona, V. Goetz , A. Vossier, L. Pujol, E. Casenove

**Laboratoire d'Etudes Thermiques (LET) - UMR 6608**

K. Joulain, V. Ayel, Y. Bertin, M. Fénot

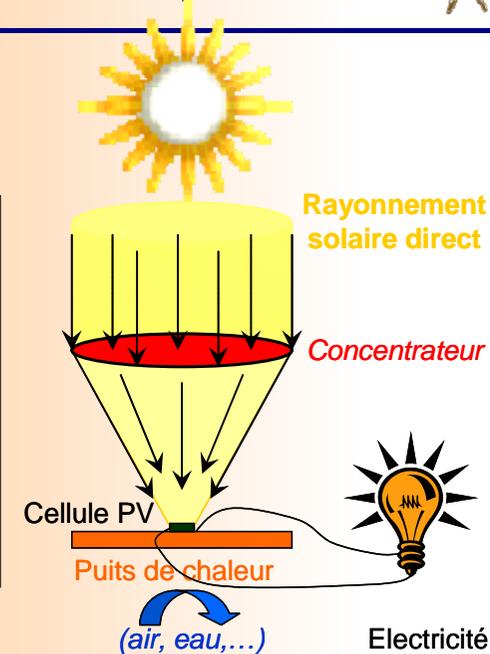
**Institut d'Electronique du Sud (IES) - UMR 5124**

A. Foucaran, Y. Cuminal, J. Podlecki, F. Pascal-Delannoy, P. Christol, J.B. Rodriguez

## 1- Introduction

### Rappel: conversion PV sous concentration (CPV)

Le courant électrique produit par une cellule PV est proportionnel au flux lumineux qu'elle reçoit. En concentrant  $X$  fois le flux solaire sur une cellule à l'aide d'un dispositif optique approprié (concentrateur parabolique ou lentille de Fresnel), on fait débiter un courant  $X$  fois plus important à la cellule.

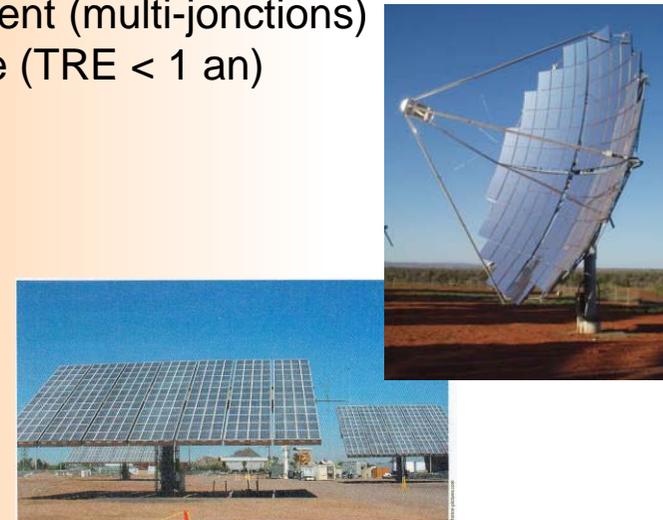


### Avantages

- 1- Surface de cellule nécessaire réduite d'un facteur  $X$  pour produire un courant donné
- 2- Possibilité d'utiliser des cellules chères mais à haut rendement (multi-jonctions)
- 3- Impact sur l'environnement inférieur à un système classique (TRE < 1 an)
- 4- Rendement plus élevé sous concentration

### Inconvénients

- 1- Dissipation chaleur localement + importante
- 2- Système de concentration & et de suivi du soleil nécessaire
- 3- Utilisation du seul rayonnement solaire direct
- 4- Technologie moins mature que le PV "classique"



## Cellules PV multijonctions (S-C III-V)

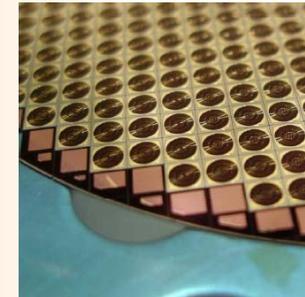
- GaInP/GaInAs
- GaInP/GaInAs/Ge (41.6%, théorique 63%)
- Empilement infini (théorique 86 %)

### Intérêt

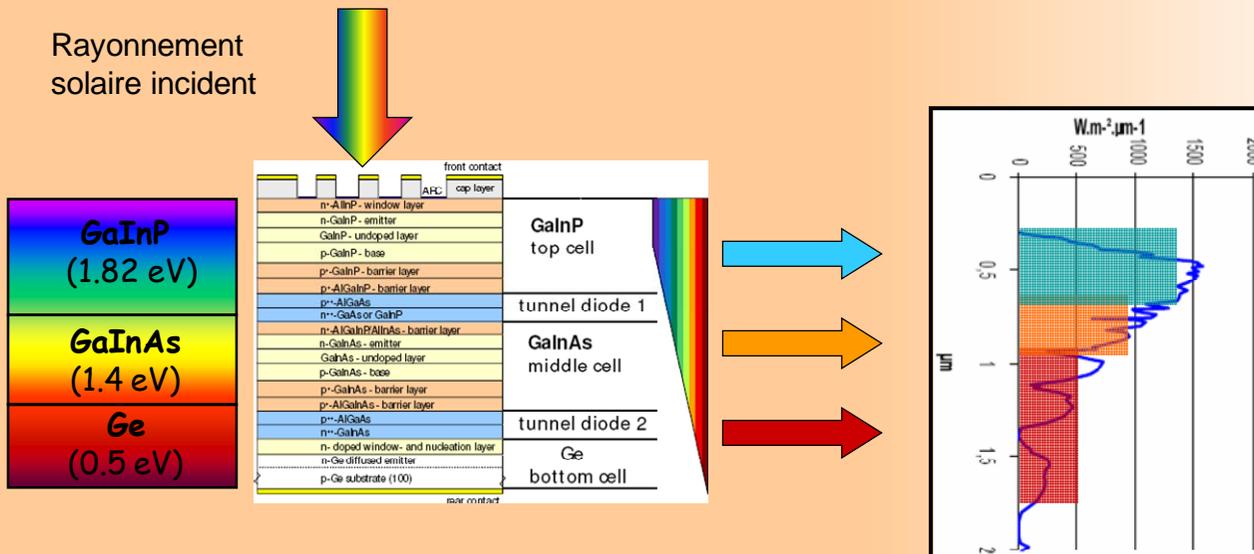
Plus large utilisation du spectre solaire

### Inconvénients

Coût, complexité, connexion cellules en série



Rayonnement solaire incident



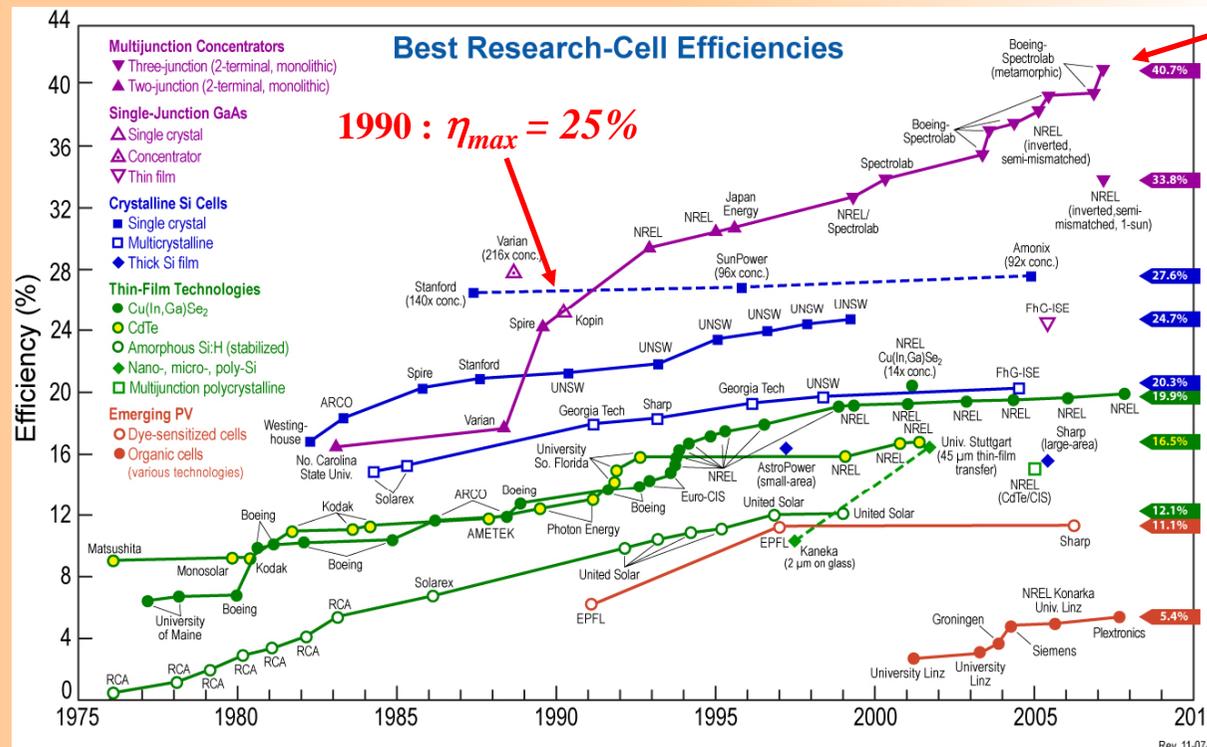
## Des progrès spectaculaires

Hier (1990) :

- Systèmes avec des cellules au Si
- Peu de compagnies industrielles
- Coût de l'électricité élevé
- Qqs systèmes ou centrales en démo
- Concentration : 100 à 150 X

Aujourd'hui (2008) :

- Systèmes avec cellules 3J à haut  $\eta$
- Une quarantaine d'industriels
- Coût système: 4-6 €/Wc
- 19 MWc installés
- Concentration : 500 X



(Source: NREL)



## Demain (2020):

- Systèmes avec cellules 4 à 6J à  $\eta=50\%$
- ?? Industriels
- Coût système < 1€/Wc
- Plusieurs GWc installés
- Concentration > 1000X

## Objectif du projet FORCO-PV

Etude de la conversion PV du rayonnement solaire *très fortement concentré* (>> 1000 X) par des cellules solaires III-V à haut rendement en GaAs ou multijonctions.

## Nombreux problèmes posés:

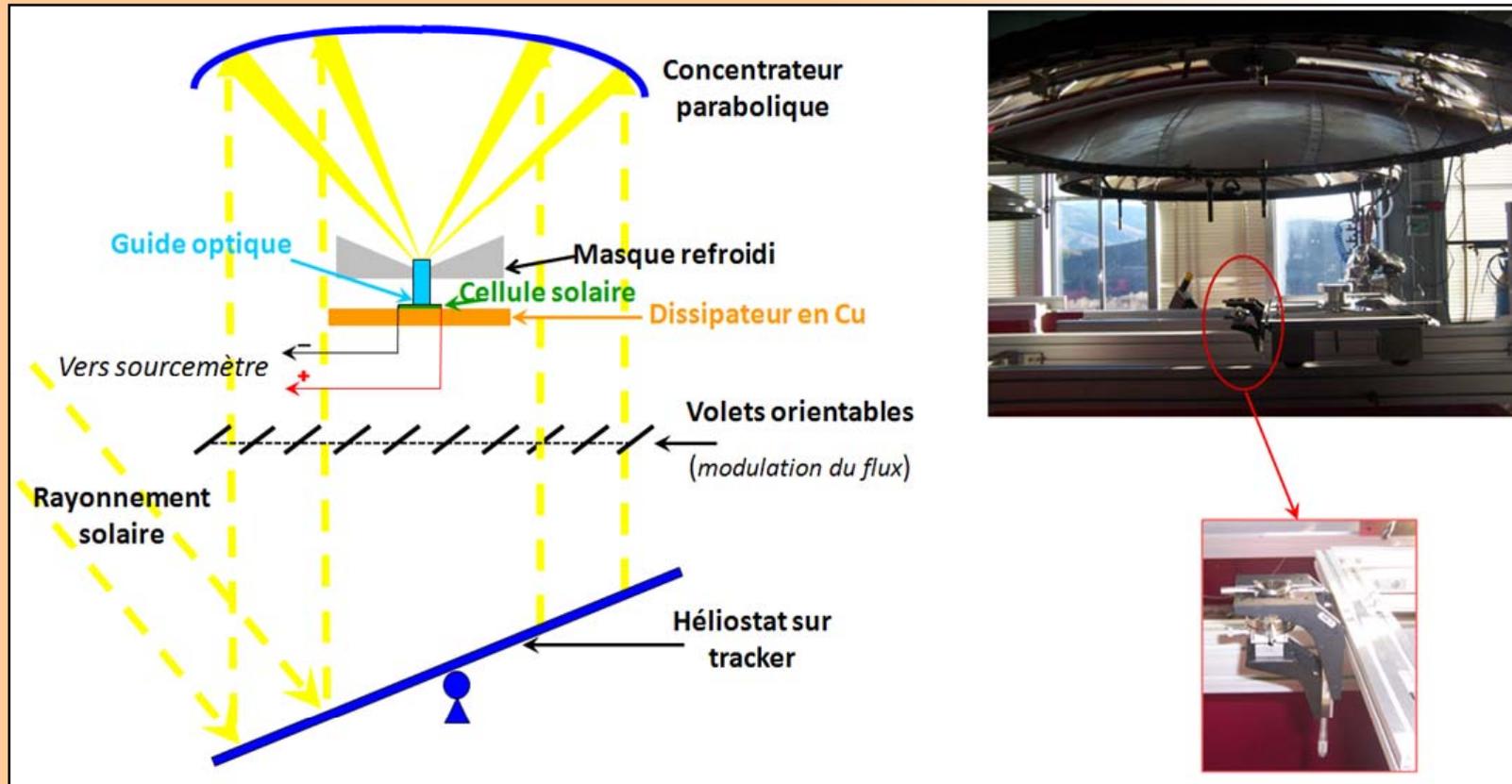
- Comportement des cellules
- Dissipation de chaleur
- Optique adaptée
- etc

## Principaux axes de recherche

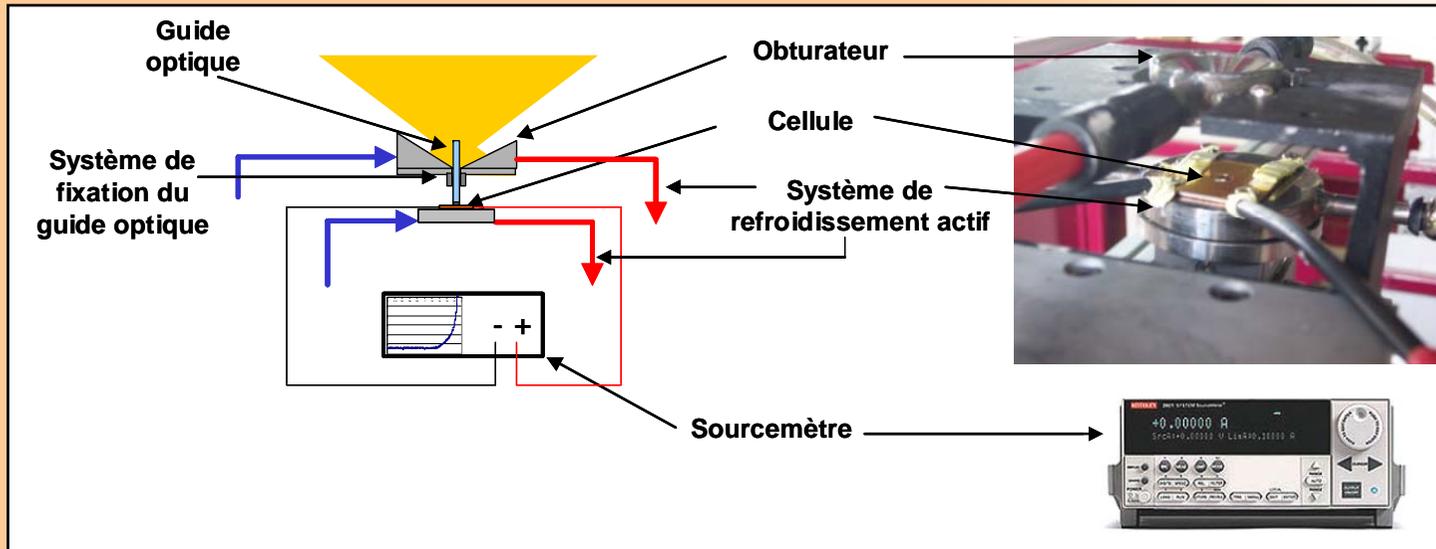
- 1- Caractérisation in situ de cellules soumises à de très hauts flux solaires
- 2- Réalisation de cellules PV adaptées aux très fortes concentrations
- 3- Etude thermique des dispositifs (refroidissement)
- 4- Optimisation énergétique de systèmes CPV sous forte à très forte concentration

## 2- Résultats

### 2.1 Test de cellules et modules sous concentration



**Caractérisation indoor de cellules jusqu'à 10000 X**



Pyrhéliomètre

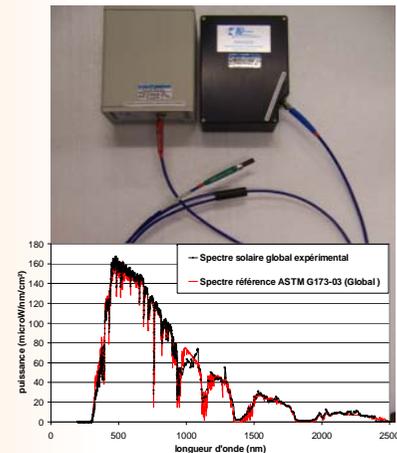


Puissancemètre

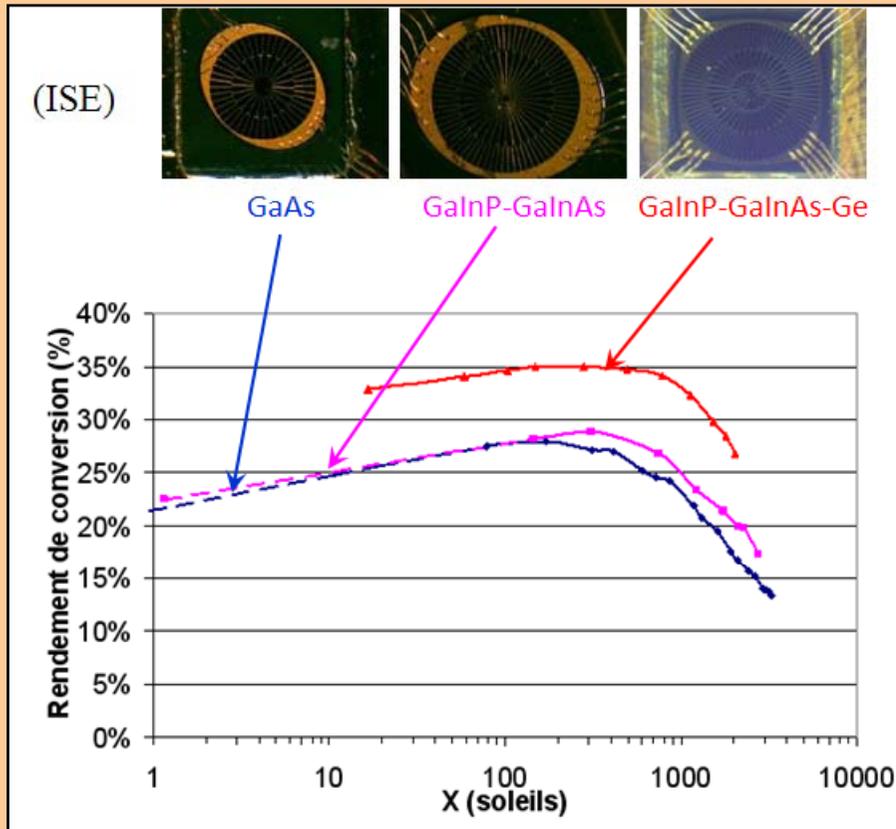
## Caractérisation indoor de cellules jusqu'à 10000 X



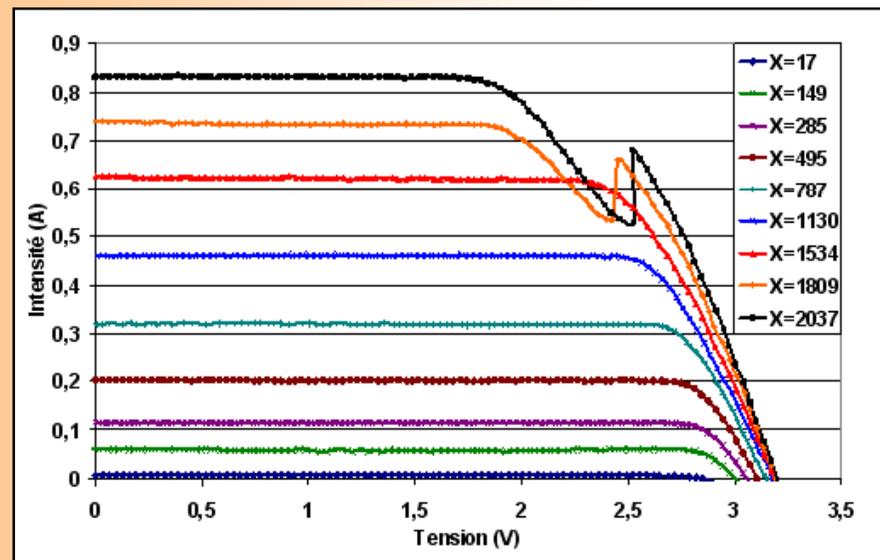
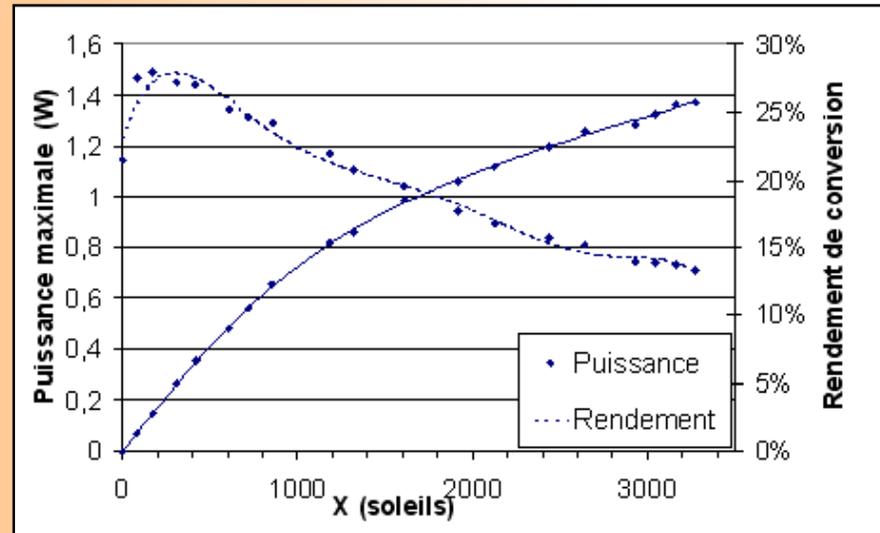
## Caractérisation outdoor de cellules & modules



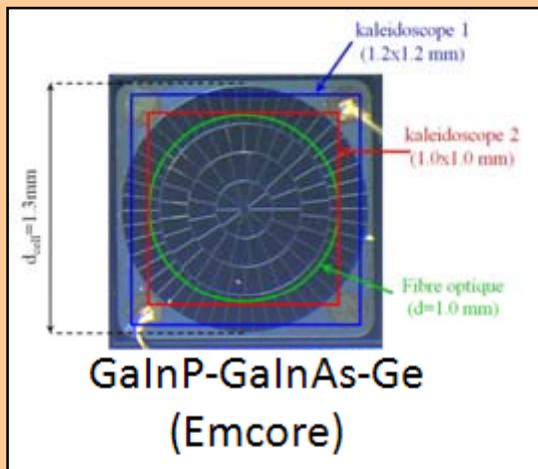
Spectroradiomètre



**Caractérisation sous illumination complète jusqu'à 4000 soleils**



Phénomène (réversible) de rupture de jonction tunnel dans GaInP/GaInAs/Ge

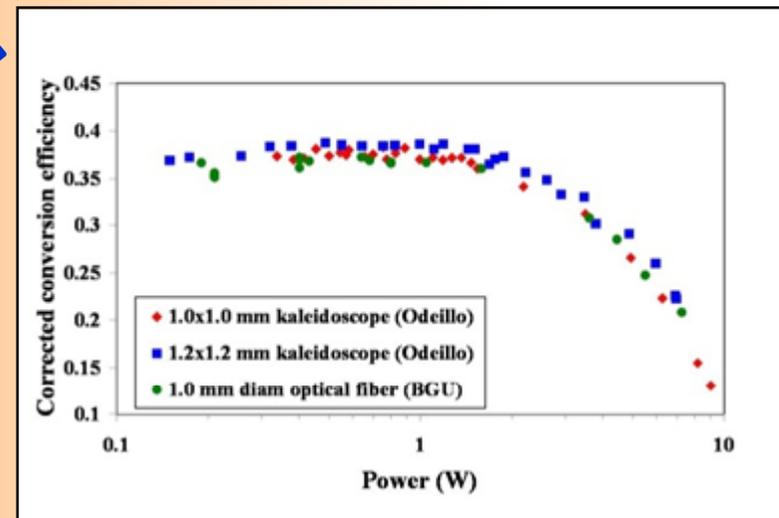
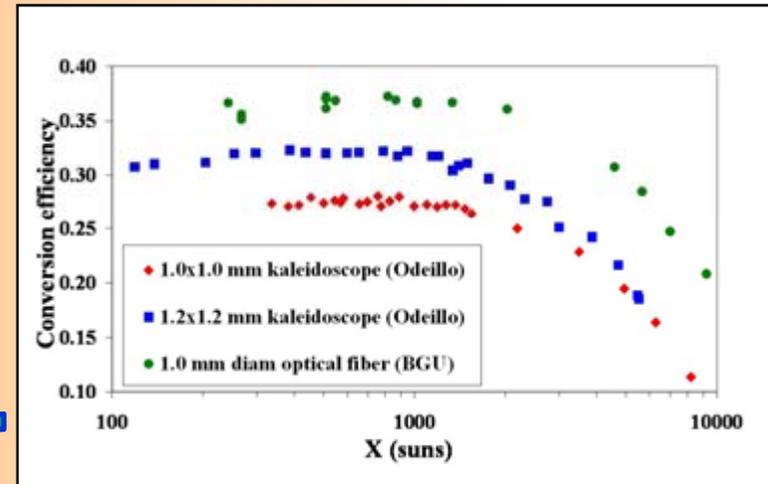


**Tests d' irradiation partielle  
(jusqu'à 9000 soleils)**

$$S_{\text{cell}}/S_{\text{irrad}}$$

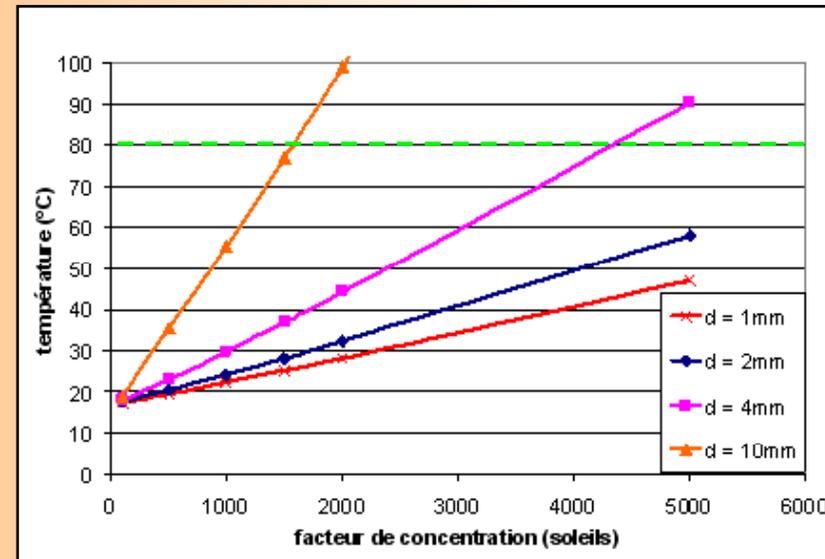
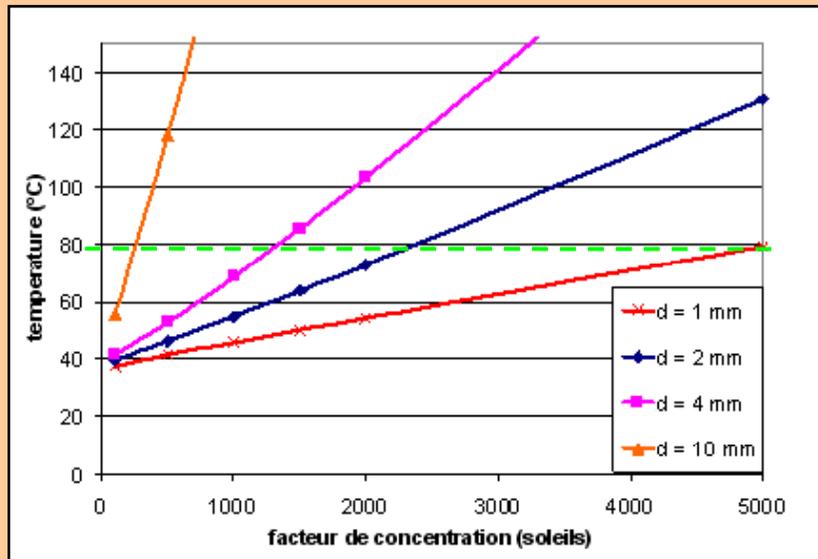
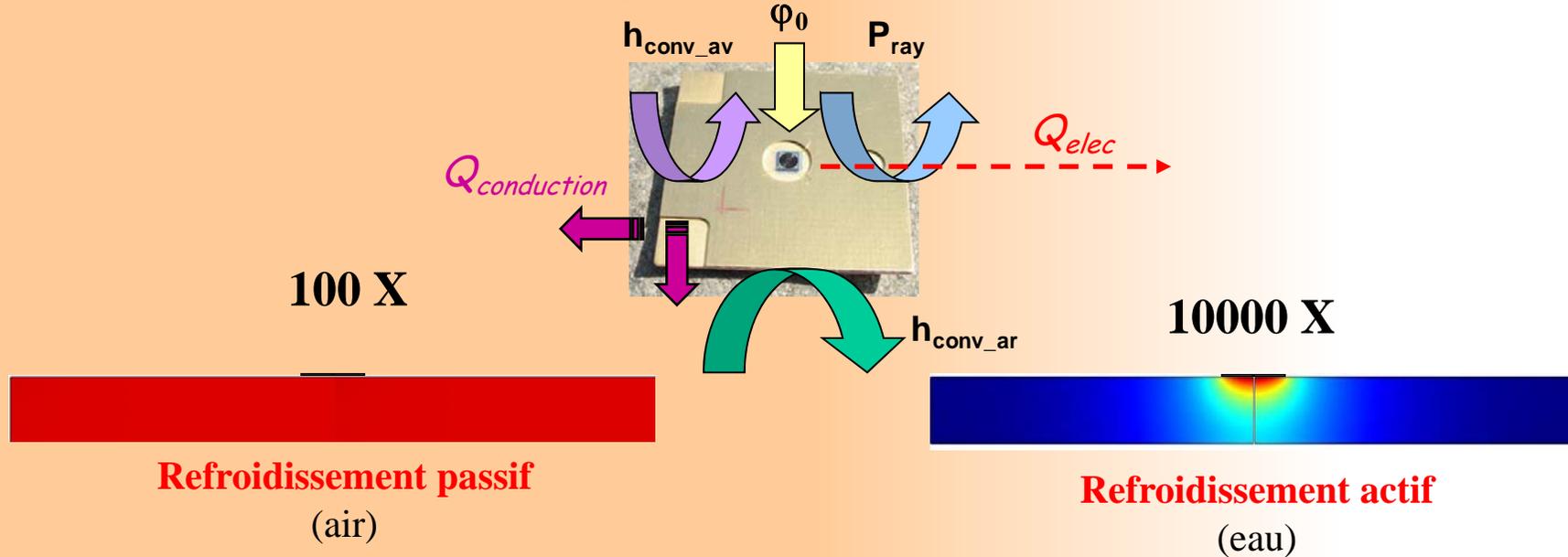
$$G = I_{\text{cc}}/P_{\text{solaire}}$$

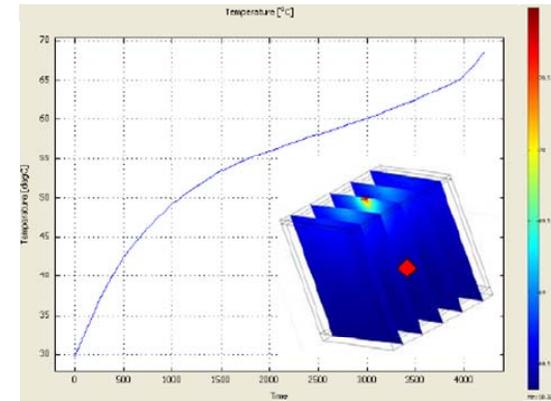
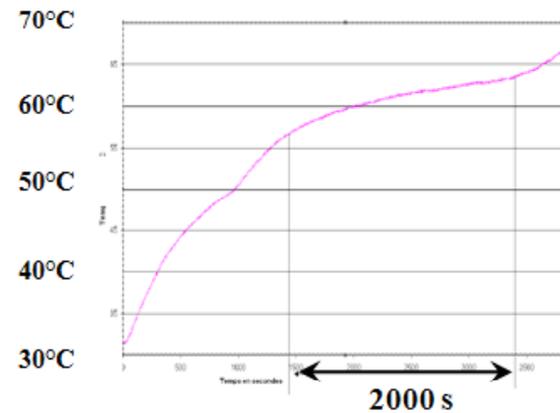
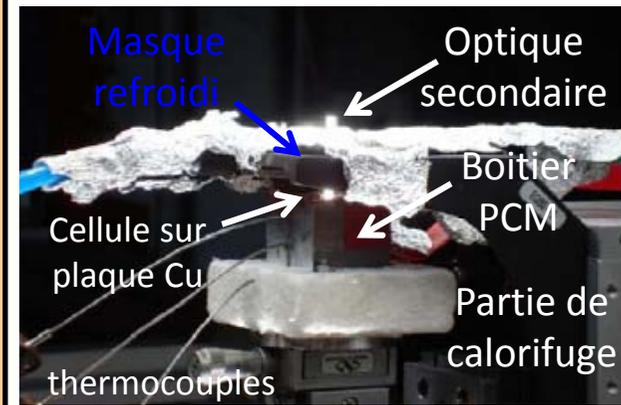
*Normalisation*



→ *Pas de rupture de jonction tunnel*

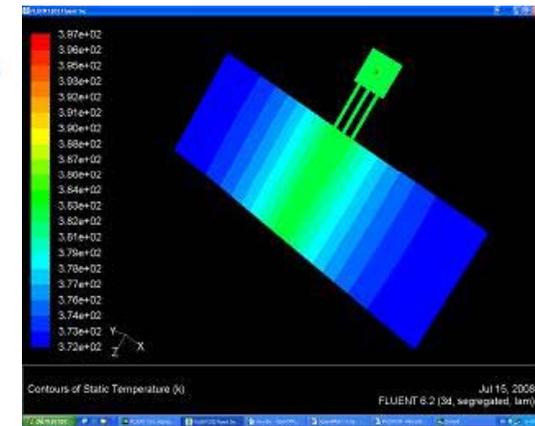
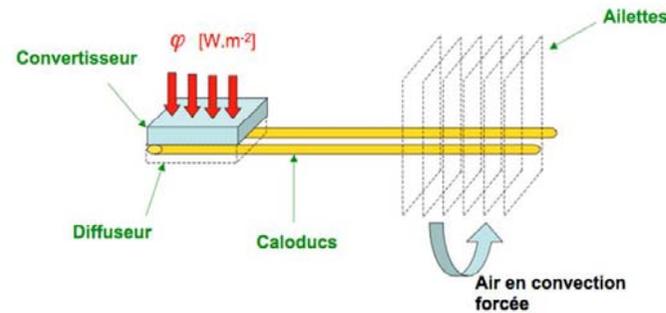
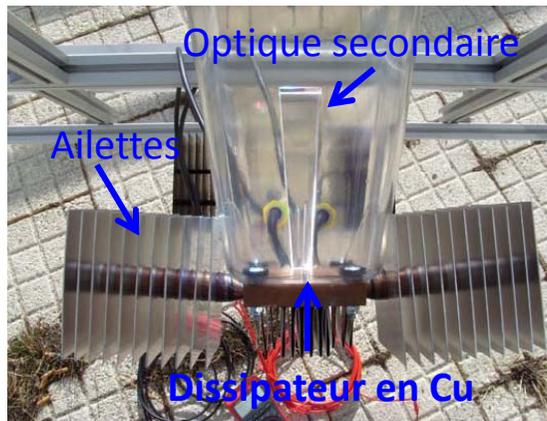
## 2.2 Test et simulation de dispositifs de refroidissement





PCM

## Tests préliminaires à 500 X



Caloduc

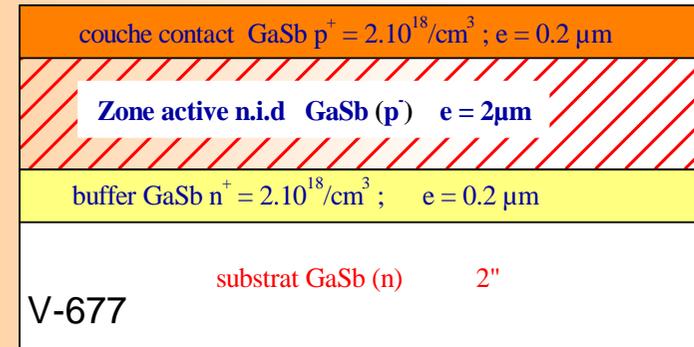
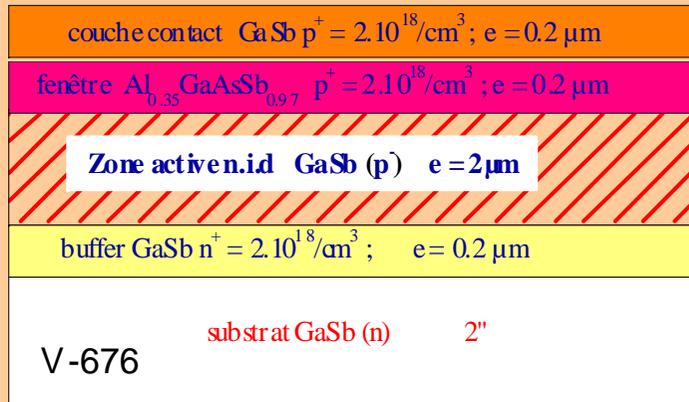
## Systemes passifs "à changement de phase"

*Solutions envisagées pour petites cellules ou moyennes concentrations*

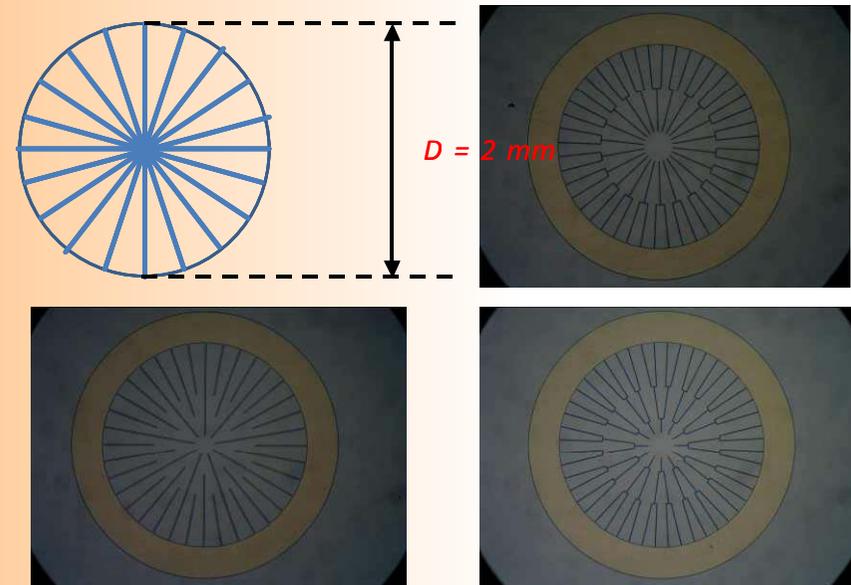
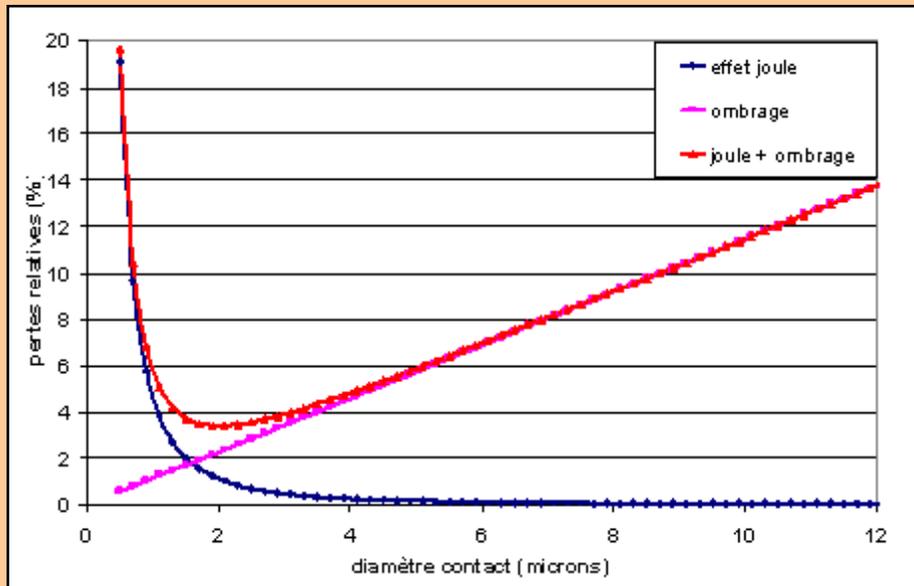
*Réunion du Programme interdisciplinaire ENERGIE - Nantes - du 16 au 18 novembre 2009*

## 2.3 Réalisation de cellules adaptées aux fortes concentrations

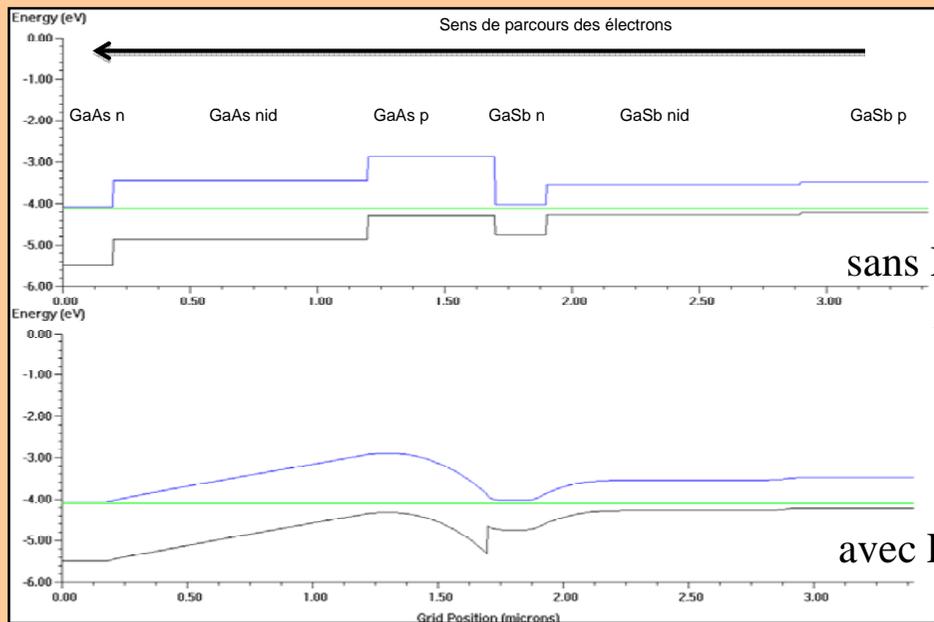
### 1- Cellules GaSb (avec et sans fenêtre AlGaAsSb) réalisées par MBE



### 2- Réalisation de grilles adaptées aux fortes concentrations



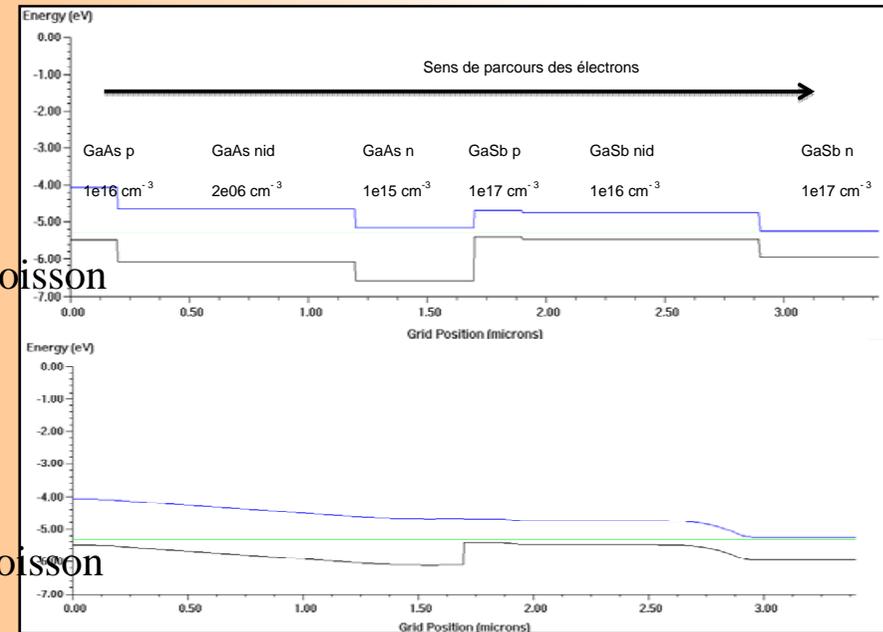
### 3- Réalisation de cellules tandem GaAs/GaSb



sans Poisson

avec Poisson

np



pn

*Jonction tunnel ou inversion des types de dopage pour réduire la barrière entre le GaSb n et le GaAs p*

**Simulation du raccordement de bande entre GaAs et GaSb, à l'aide du logiciel simwindows [Winston 1995]**

## 3- Conclusions

### 1- Cellules commerciales III-V (prévues pour fonctionner à $X < 500$ ) **soumises à $4000 < X_{\max} < 9000$ !**

- Puissance délivrée augmente en dépit de la baisse de rendement à très fort X
- Pas de dégradation visible après irradiation de quelques mn à 1h

*Tests de longue durée à effectuer*

### 2- Pas d'échauffement prohibitif des cellules solaires

- Systèmes passifs à changement de phase (caloduc, PCM) pour petites cellules ou concentrations pas trop fortes.
- Systèmes actifs pour très fortes concentrations et cellules de plus grandes dimensions

*Systèmes à développer (actif) ou optimiser (passif)*

### 3- Réalisation de cellules optimisées pour les fortes concentrations (MBE)

- Structures GaSb à tester (décembre)

*Structures tandem GaSb/GaAs à réaliser*

***Le développement de systèmes CPV commerciaux opérant à  $X \gg 1000$  paraît réaliste.***