



Atelier « Recherche et Innovation » Nouvelles technologies pour les énergies renouvelables et stockage de l'énergie
IFPEN, Lyon, 30 mai 2018



Situation du photovoltaïque et perspectives de la R&D

Daniel LINCOT

CNRS-Institut Photovoltaïque Ile de France (IPVF)



INSTITUT
PHOTOVOLTAÏQUE
D'ÎLE-DE-FRANCE



www.ipvf.fr

Contexte économique et industriel

- **Le photovoltaïque continue sa progression accélérée au niveau mondial**

310 GW fin 2016 → 410 GW fin 2017 → TW en 2025 (e)

Elle est portée par les installations en Asie, en Amérique

Marché porté par les grandes installations à prix très compétitif (< 20 \$/MWh, 50 Euros/MWh en France et en Allemagne)

- **Emergence de nouveaux marchés : Afrique (Alliance Solaire Internationale)**
- **Le marché européen donne des signes de reprise : Portugal, Espagne, Allemagne, France...**
- **Il est en voie de diversification rapide**

Développement du PV en toitures, va devenir la norme (ex: Californie)

Développement des marchés de niches : photovoltaïque sur l'eau, agriphotovoltaïque, PV flexible ultraléger...

L'installation mondiale de modules PV

TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY

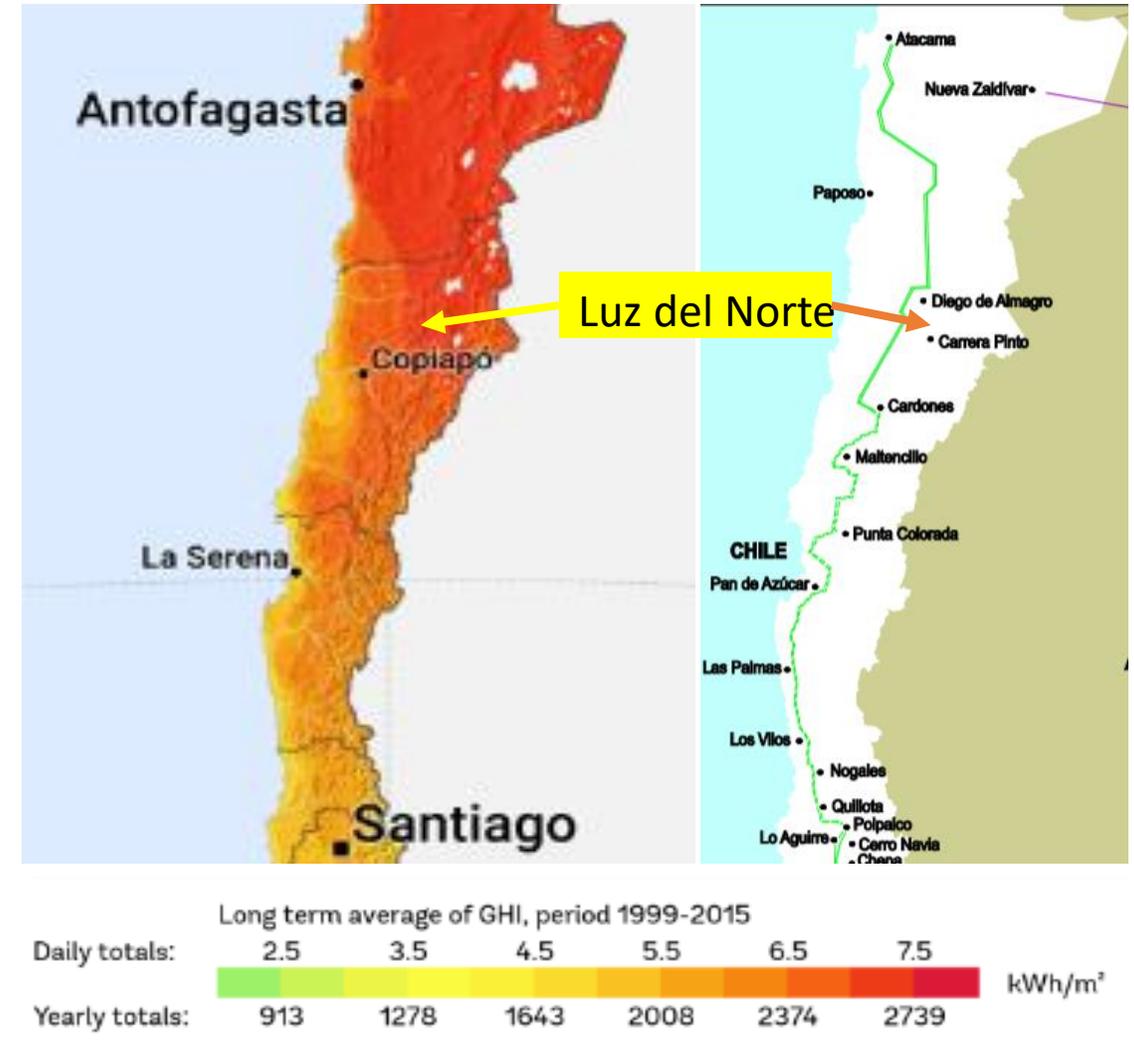
1		China	34,5 GW	1
2		USA	14,7 GW	2
3		Japan	8,6 GW	3
4		India	4 GW	4
5		UK	2 GW	5
6		Germany	1,5 GW	6
7		Korea	0,9 GW	7
8		Australia	0,8 GW	8
9		Philippines	0,8 GW	9
10		Chile	0,7 GW	10

13 :



France

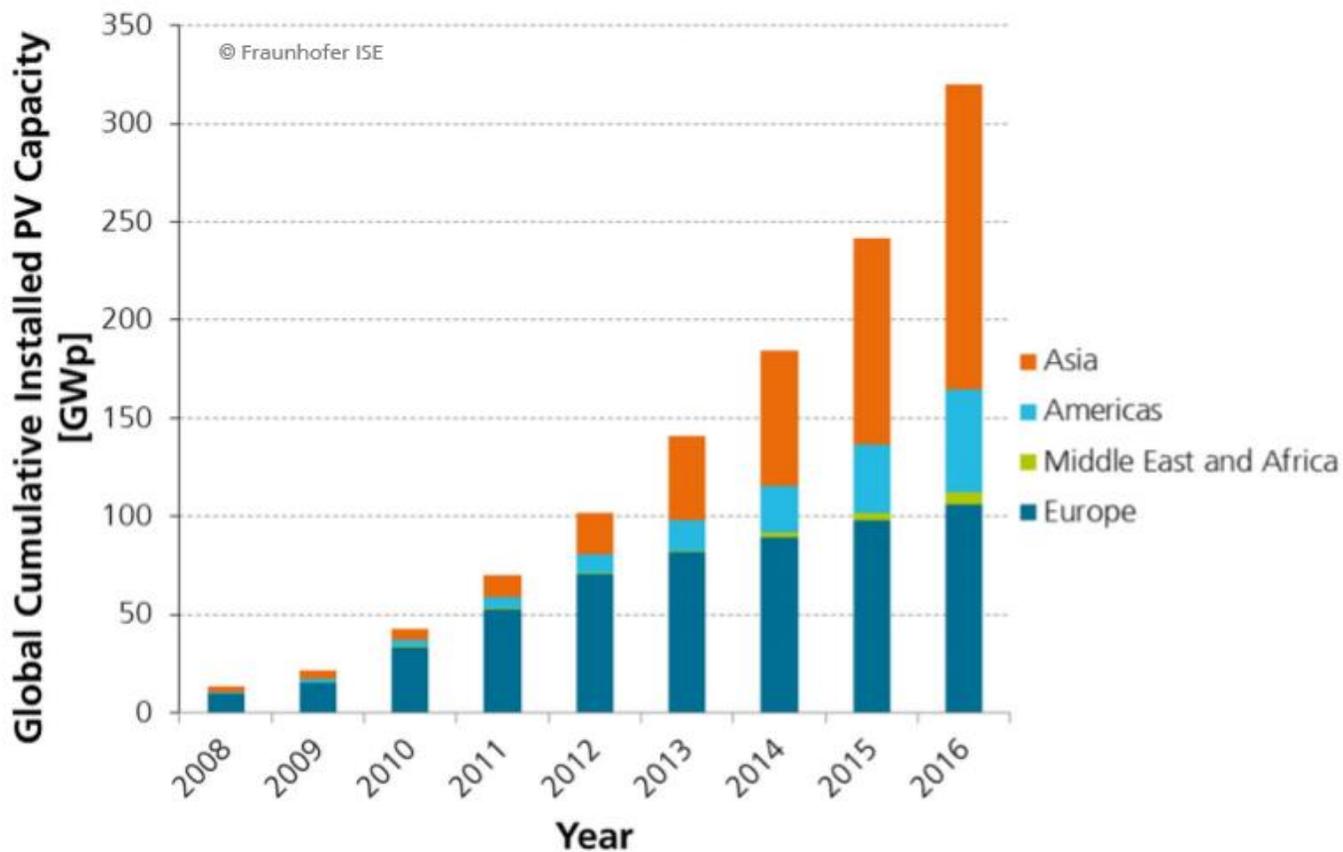
559 MW



<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/chile>

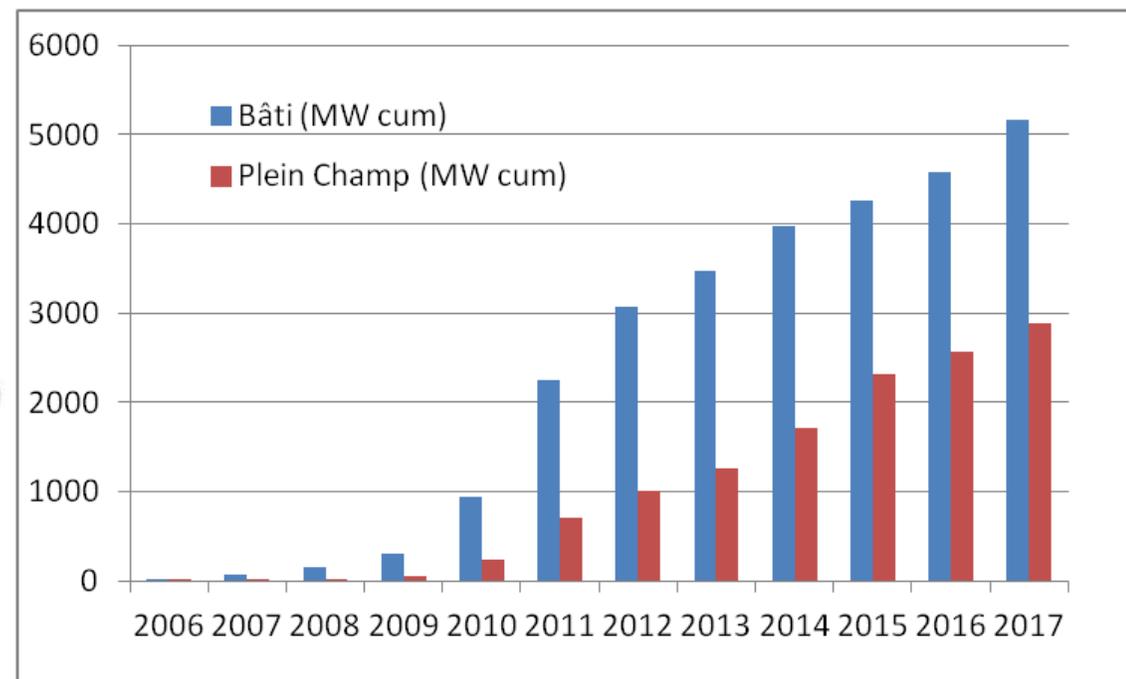
Progression accélérée au niveau mondial + modérée en Europe et en France

Le Monde



Baromètre Eur'observer 2017

La France (en MW cumulés))



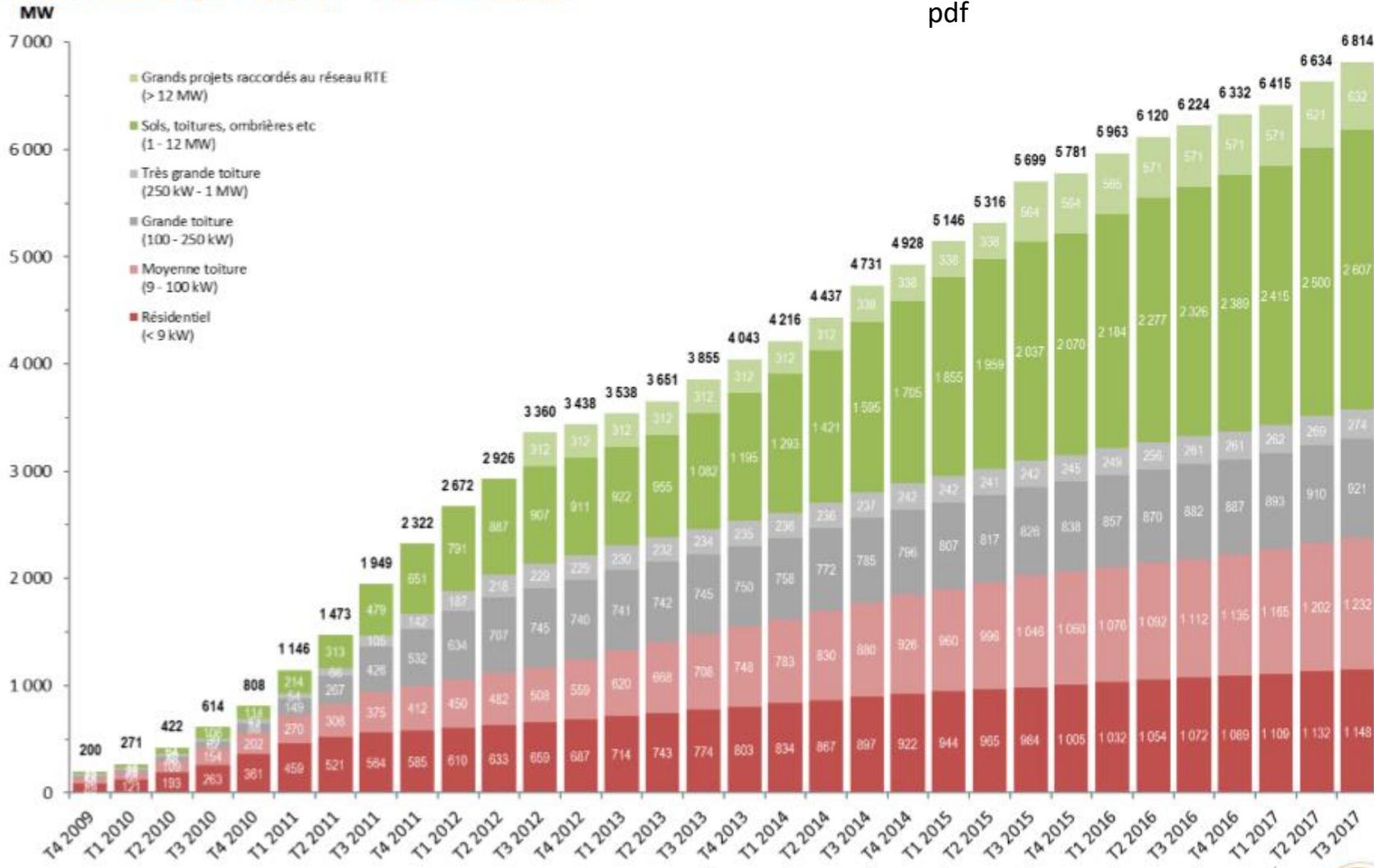
Source : Alain Ricaud

Le Photovoltaïque se développe dans TOUS les secteurs : Cas de la France

4. Analyse du parc photovoltaïque français (1/2)

http://www.observatoire-energie-photovoltaïque.com/images/pdf/fts_indicateurs_2017t3.pdf

Cumul des raccordements par trimestre – France continentale



Sources : ENEDIS : statistiques trimestrielles - hors entreprises locales de distribution ("ELD") hors EDF SEI pour T4 2009 et T1 2010 : répartition par segment estimée sur la base des ratios observés à fin 2010 RTE : bilans électriques mensuels depuis juillet 2012 RTE/ENEDIS/ADEEF/SER : Panorama des ENR / CGDD-SOeS : Tableau de bord

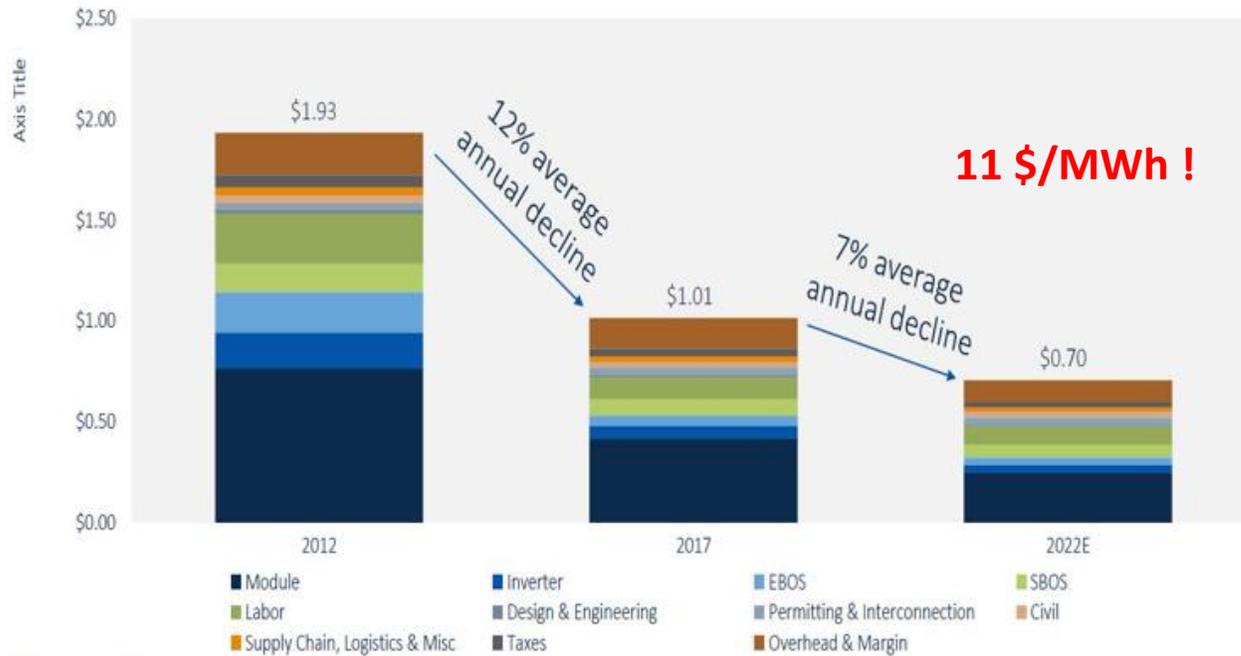
+194MW ELD*
+227 MW ELD*
+262 MW ELD*
+287 MW ELD*
+299 MW ELD*
+310 MW ELD*
+321 MW ELD*
+327 MW ELD*



Facteurs d'accélération

Le coût total

United States Utility-Scale Fixed-Tilt System Pricing



Source: GTM Research U.S. PV Price Brief

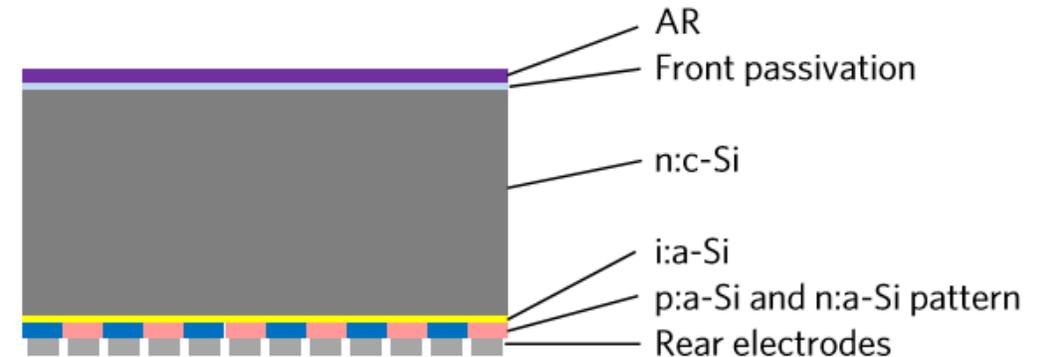
Source GTM Research

Le rendement (2017)



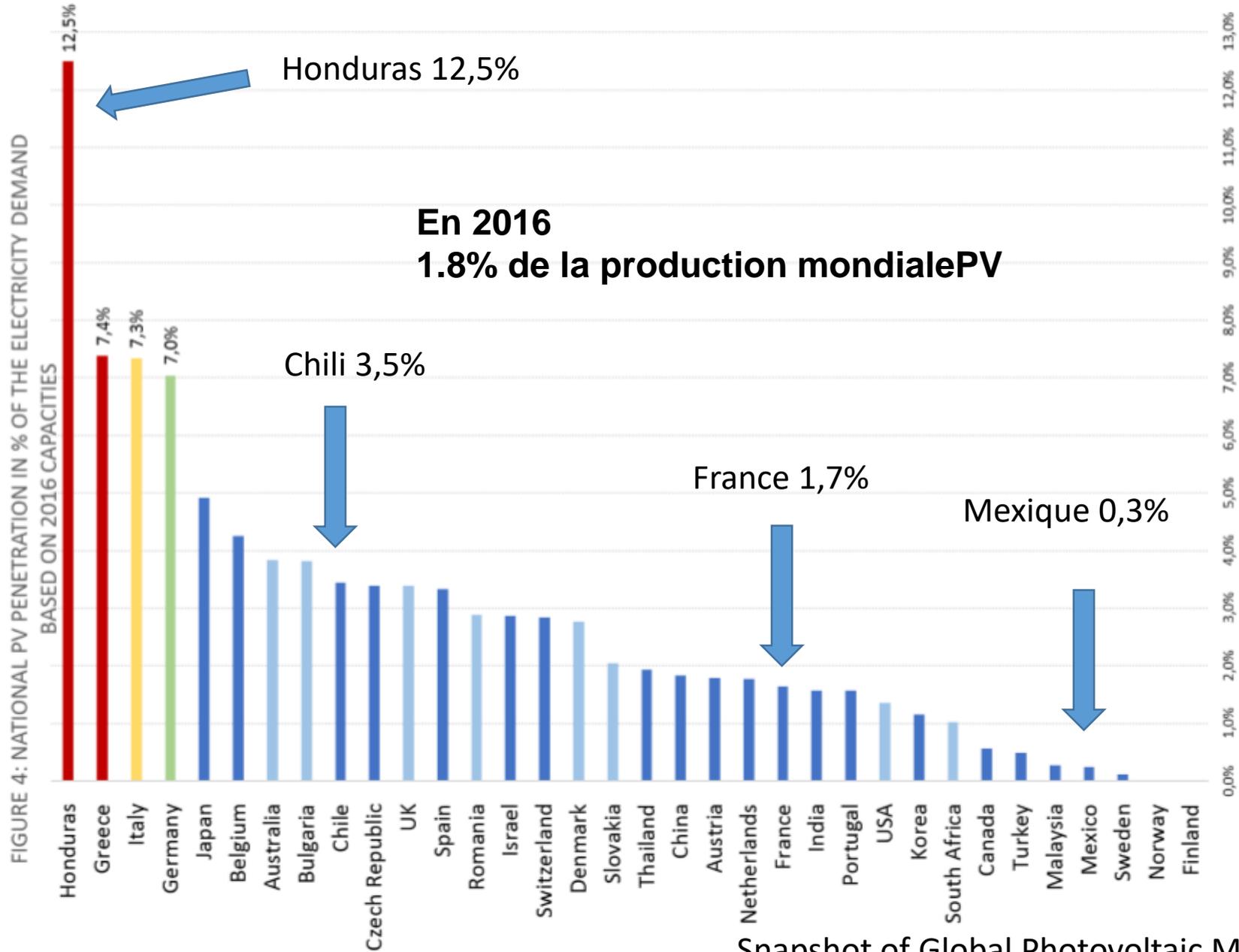
Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%

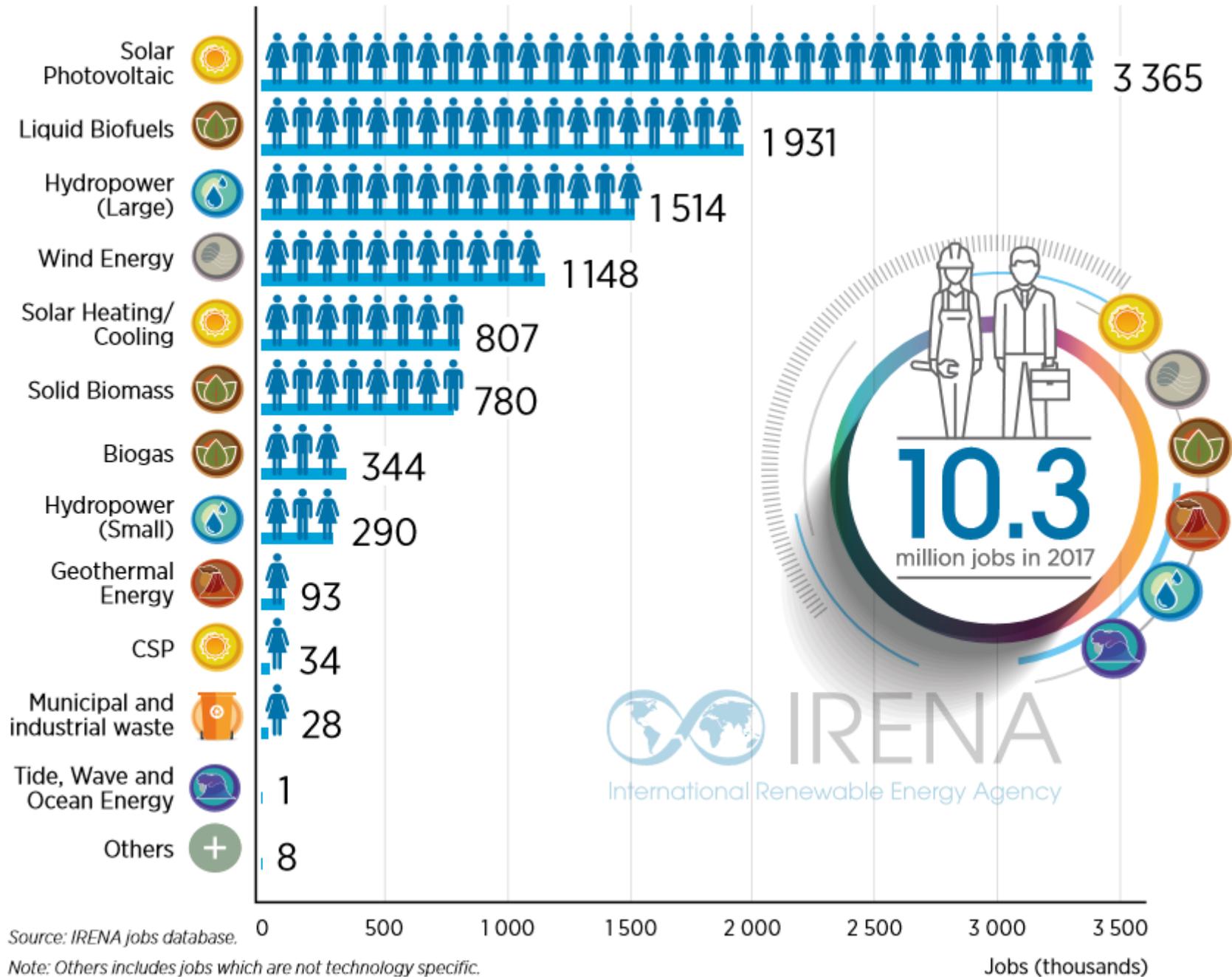
Kunta Yoshikawa*, Hayato Kawasaki, Wataru Yoshida, Toru Irie, Katsunori Konishi, Kunihiro Nakano, Toshihiko Uto, Daisuke Adachi, Masanori Kanematsu, Hisashi Uzu and Kenji Yamamoto



26.6% (proche du rendement théorique de 29%)

Une contribution de plus en plus importante au mix électrique dans de nombreux pays





Source: IRENA jobs database.

Note: Others includes jobs which are not technology specific.

Contexte technologique

- 94% du marché est basé sur le silicium cristallin

Compétition effrénée entre différentes approches (PERC, HIT, N, P, Mono, Multi...)

Emergence de nouvelles technologies : bifacial, monolike (photowatt)...

Concentration de l'industrie en Asie (Chine) avec des usines de + en + grandes (9 GW/an, Longi)

Adaptation nécessaire en Europe, USA, autres pays...

- Très bonne résistance des technologies couches minces CdTe (First Solar), CIGS (Solar Frontier, Avancis, Solibro...), effritement silicium couche minces
- Emergence de marchés de niche : PV organique

La ferme solaire : Luz del Norte, 141 MW, First Solar, Copiapo
Production : 401,3 GWh/an – Facteur de capacité 34 %



Source : D. Lincot

Le développement décentralisé en milieu urbain et agricole



Californie : les panneaux solaires rendus obligatoires sur les nouveaux bâtiments

GABRIEL NEDELEC | Le 12/05 à 11:57 | Mis à jour à 19:42



Cette règle devrait représenter l'équivalent du retrait de la circulation de 115.000 véhicules roulant au carburant fossile. -AFP PHILIPPE HUGUEN

Cette nouvelle règle de construction entrera en vigueur le 1er janvier 2020.

Les Echos

Positionnement de la R&D dans le cadre de la PPE

- **Rôle accru de la recherche et développement dans la chaîne de valeur du photovoltaïque**
 - Amélioration des performances : rendement, fiabilité, procédés...
 - Réduction des coûts : nouveaux procédés, optimisation des matériaux
 - Consolidation des connaissances fondamentales : matériaux, interfaces...
 - Exploration de technologies de rupture et différenciation : nouveaux concepts, nouvelles applications
 - Formation de haut niveau
- **Positionnement différenciant à privilégier**
 - Ne pas être suiveur des technologies actuelles
 - Anticiper les évolutions et se positionner en amont
 - Ouvrir de nouveaux champs en s'appuyant sur la recherche fondamentale
- **Approche**
 - Consolider le tissu R&D national autour des pôles dédiés (IPVF, INES), et du réseau de laboratoires associés (FedPV, Fedesol, nanorgasol, H pero...)
 - Développer les synergies internationales et les interfaces avec l'industrie et les applications
 - Favoriser la valorisation des travaux de recherche, ex: la création d'entreprises par les chercheurs académiques à partir de leurs travaux en laboratoire.

Axes prioritaires R&D pour la PPE

- **Accélérer le développement des multijonctions silicium-couches minces** : Porter les rendements de conversion au delà de la limite des 30% (feuille de route 30x30x30)
 - **Silicium / perovskites**, Silicium/III V, Silicium/ Chalcogénures
 - Autres structures tandem
- **Développer le potentiel photovoltaïque des matériaux et cellules en couches minces.** Allez vers de nouveaux matériaux à l'exemple des pérovskites hybrides, composés Cu-Zn-Sn-S (CZTS)...
- **Explorer de nouveaux concepts et applications** : conversion de photons, concentration, porteurs chauds, PV ultraléger, photosynthèse artificielle (GDR Solar Fuels, Momentum)
- **Développer de nouveaux procédés** haute performance, haut débit, bas coûts: exemple l'ALD, Electrodeposition, R&R, PECVD....(plates formes)
- **Développer de nouveaux moyens de caractérisation et de simulations** (plates formes)

The Thirty Cube R&D Roadmap : 30-30-30 for modules

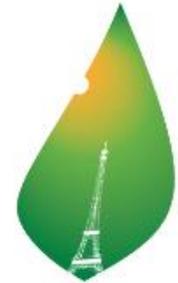
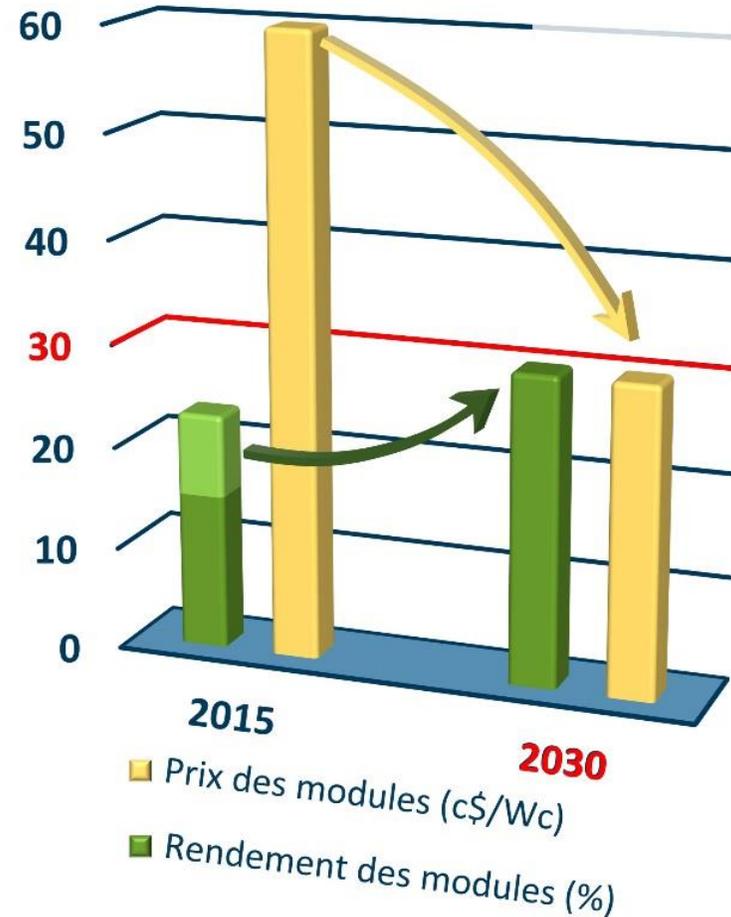
<http://www.ipvf.fr/en/the-303030-initiative-for-the-modules/>

Module efficiency
> 30%



At a price of
< 30 c\$/Wc

for
2030



PARIS2015
CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
COP21-CMP11

An international R&D initiative



PARIS2015
CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
COP21·CMP11

Jean-François MINSTER
IPVF

Philippe MALBRANCHE
INES

✓ Andreas BETT
Fraunhofer ISE

Michael GRAETZEL
EPFL

Yoshita OKADA
RCAST, NextPV

Jean-François GUILLEMOLES
CNRS, NextPV

✓ Marika EDOFF
Uppsala University

Alex FREUNDLICH
University of Houston

✓ Christophe BALLIF
EPFL

Michael POWALLA
ZSW

Jeff POORTMANS
IMEC

Wim C. SINKE
ECN

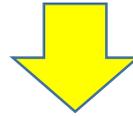
Ayodha N. TIWARI
EMPA, EPFL

Martin GREEN
UNSW

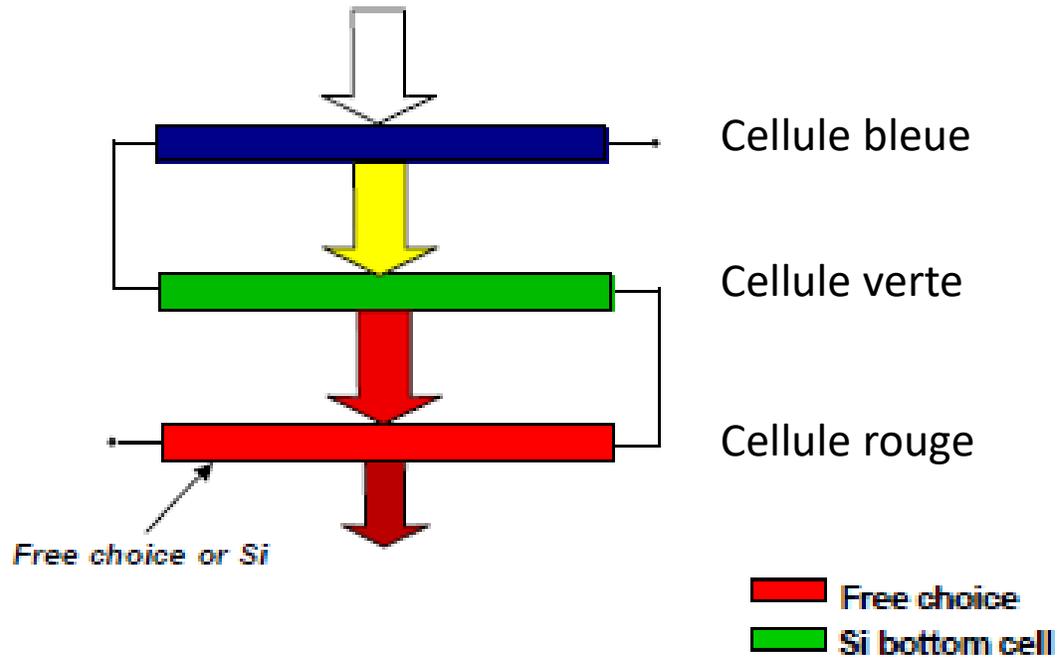
Le rôle de la recherche : augmenter les rendements

Rendement record Silicium monojonction : 26,7 %

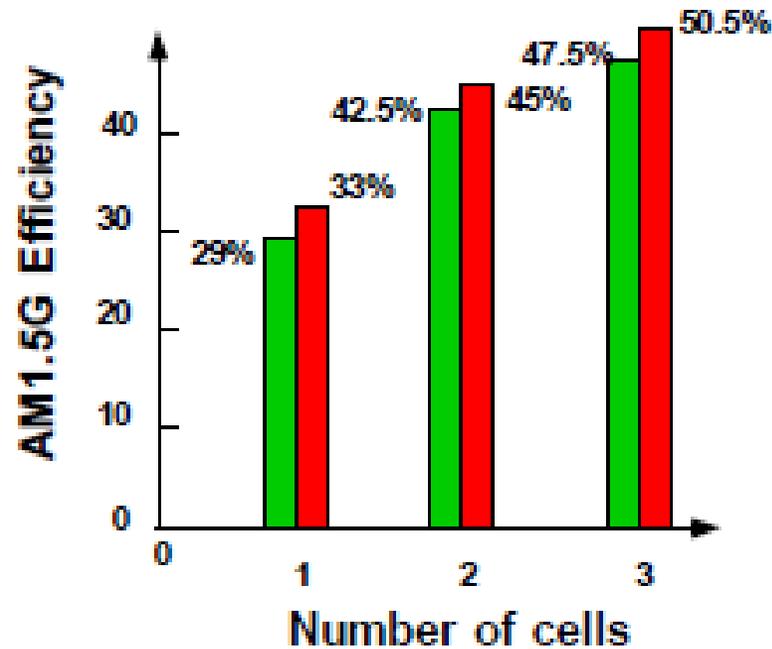
Modules standard: 15% à 20%



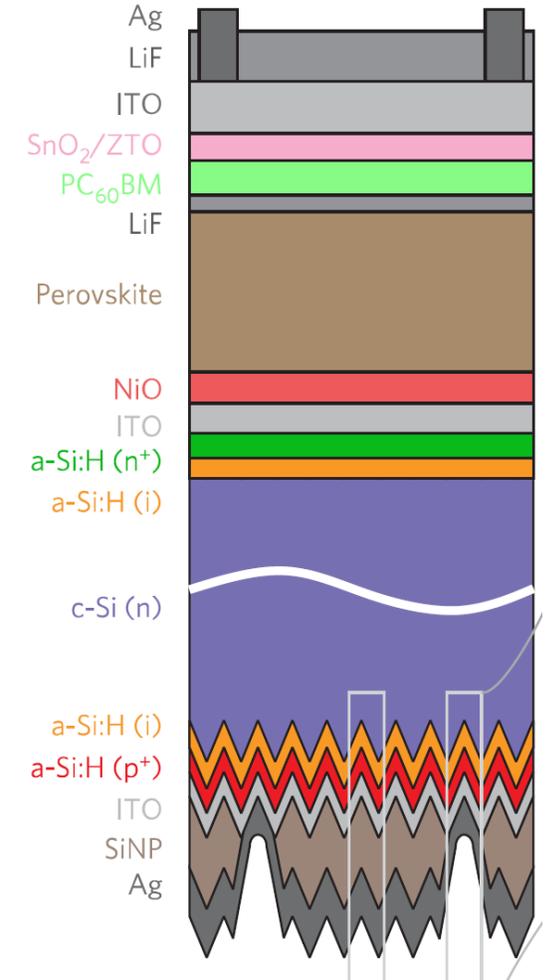
« Les multijonctions »



Source : Martin Green

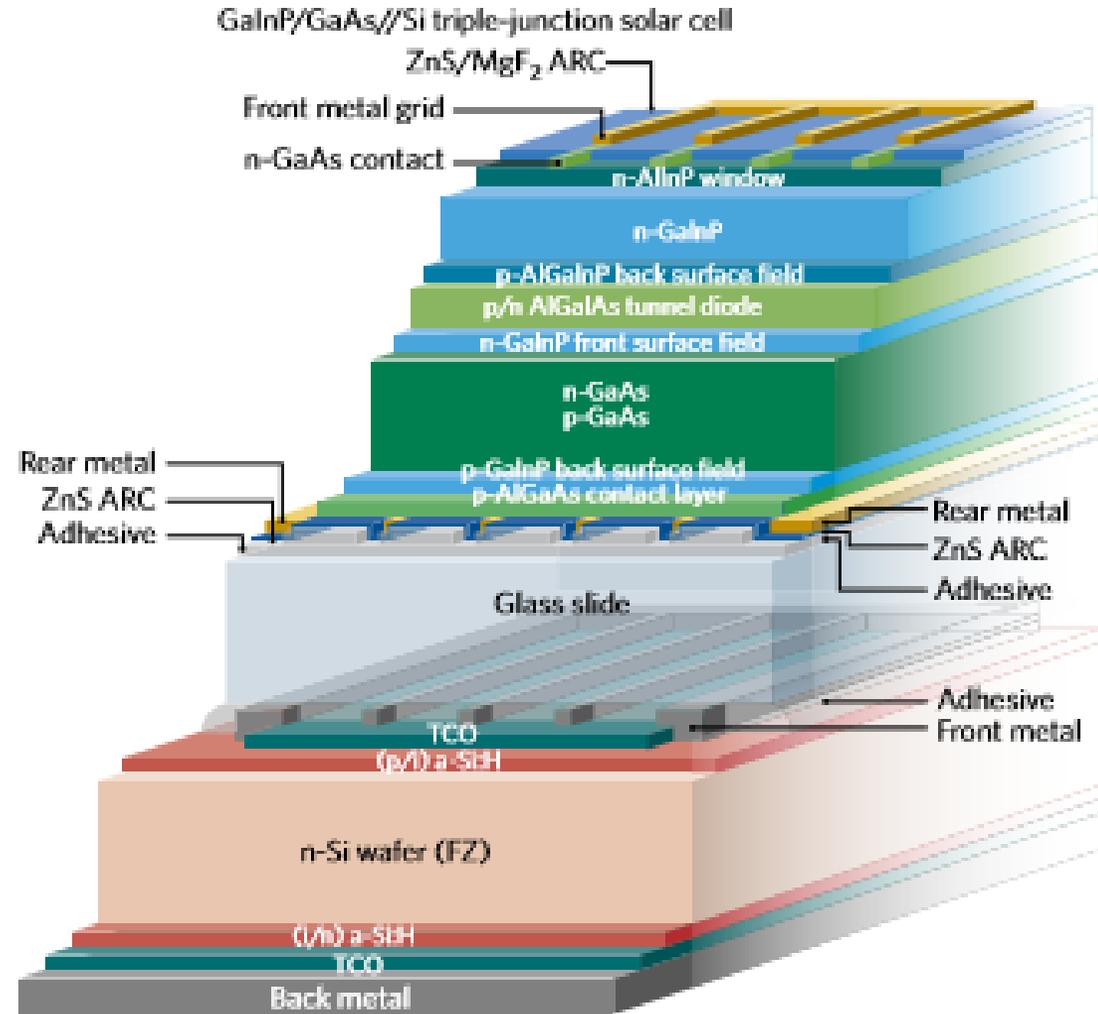
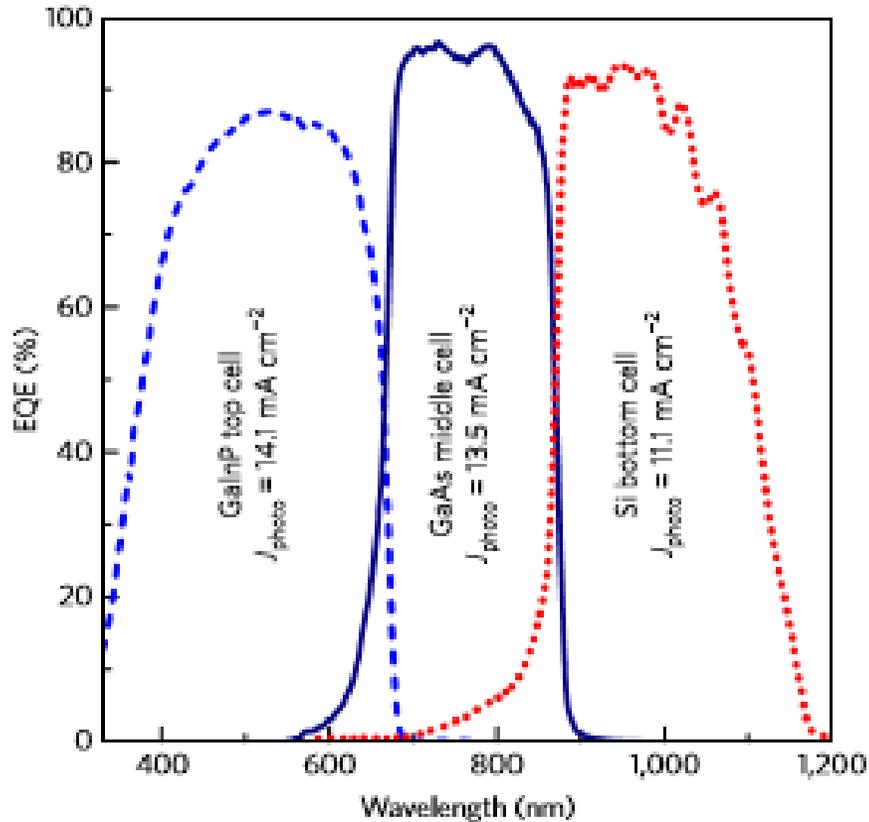


Exemple de tandem Si-Perovskite
Résultat IPVF : 22,4%

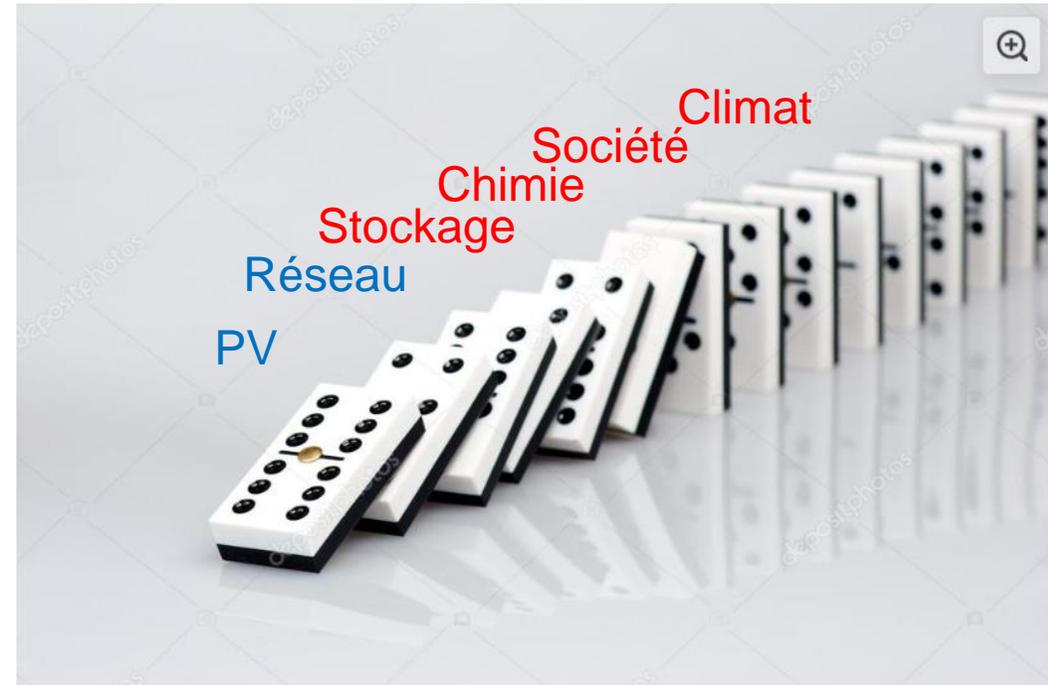


Raising the one-sun conversion efficiency of III-V/Si solar cells to 32.8% for two junctions and 35.9% for three junctions

Stephanie Essig^{1*}, Christophe Allebé², Timothy Remo³, John F. Geisz³, Myles A. Steiner³, Kelsey Horowitz³, Loris Barraud², J. Scott Ward³, Manuel Schnabel³, Antoine Descoedres², David I. Young³, Michael Woodhouse³, Matthieu Desmaisons², Christophe Ballif² and Adele Tambali³



L'avenir du photovoltaïque : l'effet domino de la transition énergétique ?



L'Agence Solaire Internationale



Mars 2018 New Dehli

Novembre 2015 : lancement à la COP 21 (Paris) par la France et l'Inde

« Rendre possible le changement d'échelle dans les pays à fort ensoleillement » (ceinture du soleil)

Juin 2016 : Accord avec la Banque Mondiale → mobiliser 1000 Milliards de dollars d'ici 2030 pour le développement massif de l'énergie solaire (exemple Inde 100 GW de PV en 2022)

Décembre 2017: Statut d'organisation internationale

Mai 2018 :121 pays membres