



I N S T I T U T
P H O T O V O L T A Ï Q U E
D ' I L E - D E - F R A N C E

" Le photovoltaïque : avancées en cours"

Daniel Lincot

Directeur Scientifique, IPVF



iDées

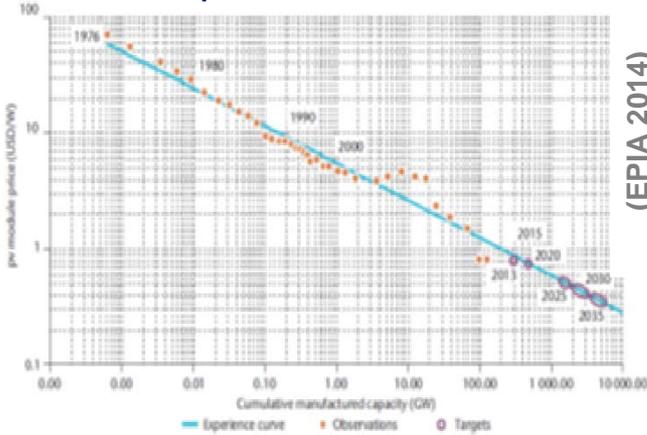
Groupe énergies renouvelables et stockage de 4 et
10 Octobre 2016
IFP Rueil Malmaison



Fondation Tuck

Etat des lieux

↘ du prix des modules

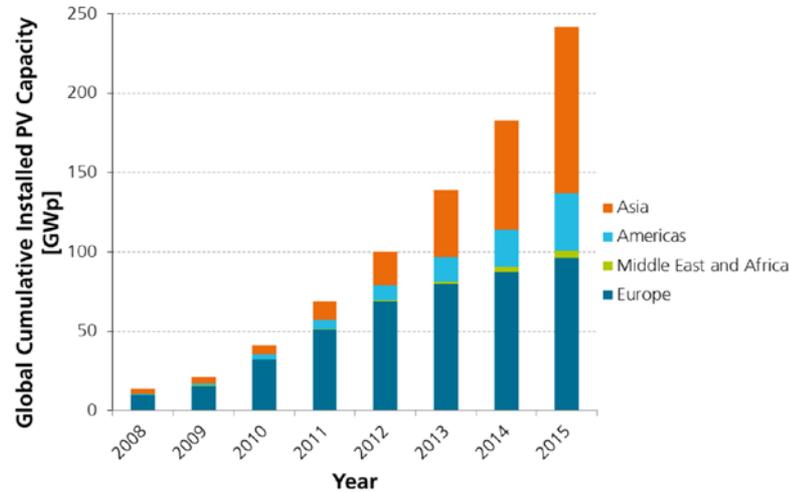


(EPIA 2014)

Politiques
+ de Soutien +

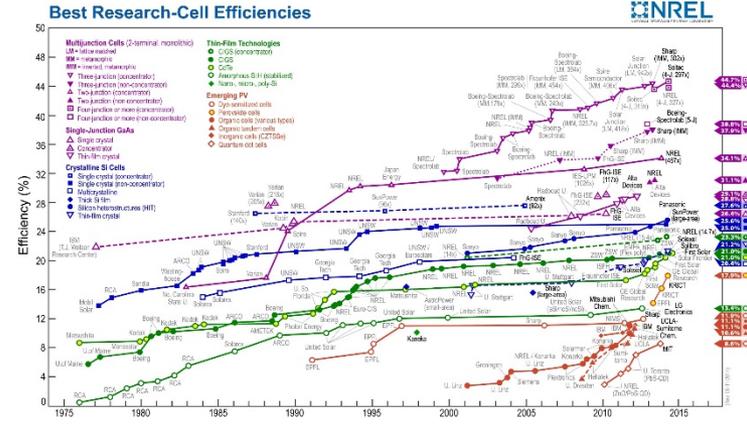


Développement du marché



Fraunhofer 2016

↗ rendement des modules



NREL

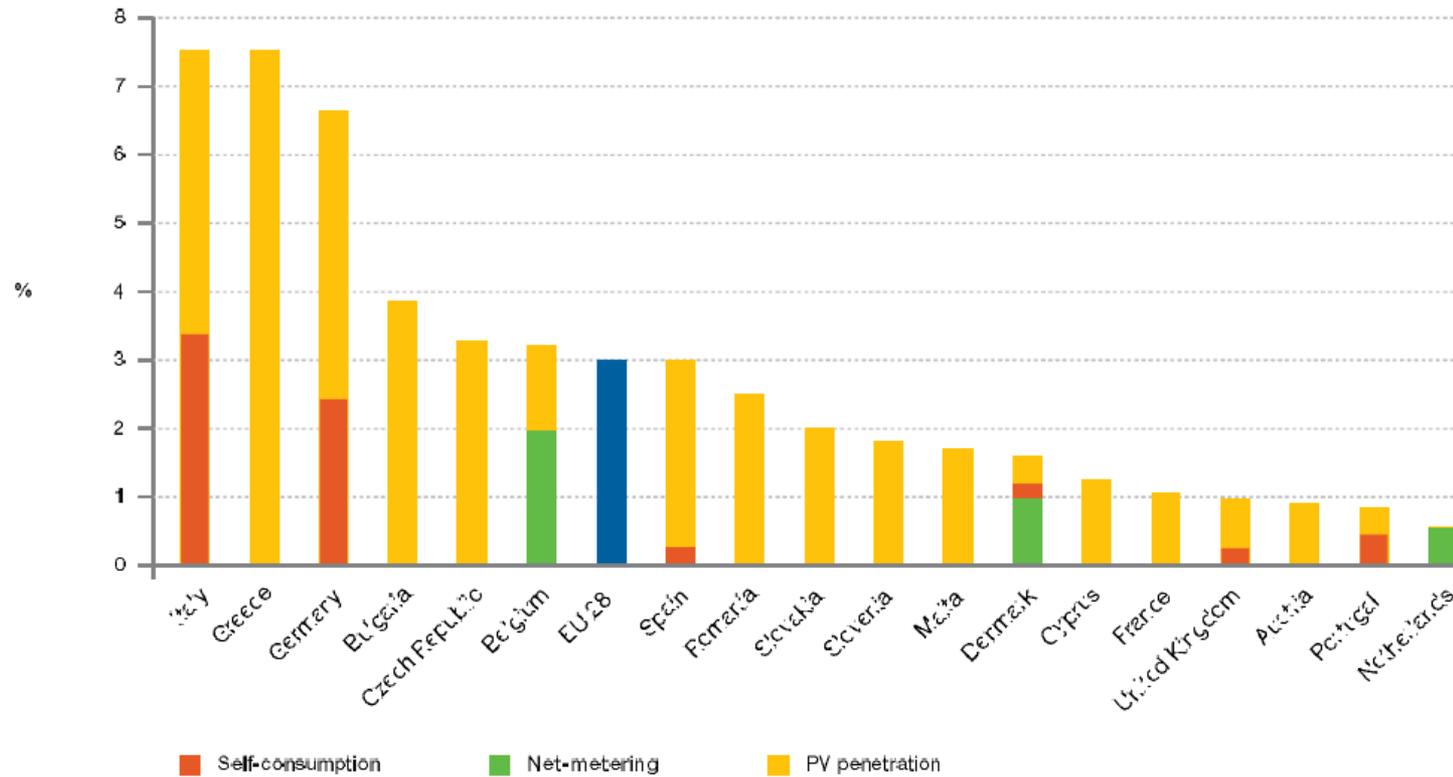


Figure 28 - PV contribution to the electricity demand in the EU 28 in 2013

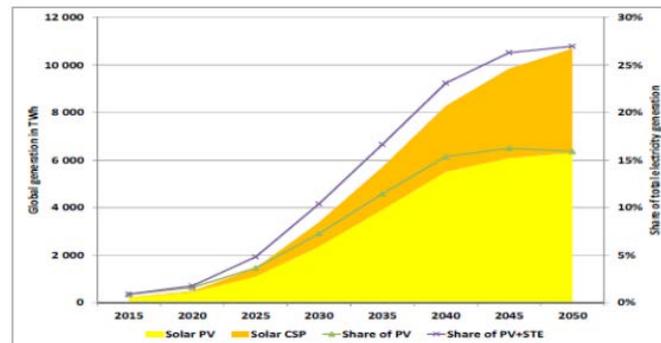
Source :European Photovoltaic Industrial Association 2014

- Le LCOE actuel est de 60-120 \$/MWh (hors coûts système électrique)
- Cible compétitivité pays non OCDE : ~ 65\$/MWh
- Cible compétitivité pays OCDE : ~ 45\$/MWh

Scenario AIE hi-Ren

Limitation +2°C

2050 : 4600 GW électriques
16% de la production mondiale



Besoins d'efforts de Recherche importants

L'IPVF en Bref



150

MILLIONS €
DE BUDGET DE
LANCEMENT

200

CHERCHEURS
A TERME

7 800

M² DE LOCAUX DEDIES



Le Positionnement

Recherche amont pour les futures générations
de dispositifs
Ancrage industriel fort

Les Membres Fondateurs

SAS IPVF créée en avril 2014



Un Institut pour la Transition Energétique

Convention signée le 29 octobre 2013





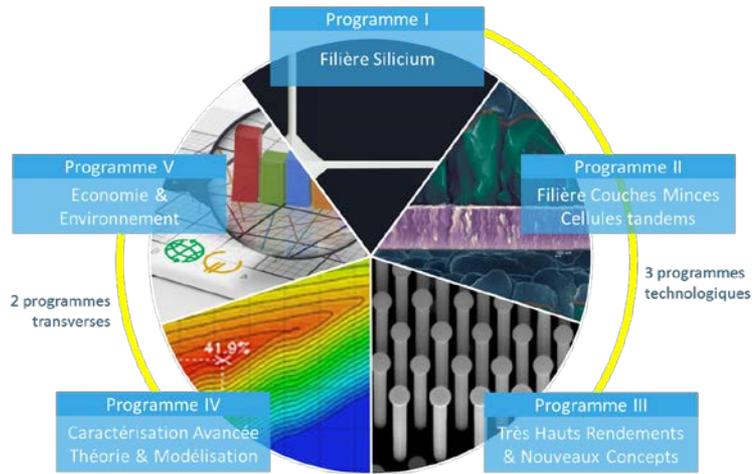
INSTITUT
PHOTOVOLTAÏQUE
D'ÎLE-DE-FRANCE



- Devenir l'un des principaux centres mondiaux de recherche, d'innovation et de formation sur le photovoltaïque
- Fédérer les efforts de recherche d'industriels actifs sur le marché et d'académiques porteurs de compétences au niveau mondial
- Se positionner sur la recherche amont pour les futures générations de dispositifs avec un ancrage industriel fort.

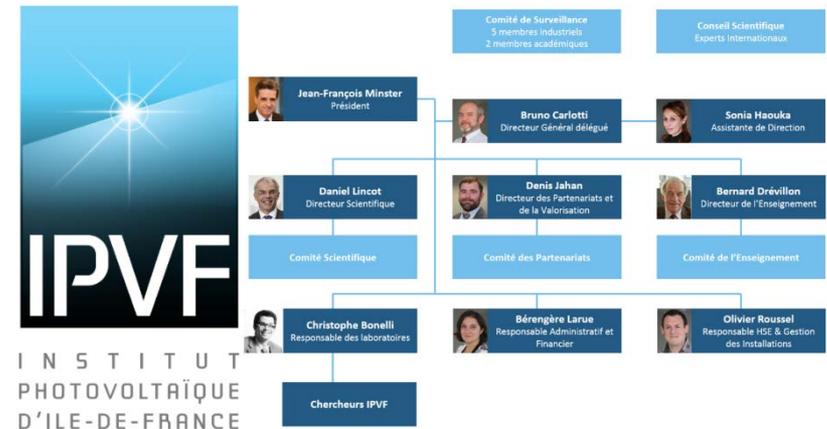
Les moyens

Un programme scientifique



Une plateforme de recherche expérimentale

Une communauté de chercheurs



Une organisation partagée

La Bâtiment IPVF



7 800
M² DE LOCAUX



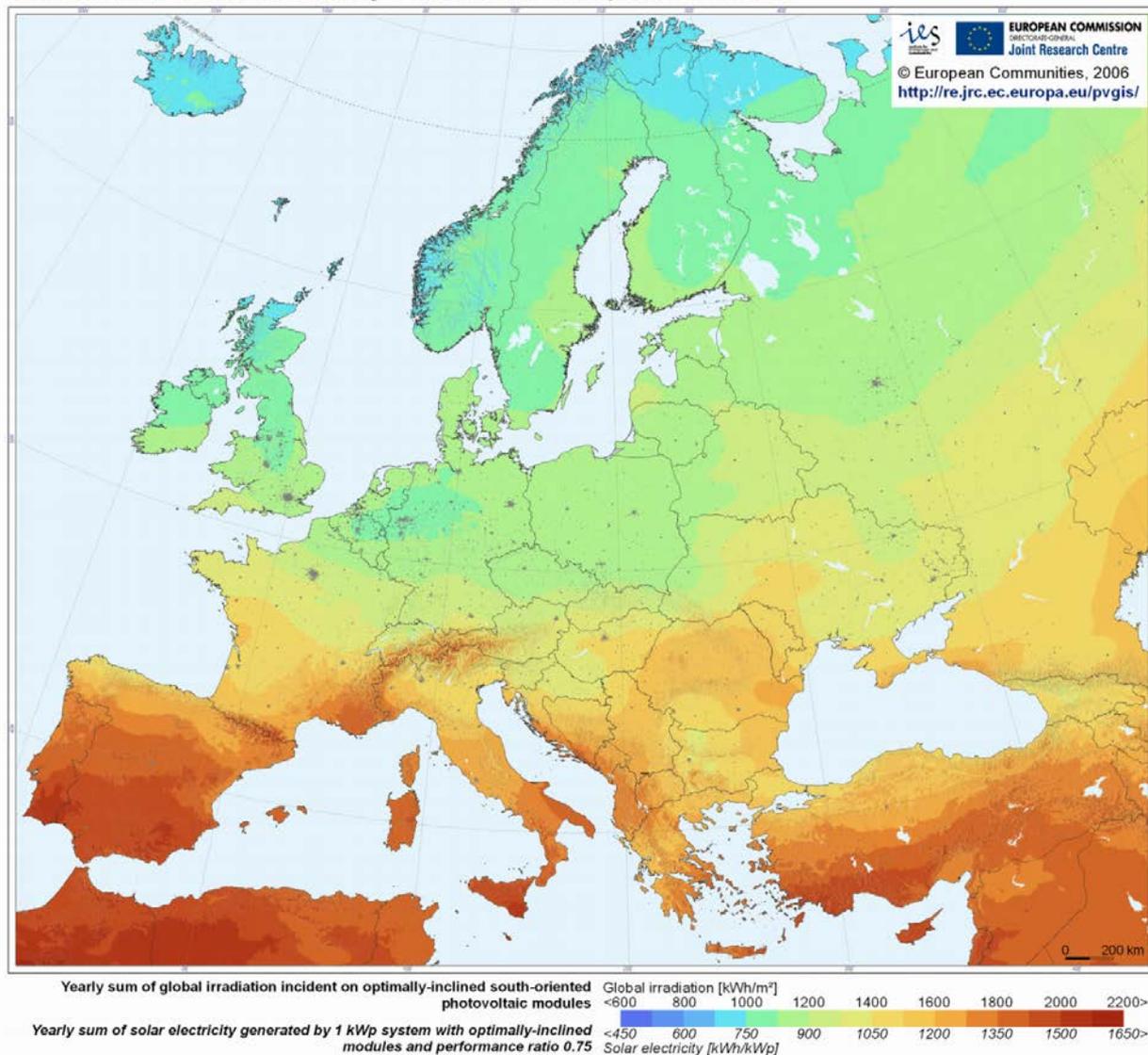
200
BUREAUX

4 000
M² DE LABORATOIRE



La ressource primaire

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

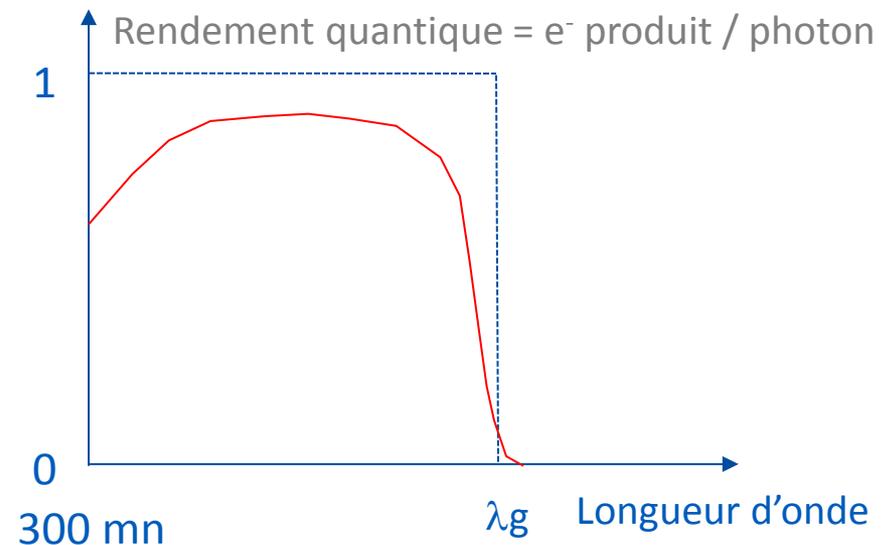
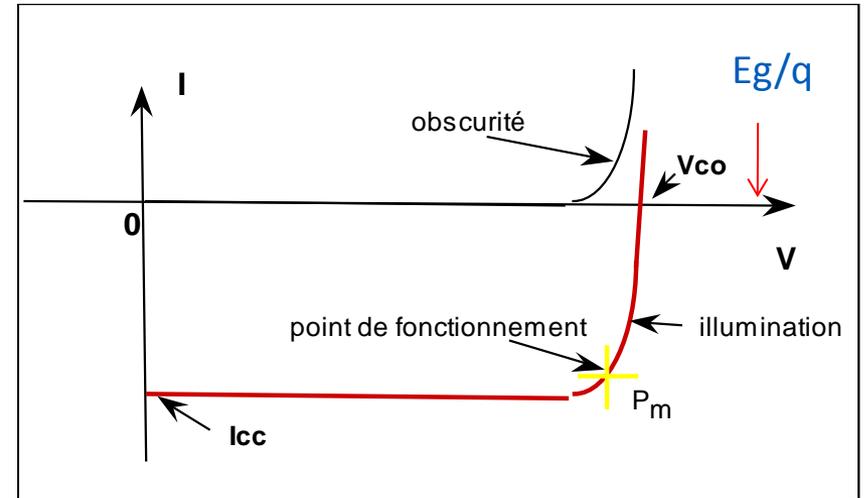
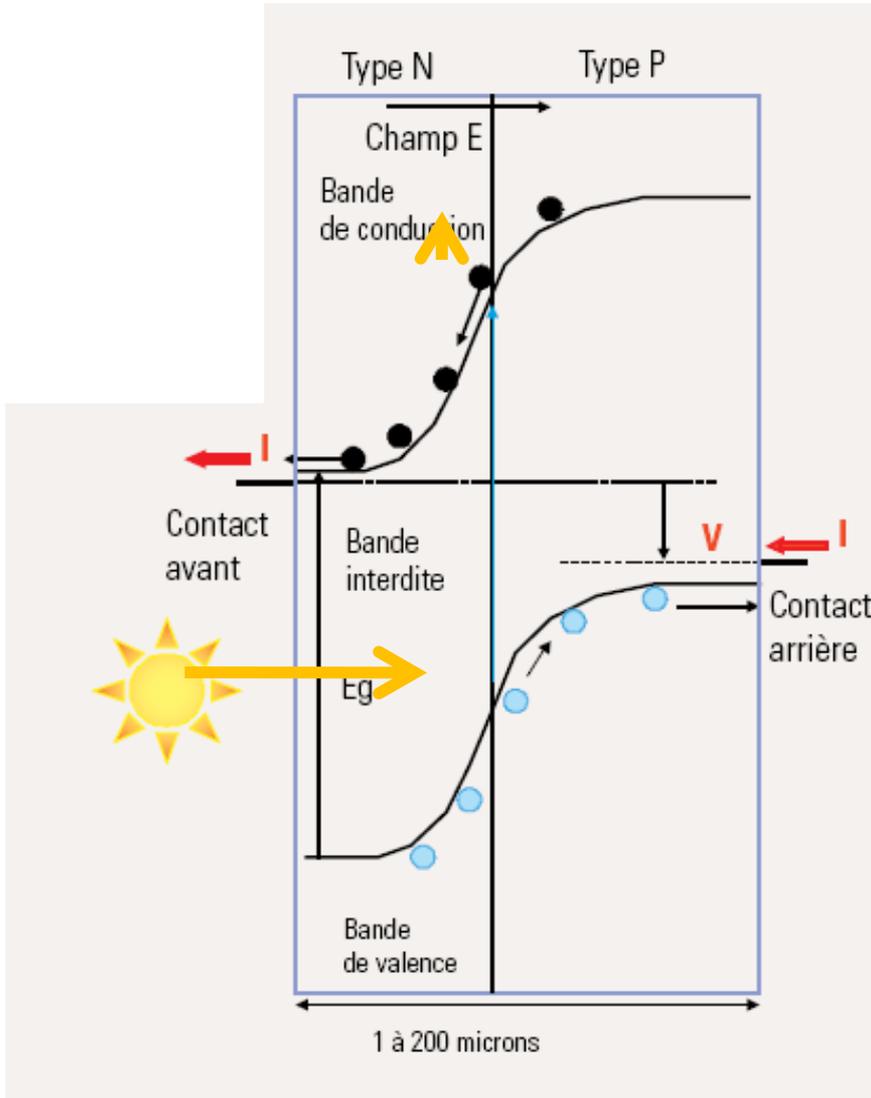


Le principe de la conversion photovoltaïque

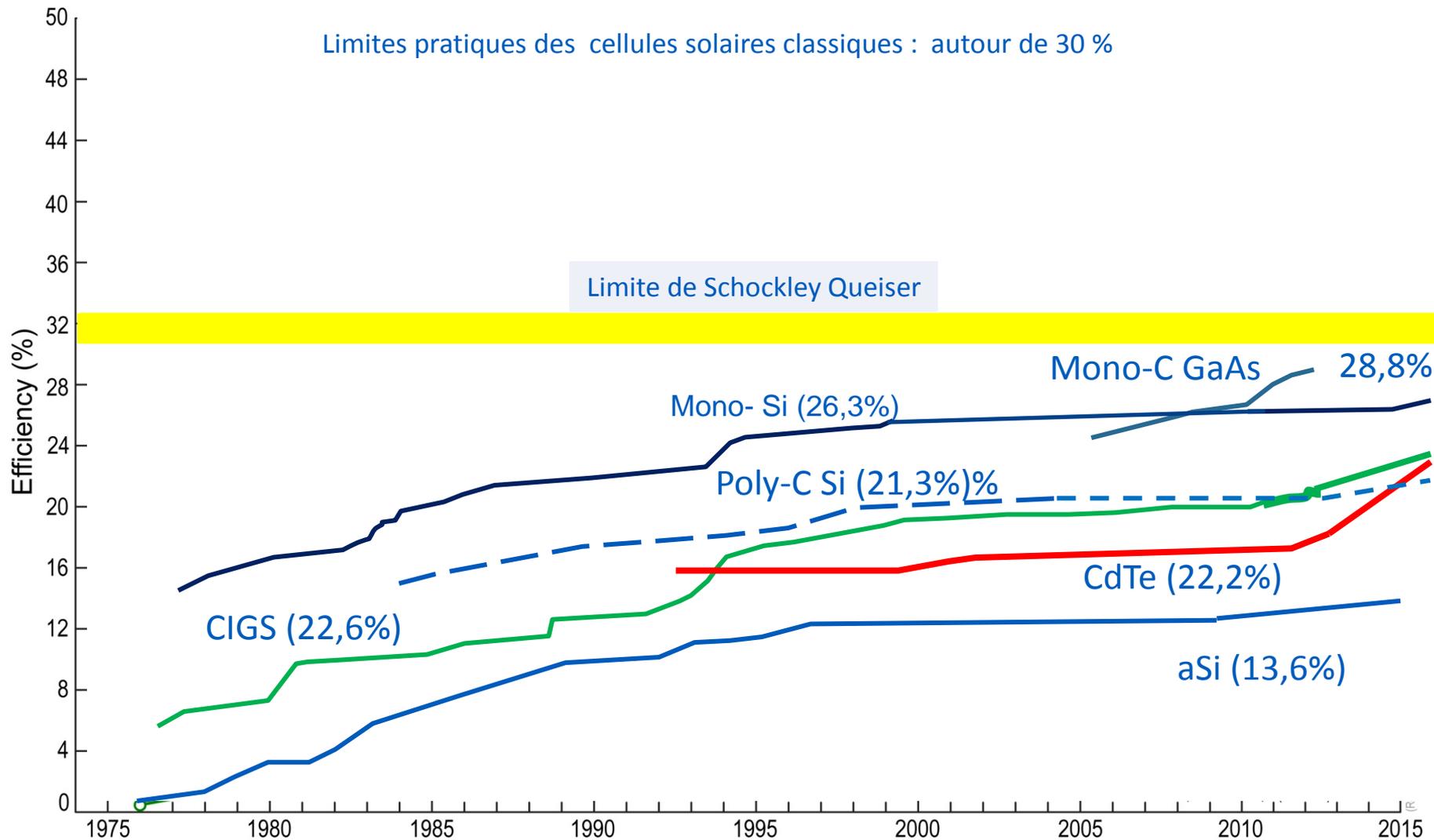
Si dopé P (B)

Si dopé N (P)

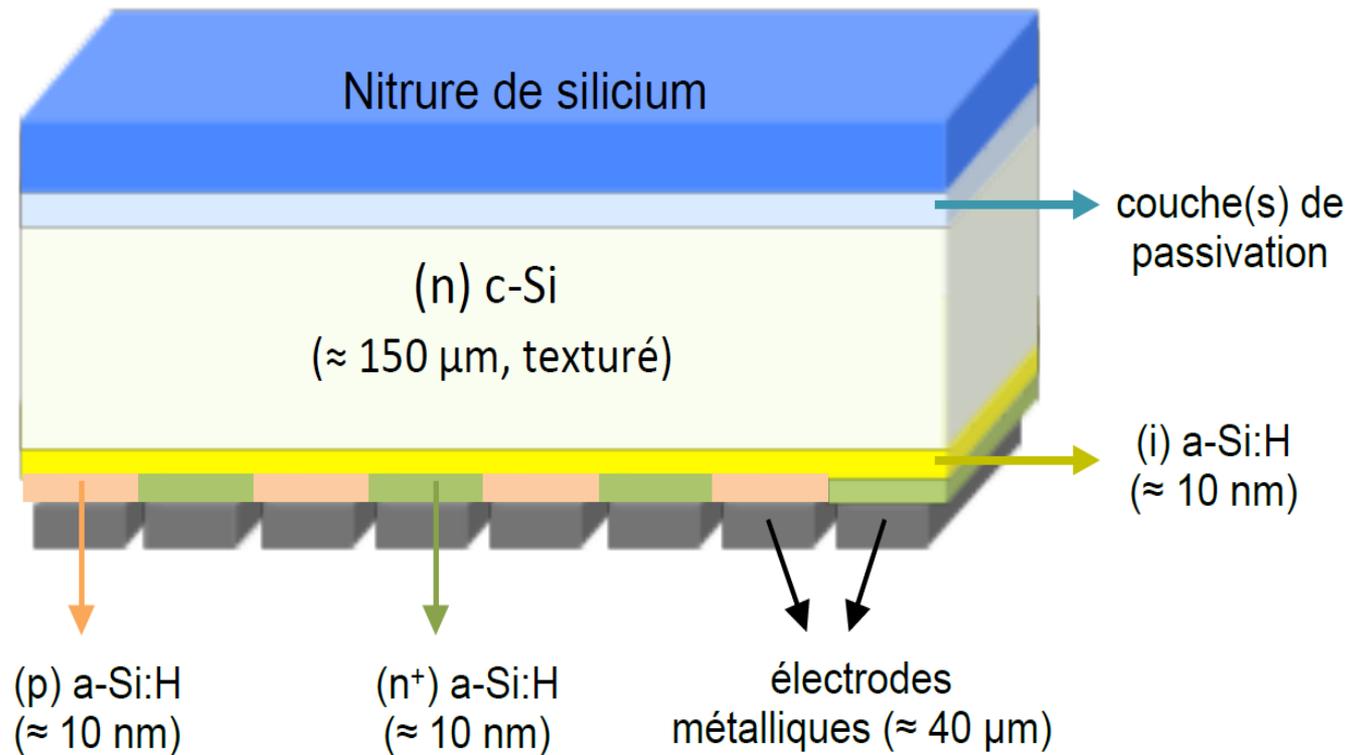
$$I = I_0 [\exp (qV/nkT) - 1] - I_L$$



Evolutions comparées des rendements



Structure des cellules record au silicium

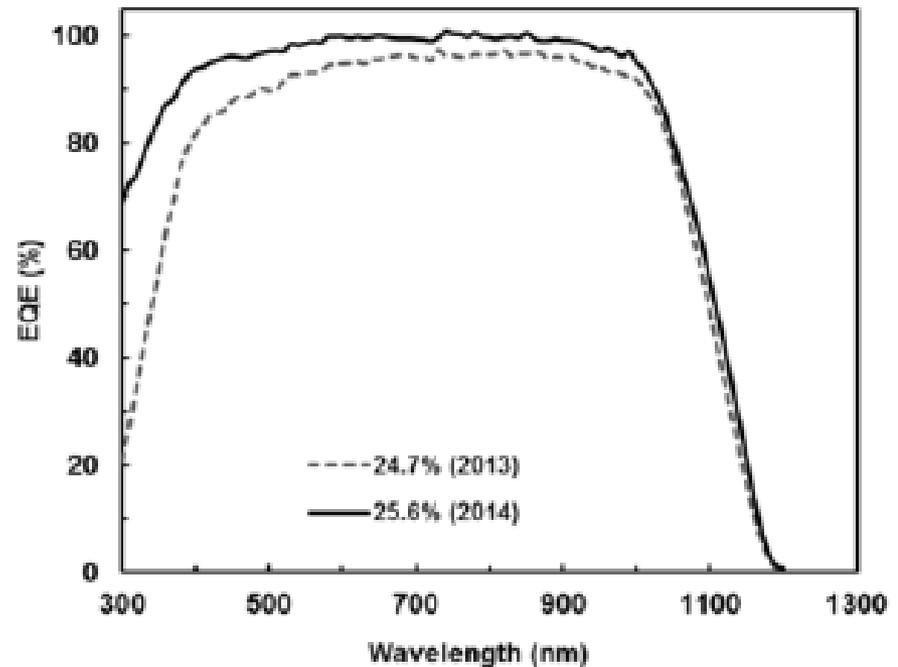


Achievement of More Than 25% Conversion Efficiency With Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cell

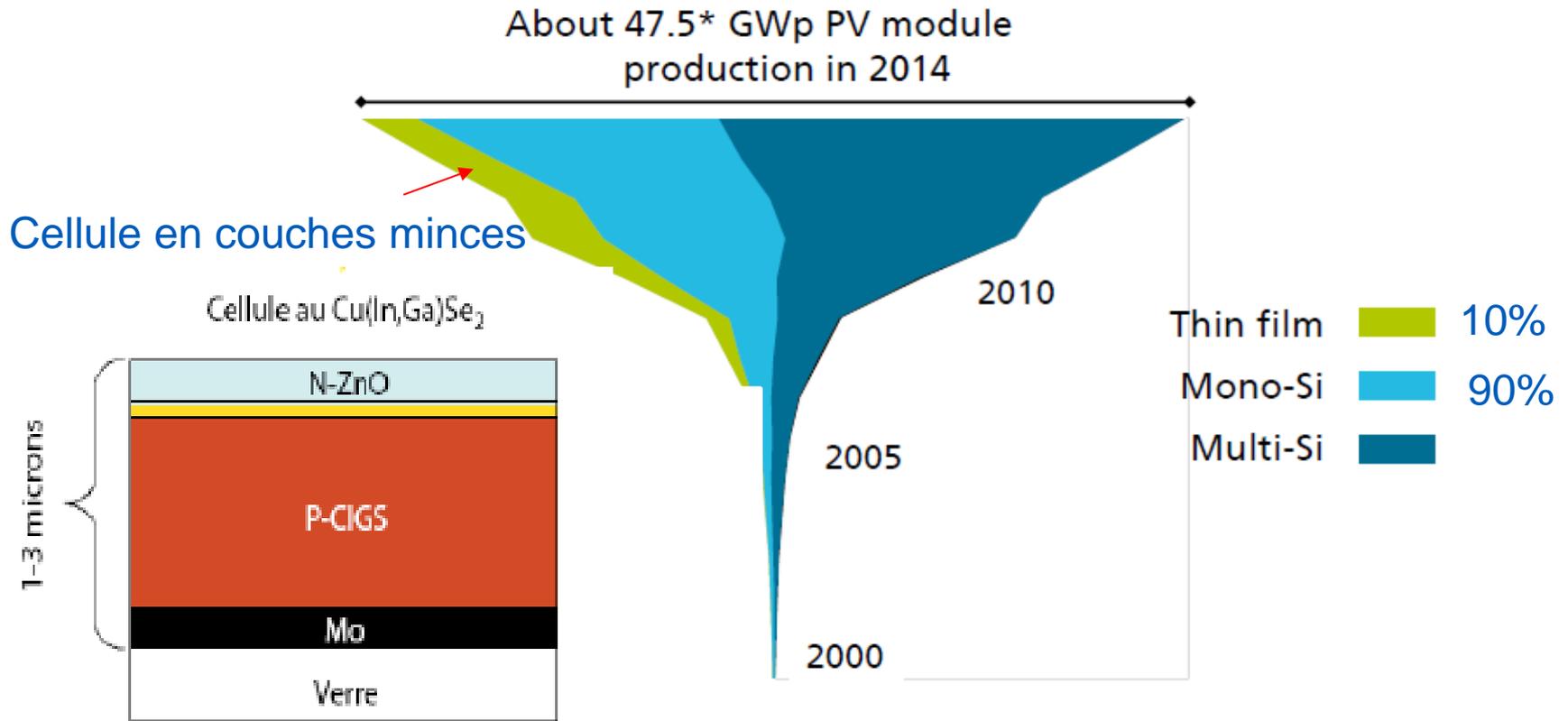
Keiichiro Masuko, Masato Shigematsu, Taiki Hashiguchi, Daisuke Fujishima, Motohide Kai, Naoki Yoshimura, Tsutomu Yamaguchi, Yoshinari Ichihashi, Takahiro Mishima, Naoteru Matsubara, Tsutomu Yamanishi, Tsuyoshi Takahama, Mikio Taguchi, Eiji Maruyama, and Shingo Okamoto

TABLE I
PROGRESS IN CELL PARAMETERS

Year	2013	2014	Improvement
Area [cm ²]	101.8	143.7	
Thickness [μ m]	98	150	
V_{oc} [V]	0.750	0.740	-1.3%
J_{sc} [mA/cm ²]	39.5	41.8	+5.8%
F.F. [%]	83.2	82.7	-0.6%
E_{ff} [%]	24.7	25.6	+3.6%



Les différentes filières photovoltaïques actuelles

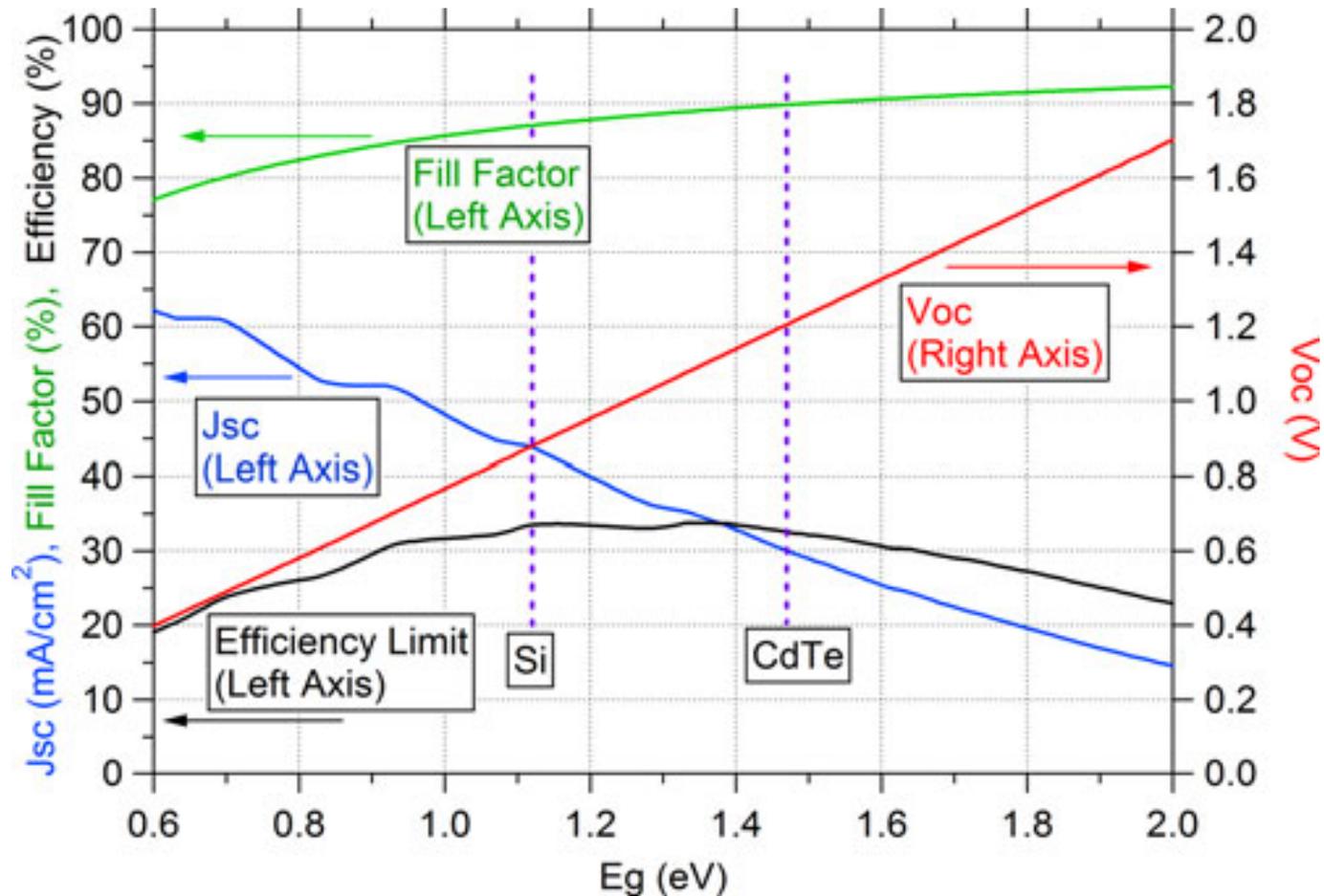


Data: from 2000 to 2010: Navigant; from 2011: IHS (Mono-/Multi- proportion: Paula Mints). Graph: PSE AG 2015

Rendement théorique d'une cellule monojonction

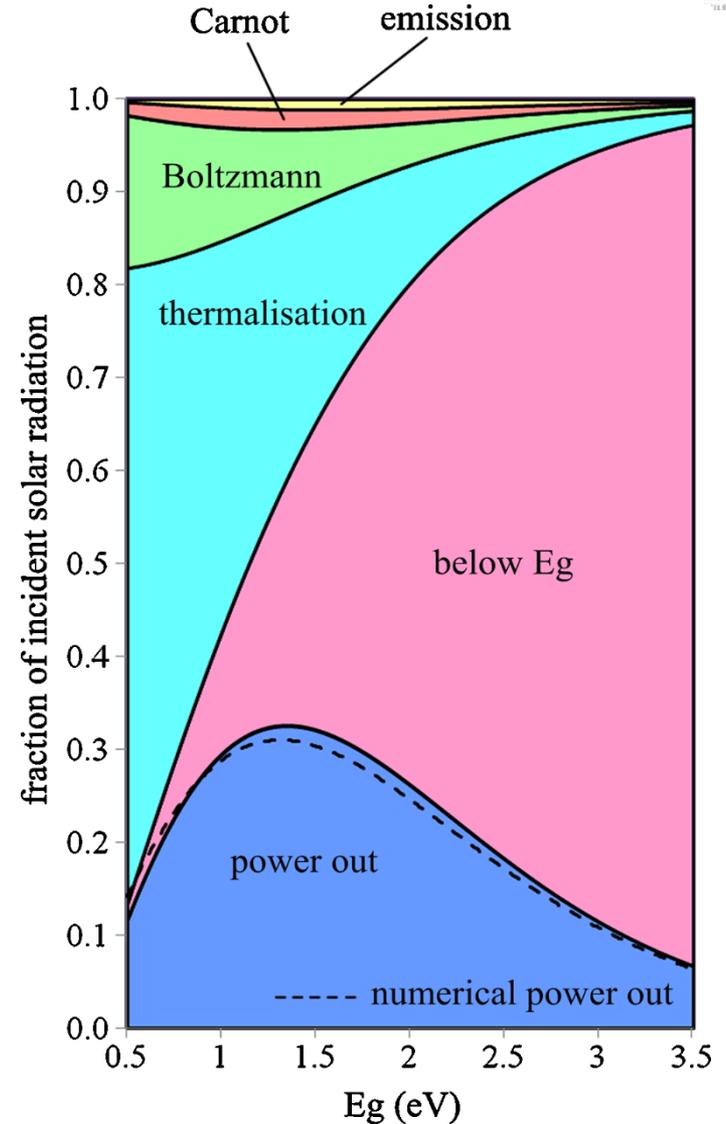
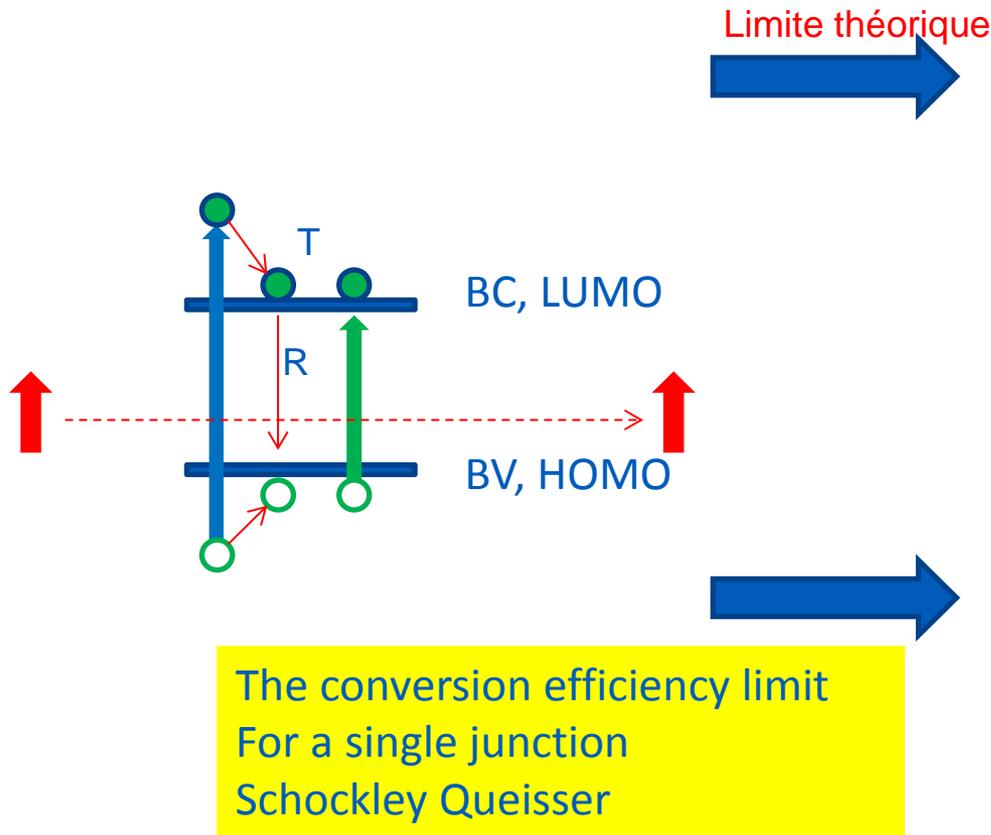
Russell M., Geisthardt, Marko Topic and James R. Sites

IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 5, NO. 4, JULY 2015



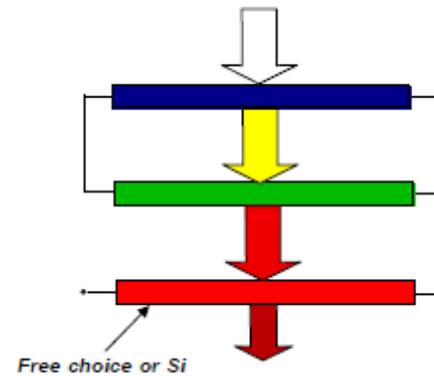
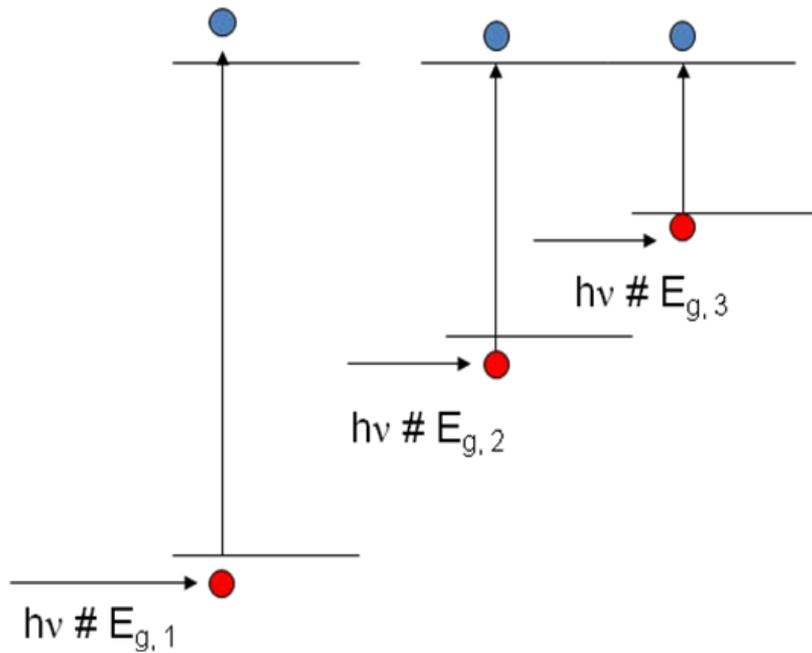
Rendement théorique de la conversion photovoltaïque

L.C. Hirst et al. – *Progress in Photovoltaics* – 2011; 19:286-293

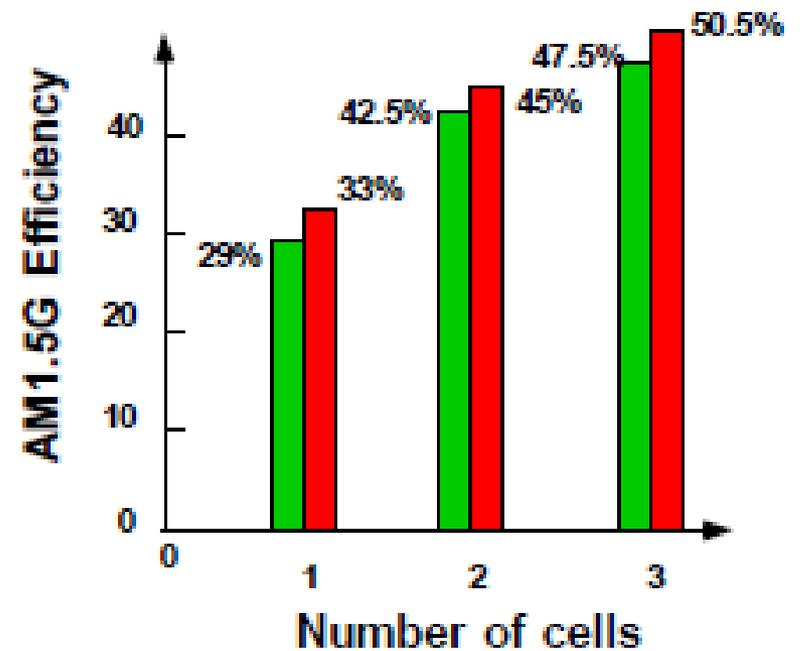


T : perte d'énergie par thermalisation
R : perte d'énergie par recombinaison

Un concept établi : les multijonctions

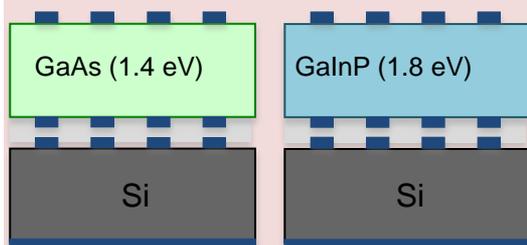


Free choice
Si bottom cell



Exemples de structures actuelles : Silicium + GaAs

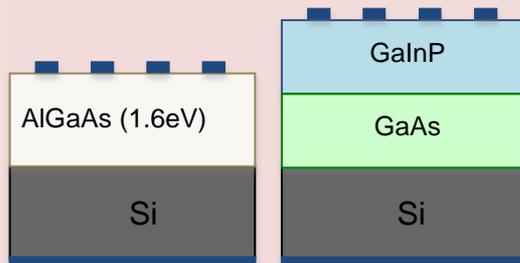
Mechanical stacking:



$\eta = 29.6\%$ (x350)
T. Soga et al.
J. Cryst. Growth
1997

$\eta = 29.8\%$ (x1)
S. Essig et al.
IEEE JPV
2016

Direct wafer bonding :



$\eta = 25.2\%$ (x1)
K. Tanabe et al.
Sci. Rep.
2012

$\eta = 25.2\%$ (x1)
 $\eta = 30.0\%$ (x112)
S. Essig et al.
IEEE JPV
2015

Epitaxial growth (550-700° C):



$\eta = 21.4\%$ (x1)
T. Soga et al.
J. Cryst. Growth
1997

Autres combinaisons possible :

Silicium + pérovskite hybride

Silicium + CIGS

CIGS + Pérovskite hybride

Silicium + Nouveaux concepts

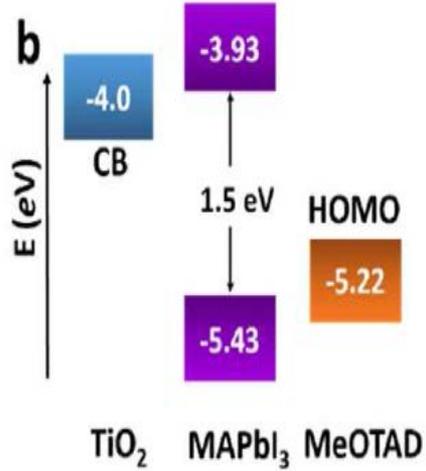
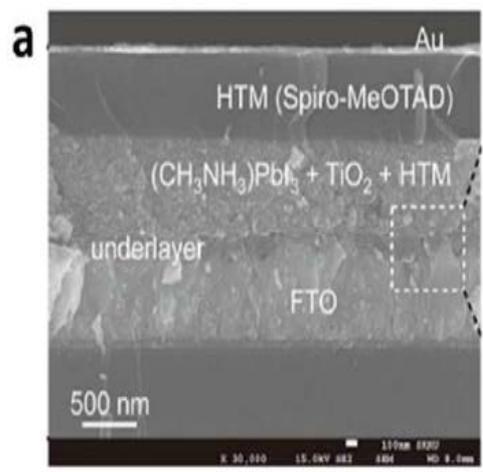
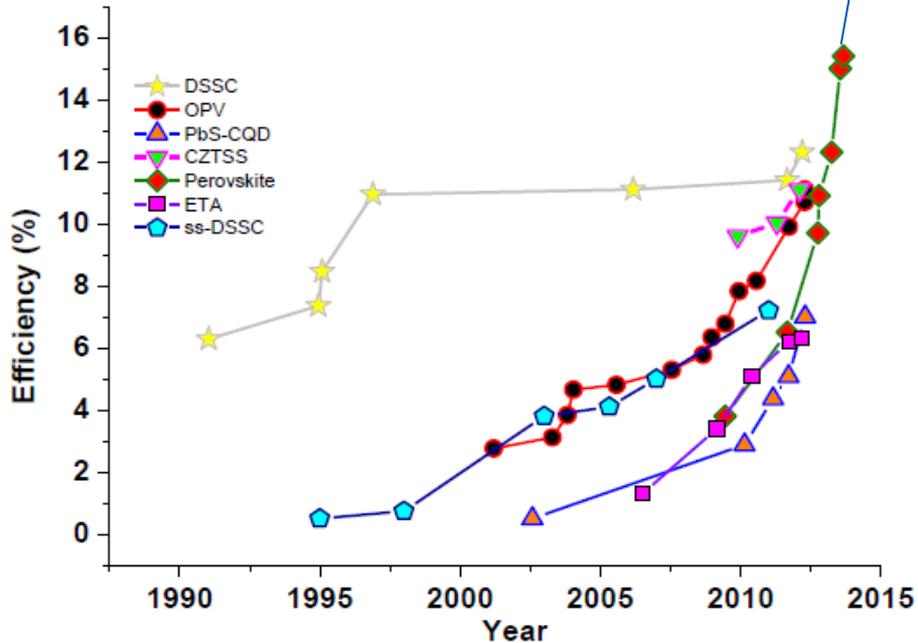
L'irruption des cellules organiques et hybrides : le phénomène pérovskite

Préparation à basse température

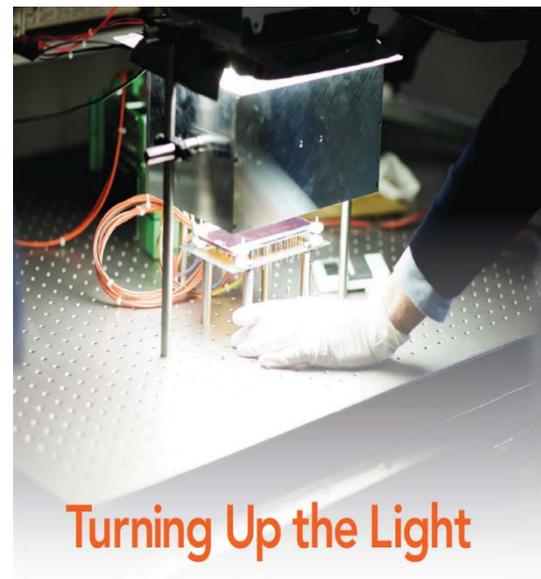


2016

222,1 %
Perovskites
Hybrides
Instables



15 NOVEMBER 2013 VOL 342 SCIENCE www.sciencemag.org



Turning Up the Light

Photovoltaic materials called perovskites work wonders in the lab, but will they shine as commercial technology?

Updated Assessment of Possibilities & Limits for Solar Cells
Pabitra K. Nayak and David Cahen



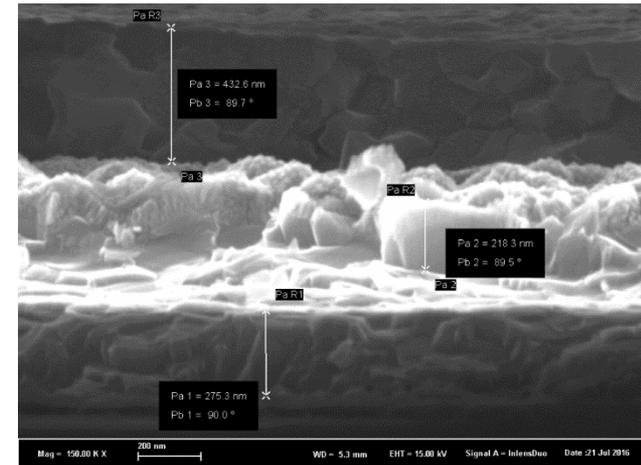
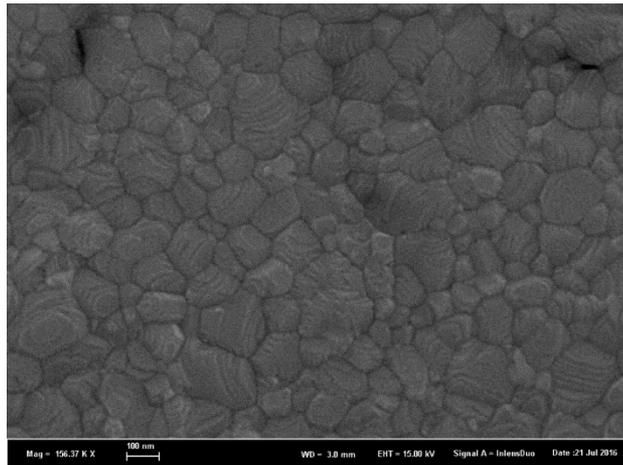
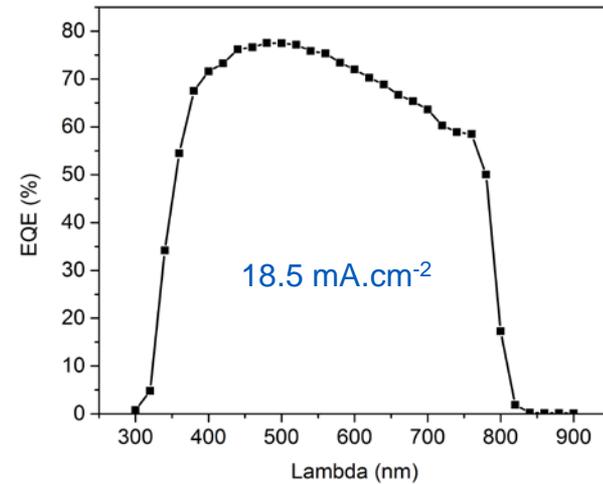
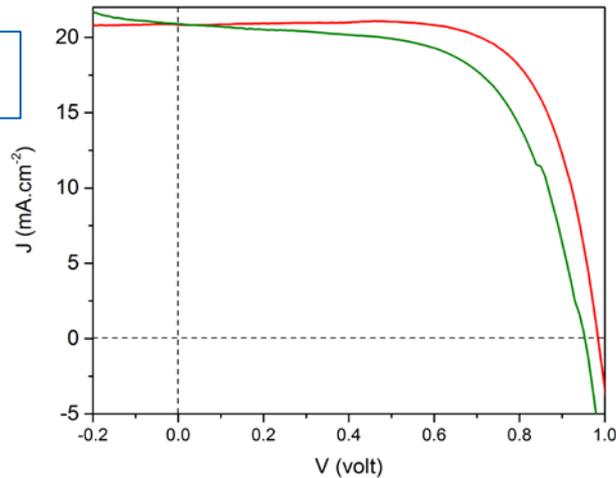
Exemple de jonction supérieure à base de pérovskites



Mixed anions : Brome Iode
Mixed cations : FA, MA

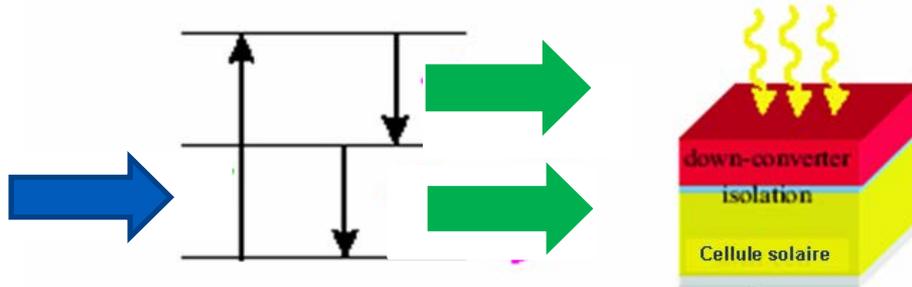
Direct
J_{sc} = 20.8
mA.cm⁻²
V_{oc} = 0.982 V
Eff = 14.5 %
FF = 70.5 %

Reverse
J_{sc} = 20.8
mA.cm⁻²
V_{oc} = 0.953 V
Eff = 12.5 %
FF = 62.6 %

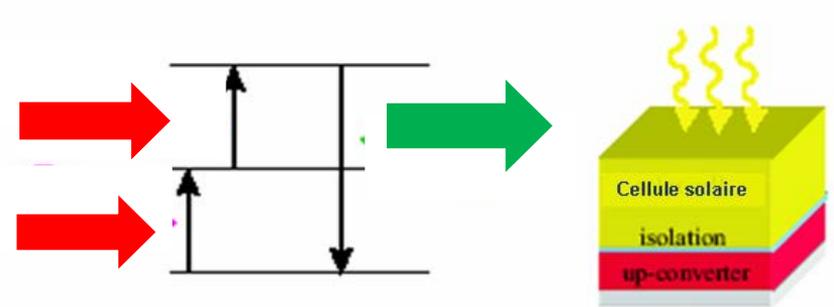


Nouveau concept: Conversion de photon

Down Conversion



Up Conversion

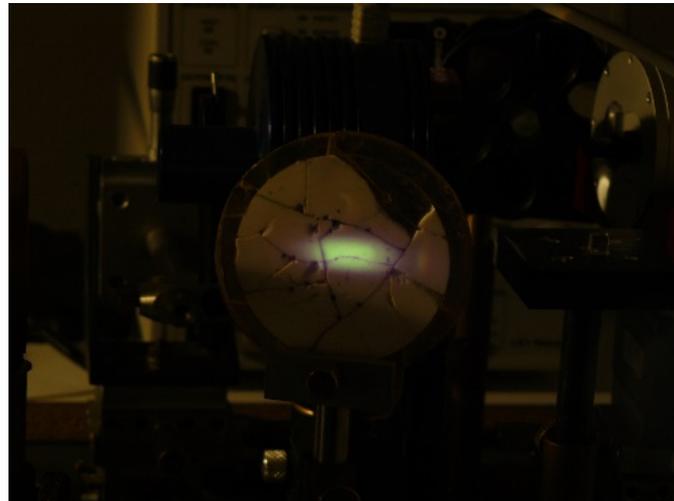


Preuve expérimentale

Laser infra rouge



Lumière visible



L'initiative 30-30-30

Un point de passage partagé avec des représentants des plus grands centres de recherche internationaux :

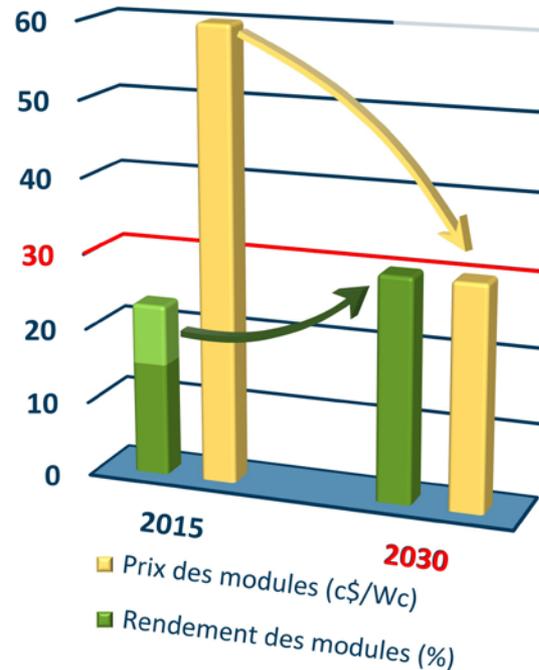
Vers des modules photovoltaïques avec

un rendement
> 30%



pour un prix
< 30 c\$/Wc

à l'horizon
2030



UNE INITIATIVE SUPPORTÉE PAR ...

Jean-François MINSTER
IPVF

Michael GRAETZEL
EPFL

Andreas BETT
Fraunhofer ISE

Marika EDOFF
Uppsala University

Christophe BALLIF
EPFL

Michael POWALLA
ZSW

Philippe MALBRANCHE
INES

Yoshita OKADA
RCast, NextPV

Jean-François GUILLEMOLES
CNRS, NextPV

Alex FREUNDLICH
University of Huston

Accord par e-mail :

Martin GREEN
UNSW

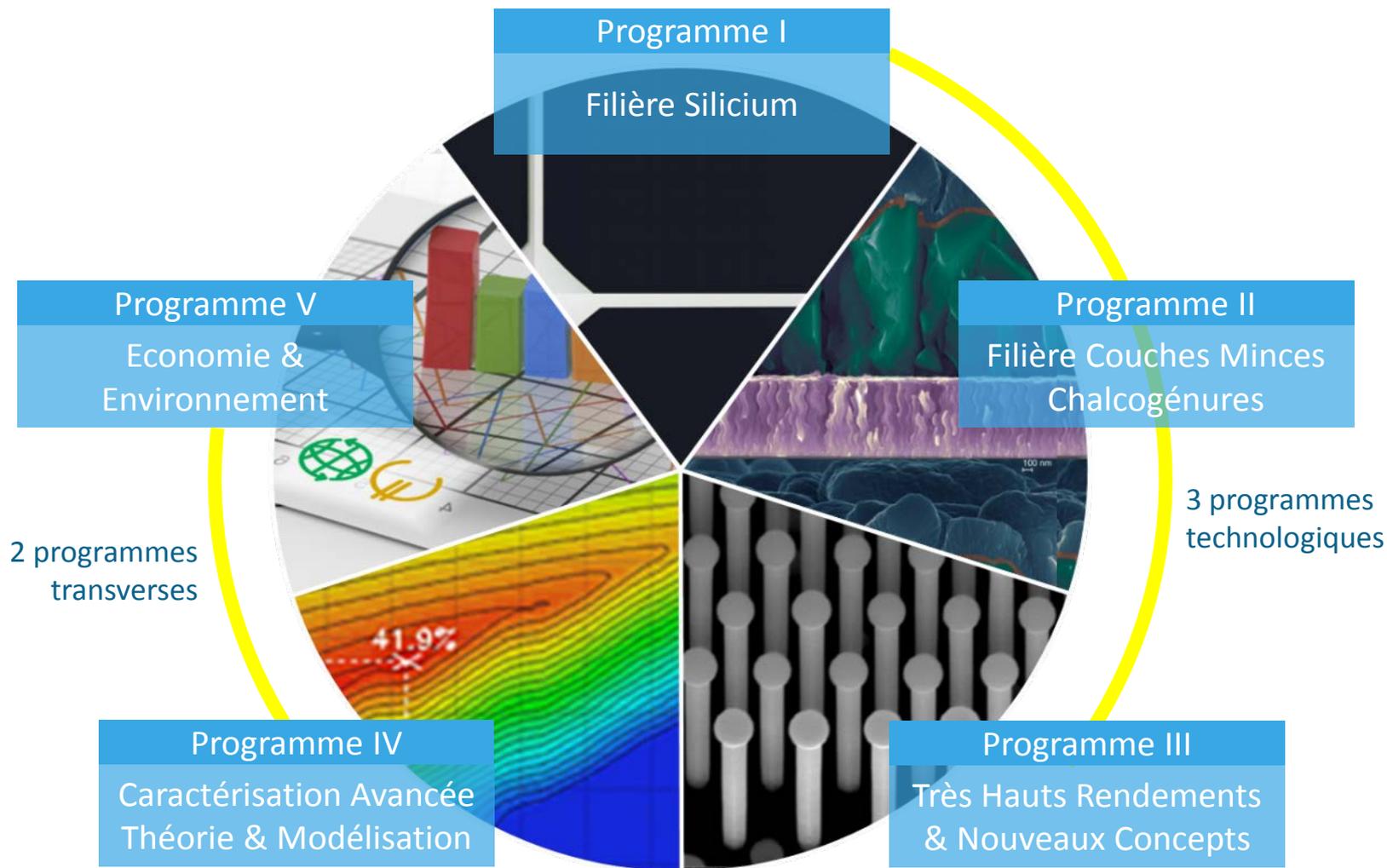
Jeff POORTMANS
IMEC

Wim C. SINKE
ECN

Ayodha N. TIWARI
EMPA, EPFL



Vers les 30-30-30 : le programme scientifique de l'IPVF





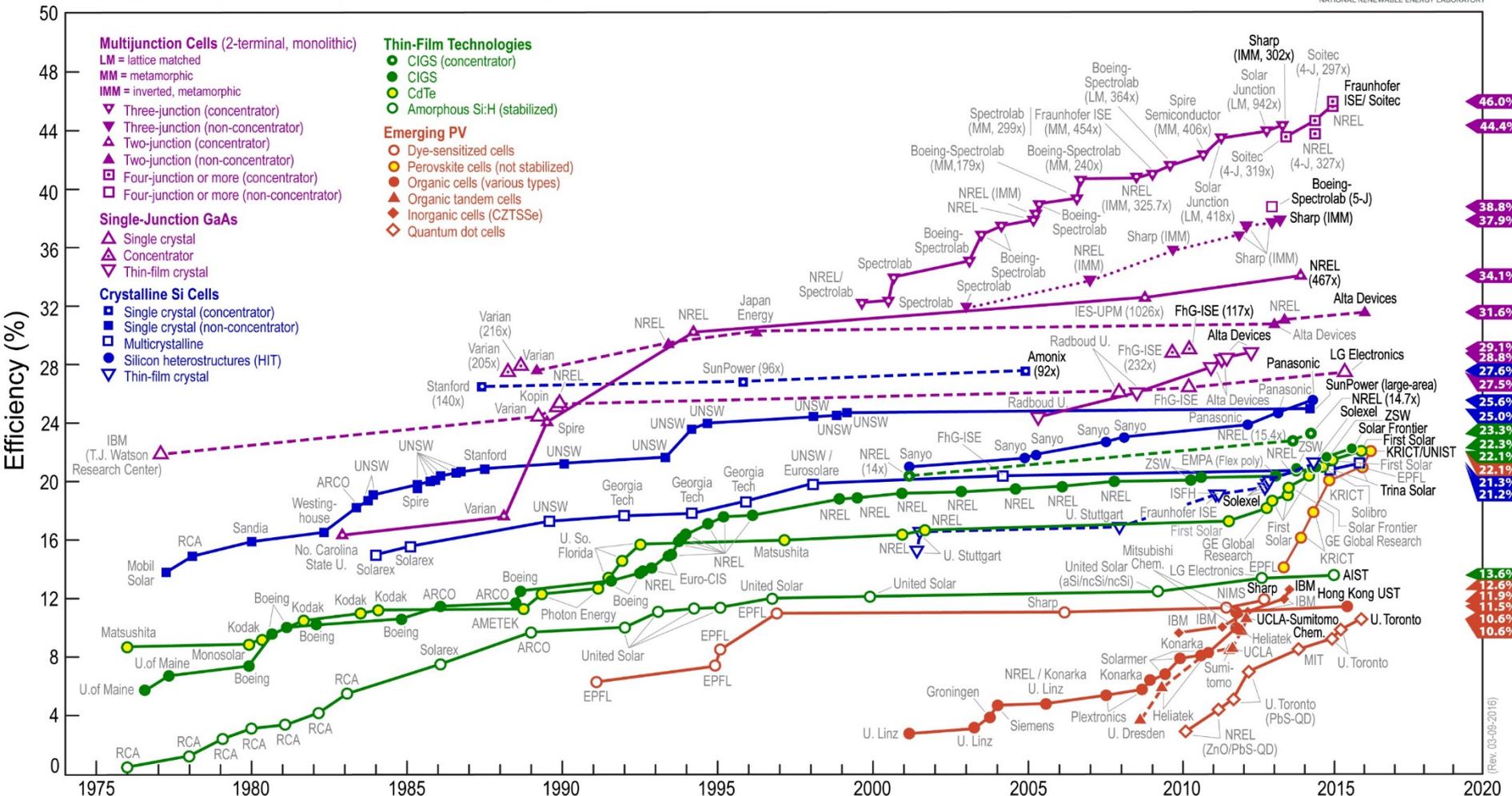
I N S T I T U T
P H O T O V O L T A Ï Q U E
D ' I L E - D E - F R A N C E

Merci de votre attention

Etat de l'art recherche PV



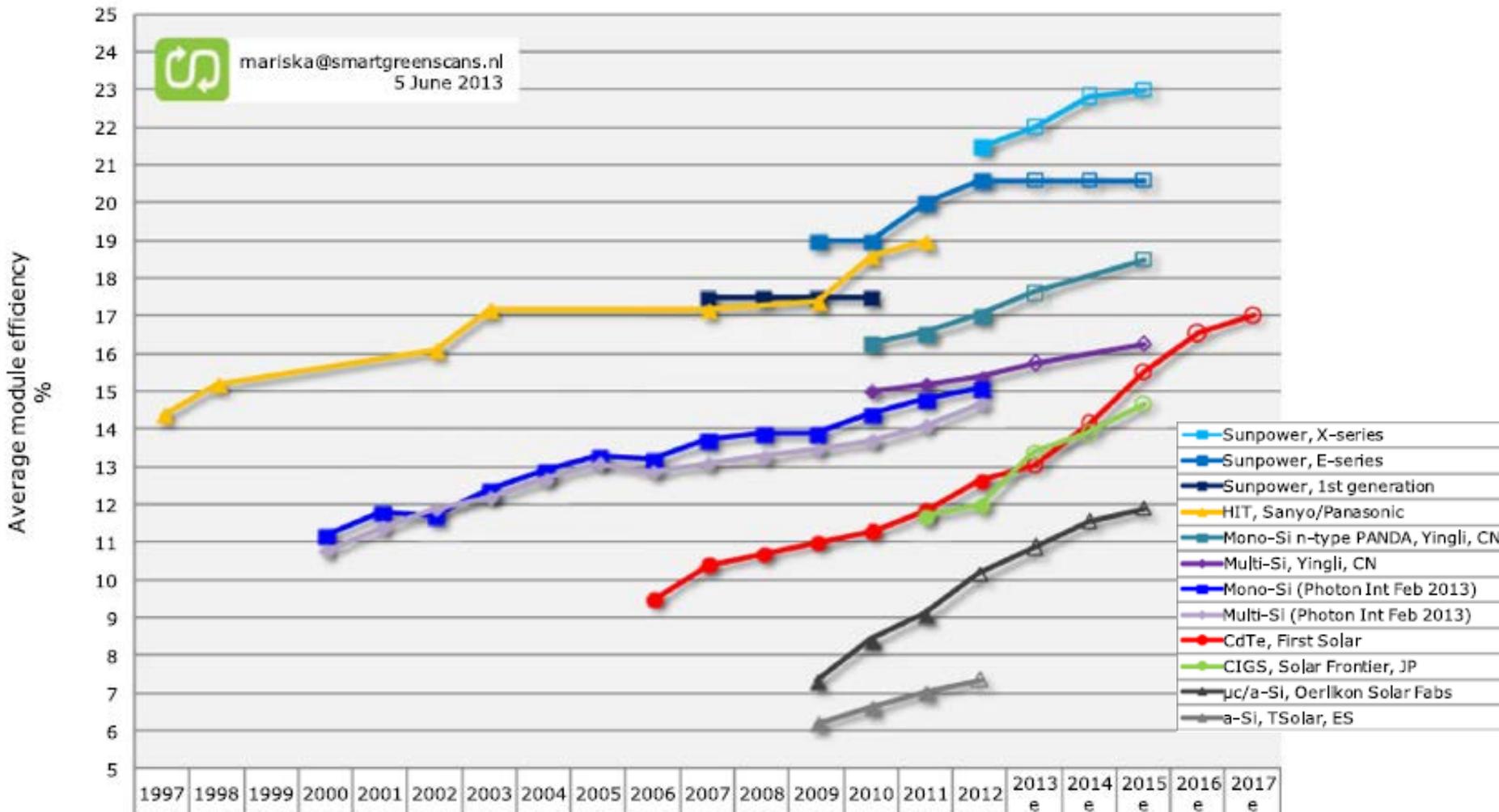
Best Research-Cell Efficiencies



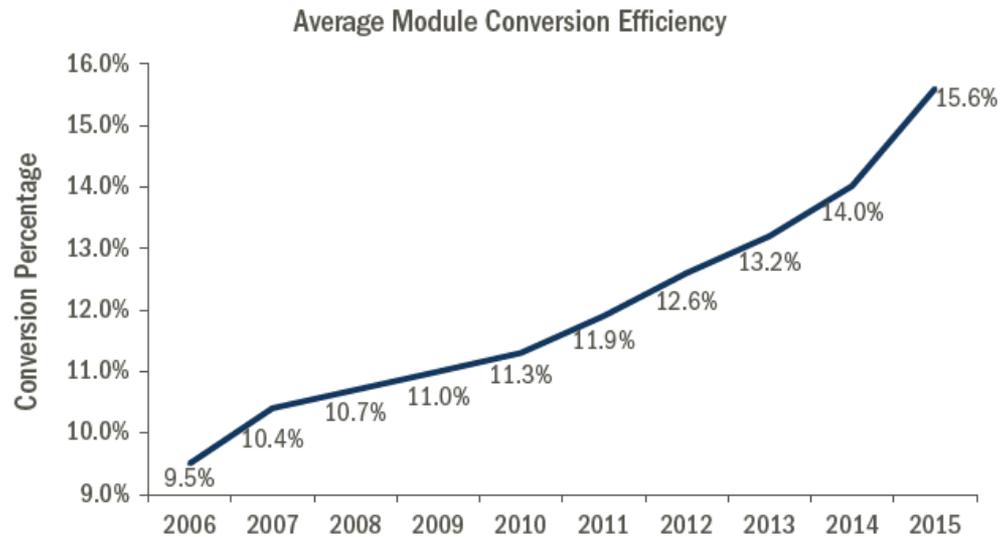
(Rev. 03-09-2016)

Average Module Efficiency

M.J. (Mariska) de Wild-Scholten / Solar Energy Materials & Solar Cells 119 (2013) 296–305



Exemple de CdTe from First Solar



2016 : 16 %

