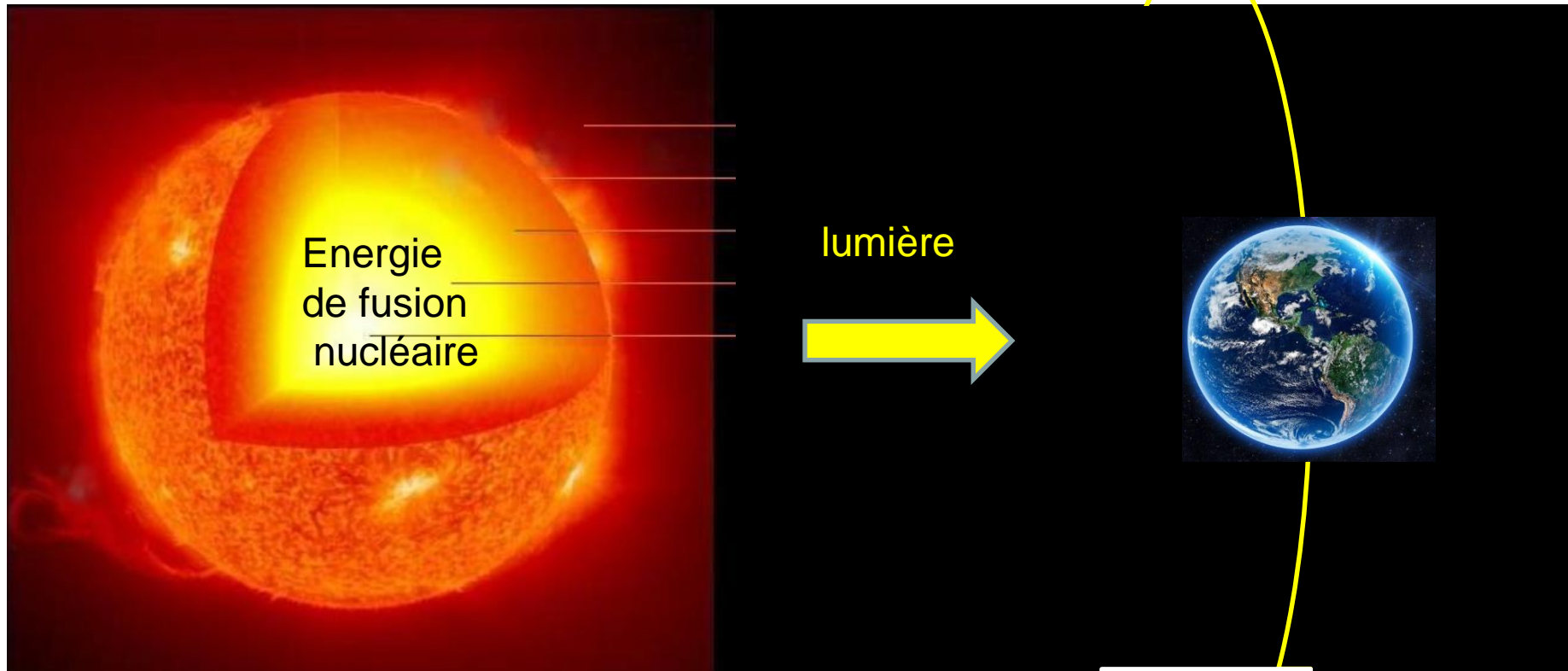


Photovoltaïque: l'amorce d'un nouvel héliocène ?

DANIEL LINCOT

Directeur de recherche émérite au CNRS
Institut Photovoltaïque d'Île de France

Soleil ← 150 millions de km → **Terre**
Diamètre 1,5 million de km Diamètre 12600 km



627 millions de tonnes d'hydrogène fusionnent en une seconde

Puissance libérée : $3,8 \cdot 10^{26}$ W

Puissance interceptée par la terre :

$1,7 \cdot 10^{17}$ W = 170 000 TW

Puissance consommée par l'humanité : 17 TW

Rapport : 10 000

Puissance reçue par m^2 : 1360 W

Comparaison ressource solaire / consommation de l'humanité (17 TW)

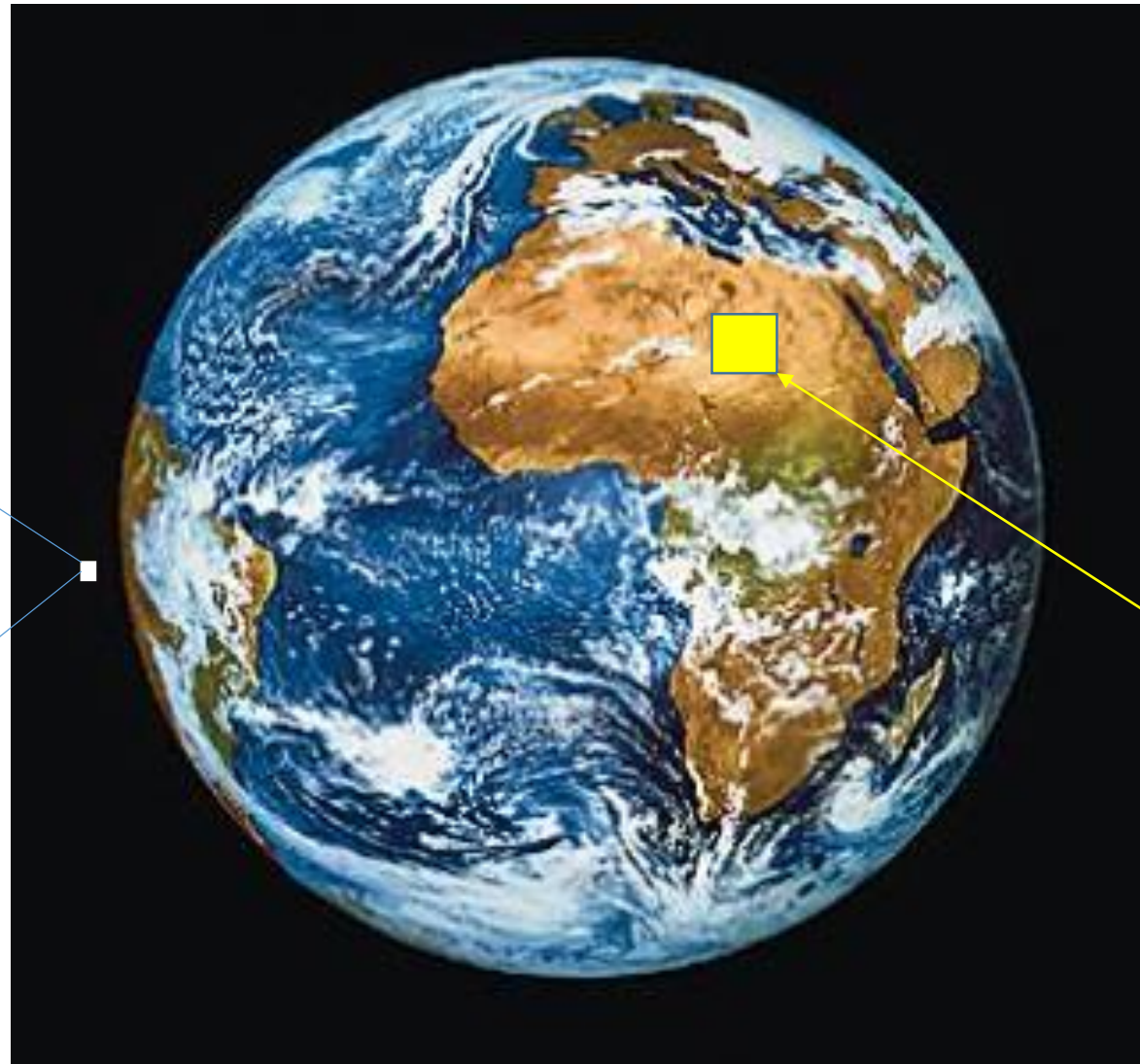
Puissance solaire espace

1360 W/m²

12500 km²

110 km

110 km



Puissance solaire au sol

1000 W/m²



Moyenne : 200 W/m²

17 TW → 85 000 km²

Surface : 290 km x 290 km

Convertisseur R=20%

650 x 650 km²

Source Larousse

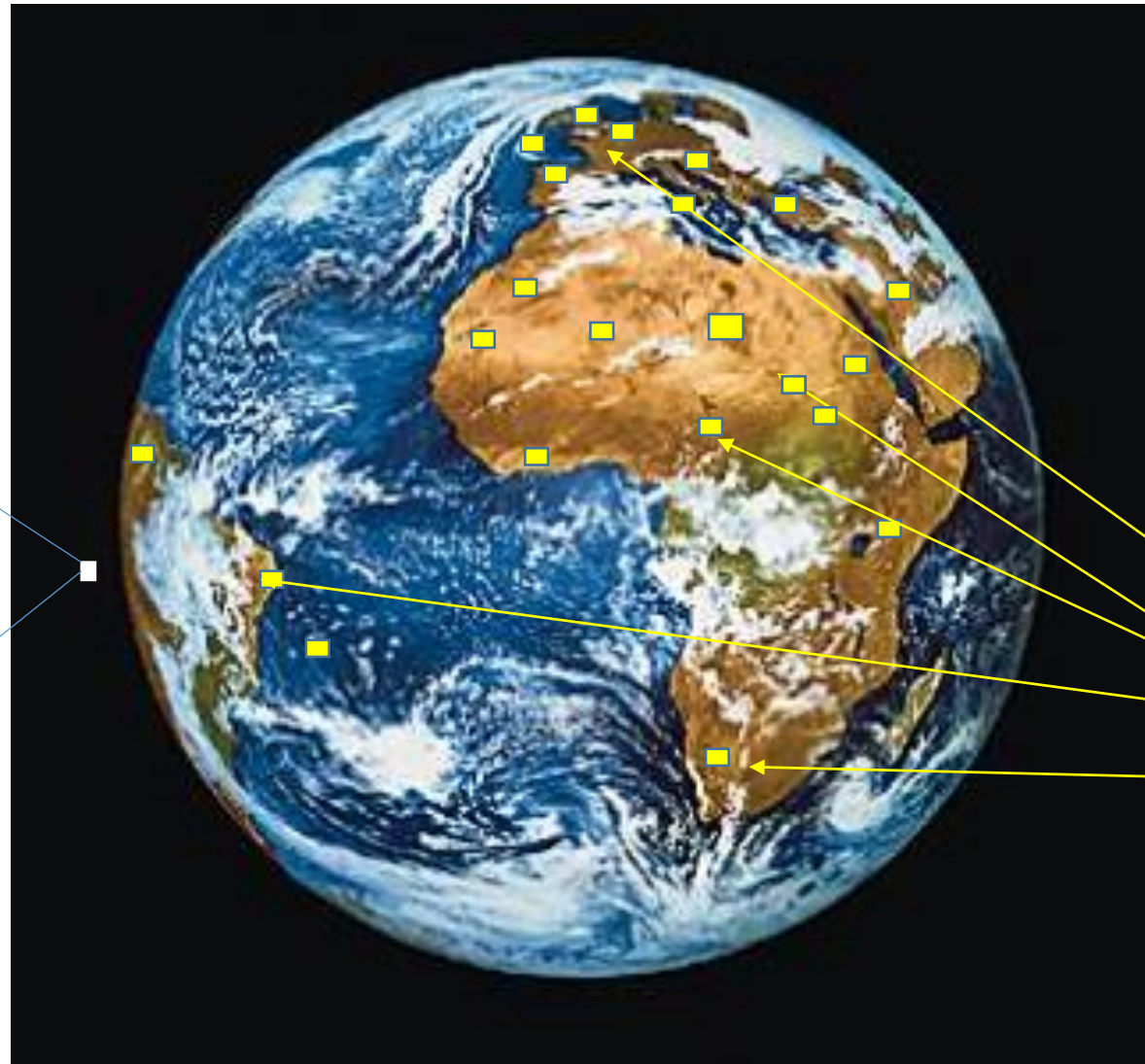
Comparaison ressource solaire / consommation Humanité (17 TW)

Puissance solaire espace

1360 W/m²

12500 km²

110 km
110 km



Puissance solaire au sol

1000 W/m²



Moyenne : 200 W/m²

17 TW → 85 000 km²
Surface : 290 km x 290 km

Convertisseur R=20%

425 000 km²
650 km x 650 km

Consommation
primaire finale France
1562 TWh / 0,18 TW
(elec. 500 TWh / 570 GW
→ 4000 km²)

Source Larousse

1850

Soleil
Fusion



Lumière



Chaleur



vent



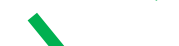
Energie Eolienne



Évaporation



Energie hydraulique



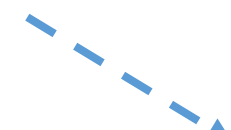
Photosynthèse



biomasse



Force animale



Charbon

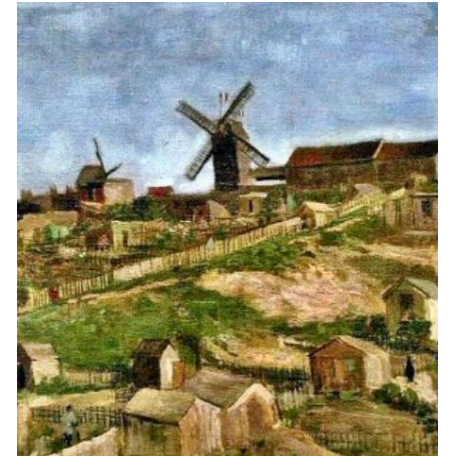


Chaleur

1711

Thomas Newcomen

1775 James Watt



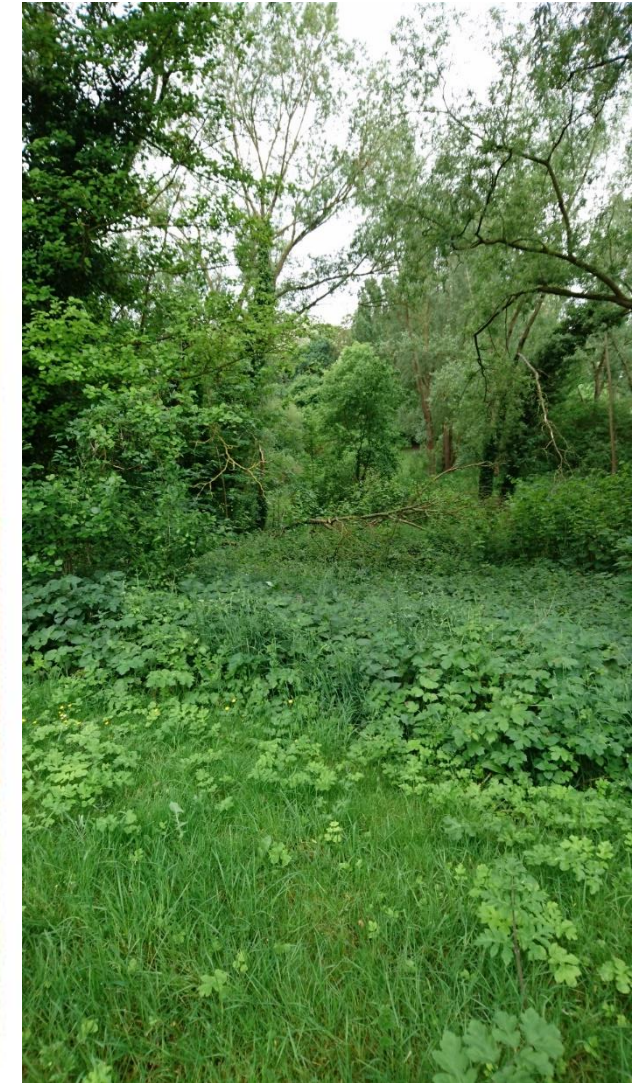
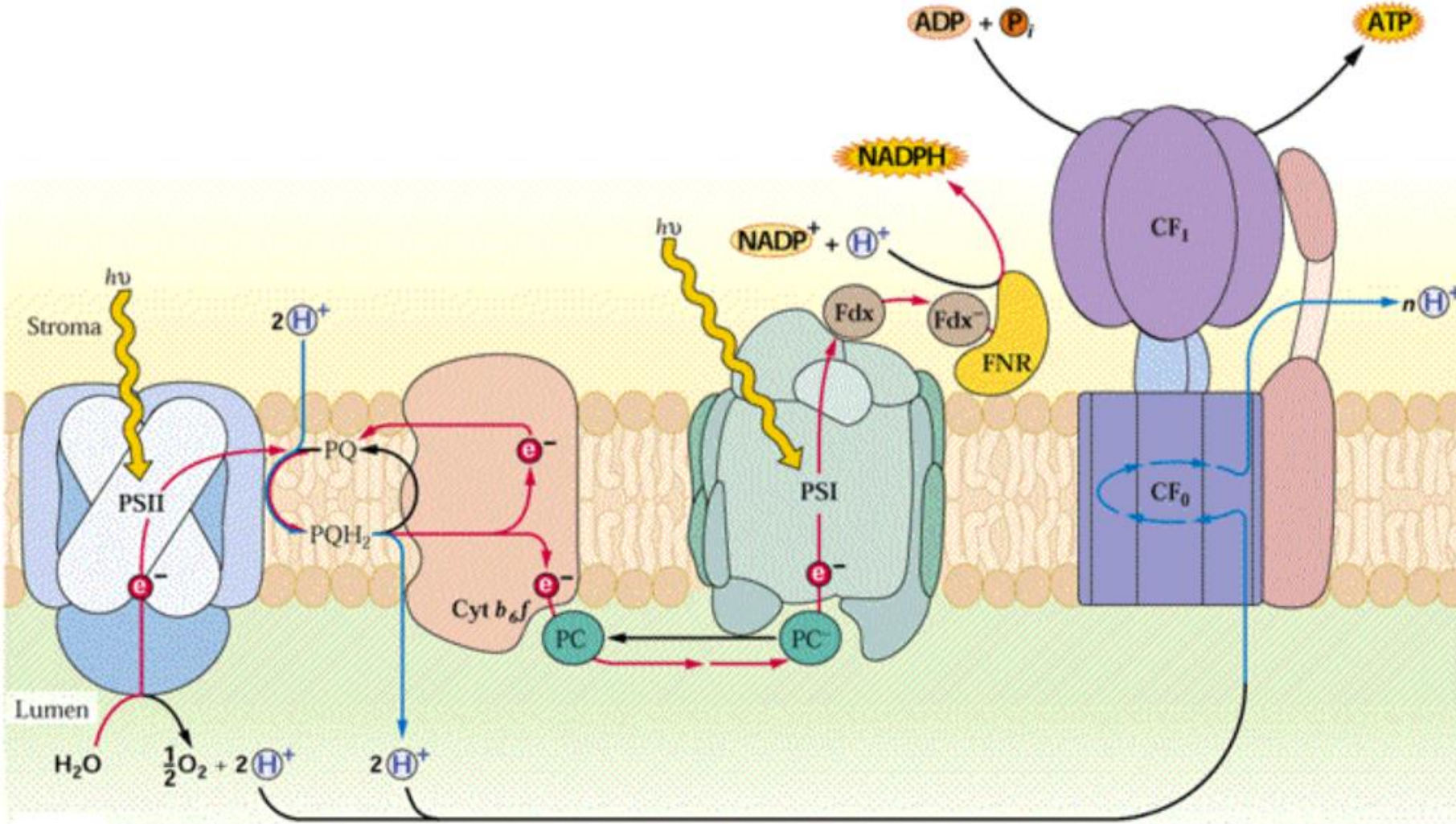
Moulins de Montmartre
V. Van Gogh (1886)

travail



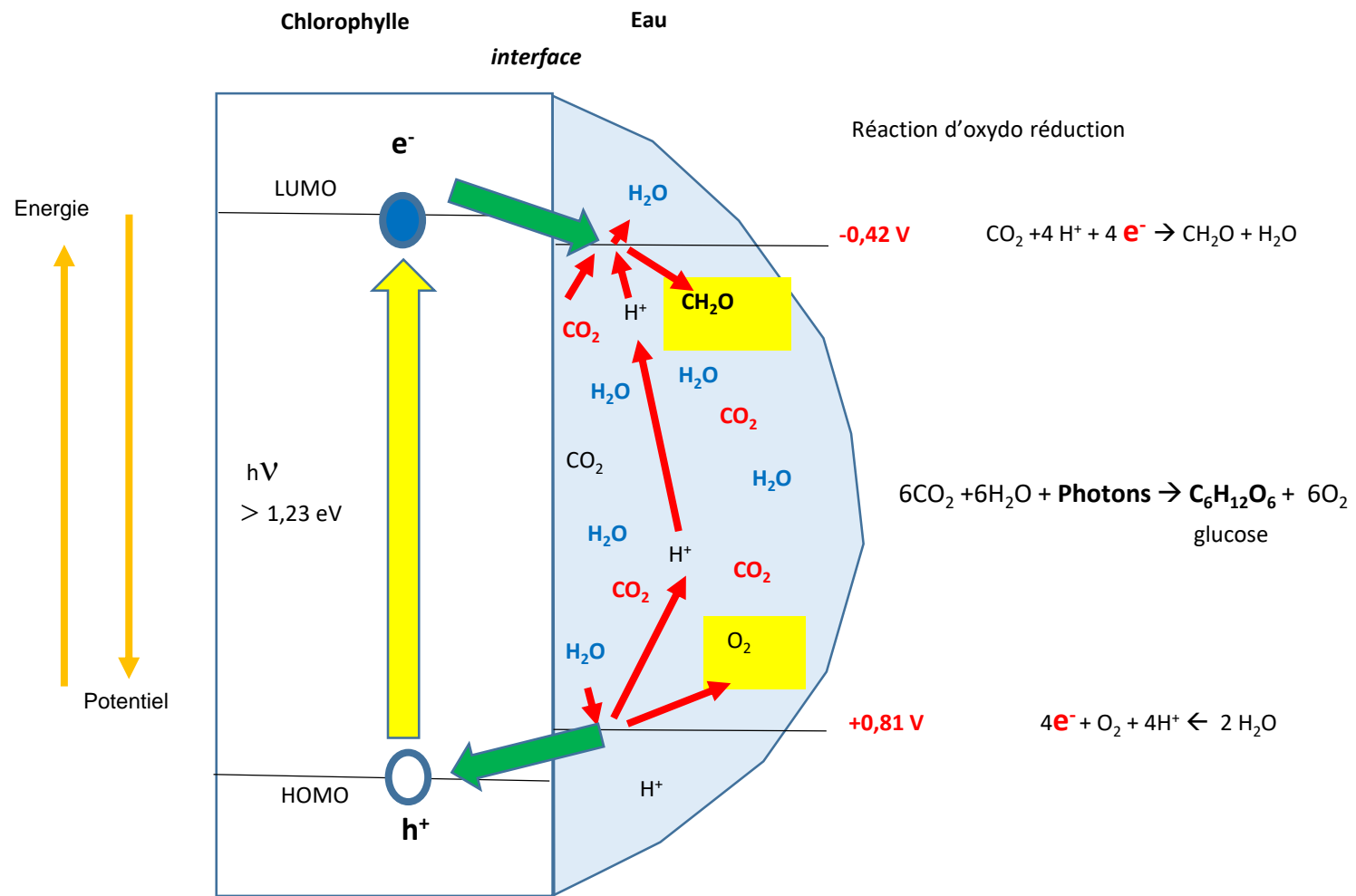
-3 milliards d'années → La photosynthèse chlorophyllienne =
Photovoltaïque + stockage + transport → Matière → Vie

Paysage photovoltaïque naturel



Source : "Photosynthèse" - Université Lausanne

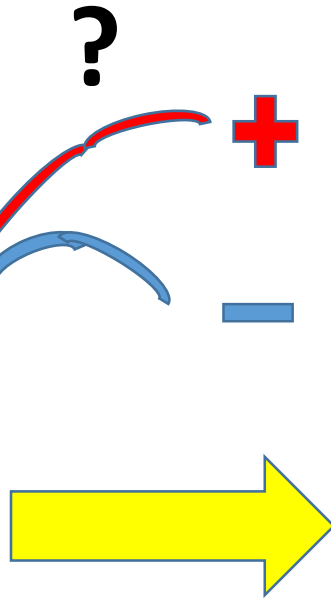
Daniel Lincot , Midi Minatec, 25-11-2022



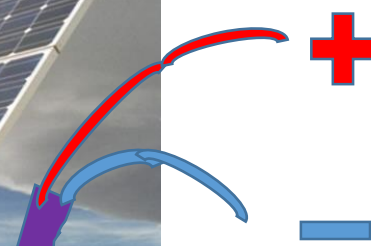
l'invention du photovoltaïque



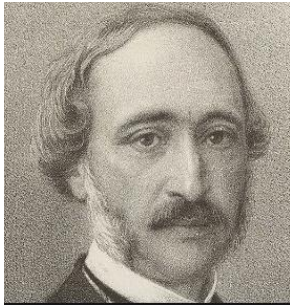
chlorophylle



Silicium



2020



Edmond Becquerel
1839

Conversion photovoltaïque



Soleil Fusion

Lumière

Chaleur

vent

Energie Eolienne

Évaporation

Energie hydraulique

Photovoltaïque
-3 Mds années

Photosynthèse

biomasse

Electricité

travail

1771
J. Priesley



40 TW

Charbon

Pétrole, gaz

Chaleur

Alternateurs

Éléments chimiques

Uranium
(fission)

1800 A. Volta

1896/1903

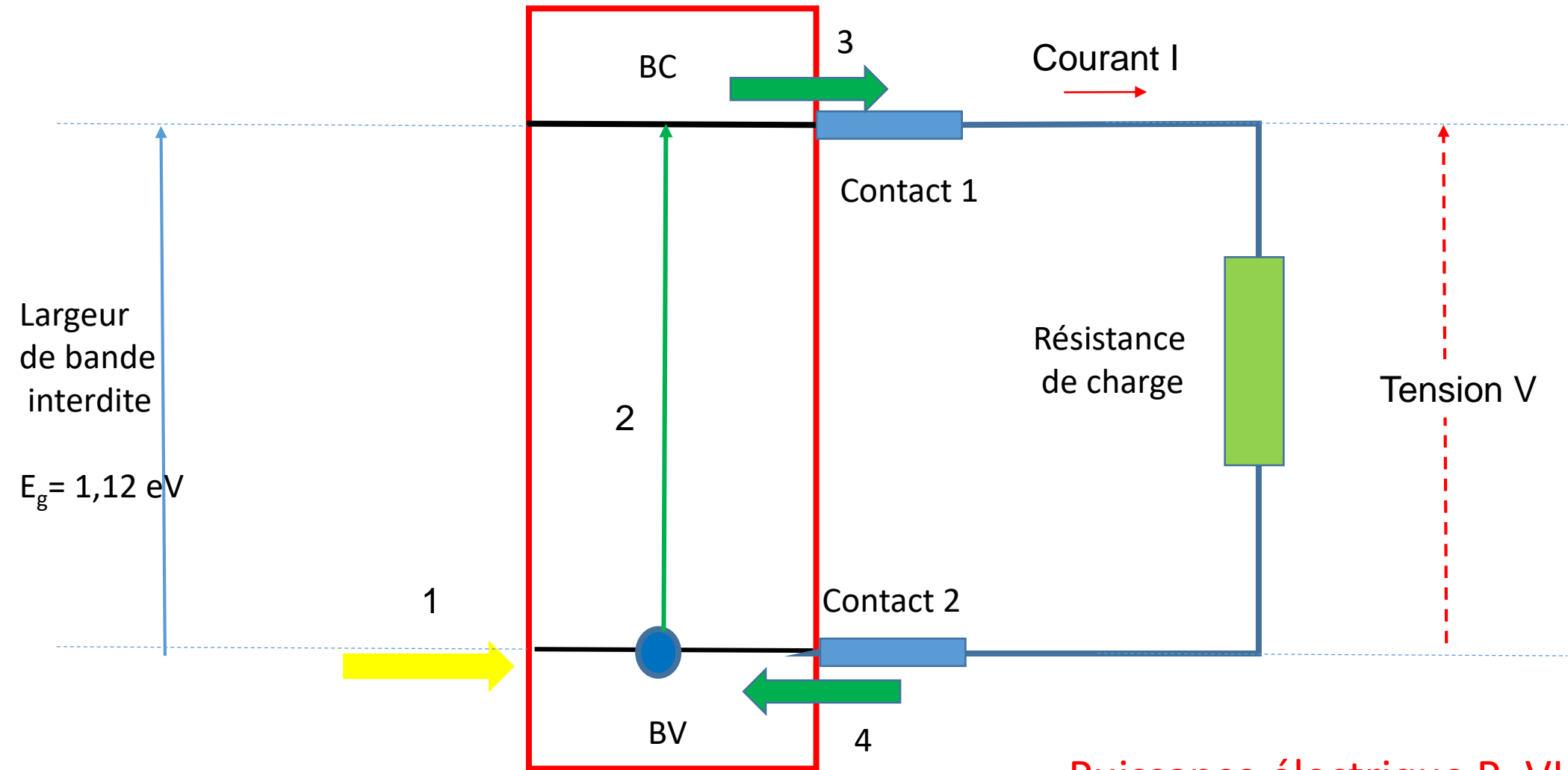


Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie



Semi-conducteur
Silicium

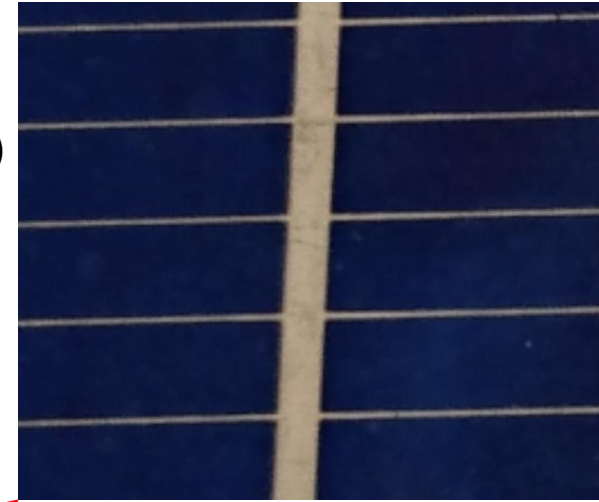
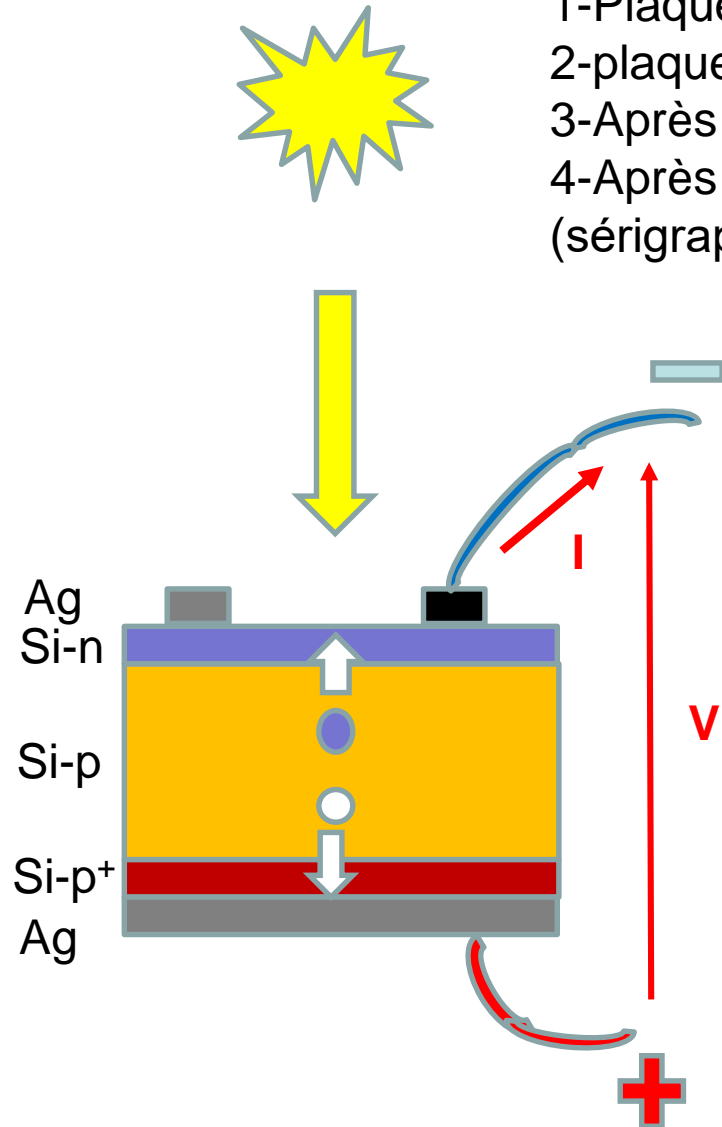
Circuit extérieur



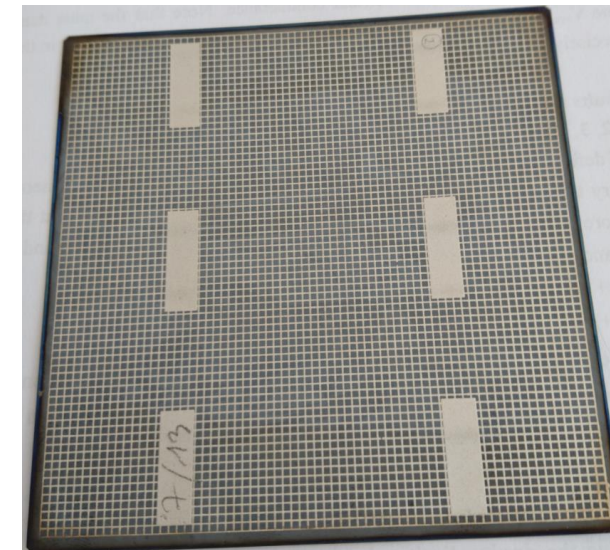
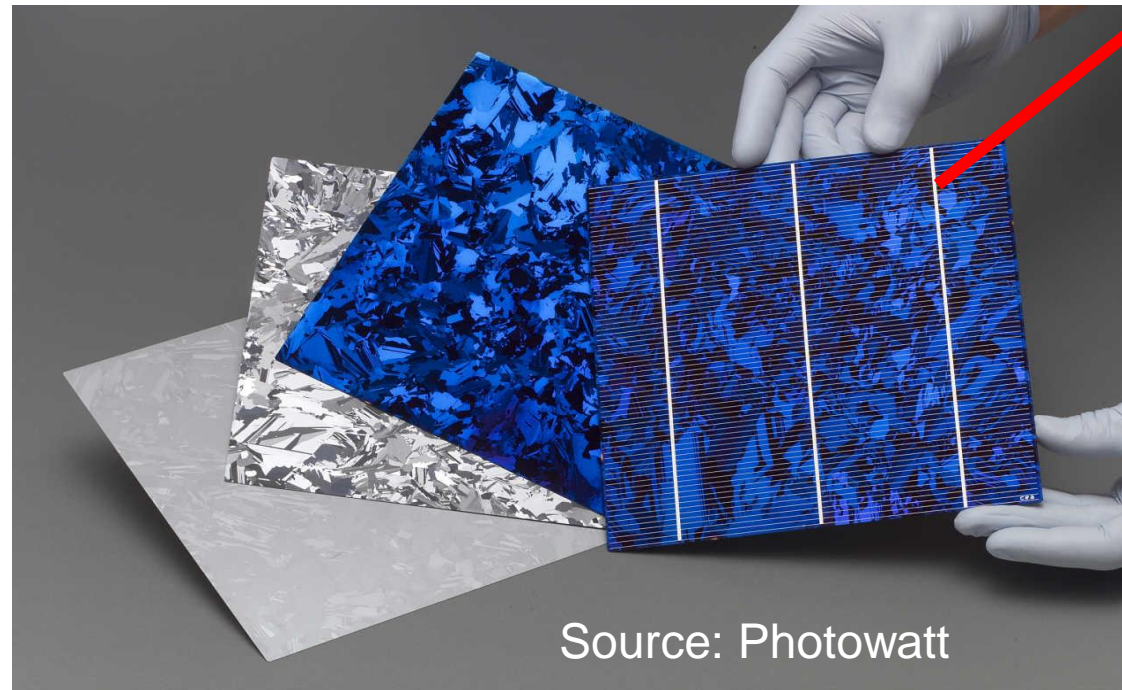
Puissance électrique $P=VI$

Cellule Photovoltaïque au silicium (2010)

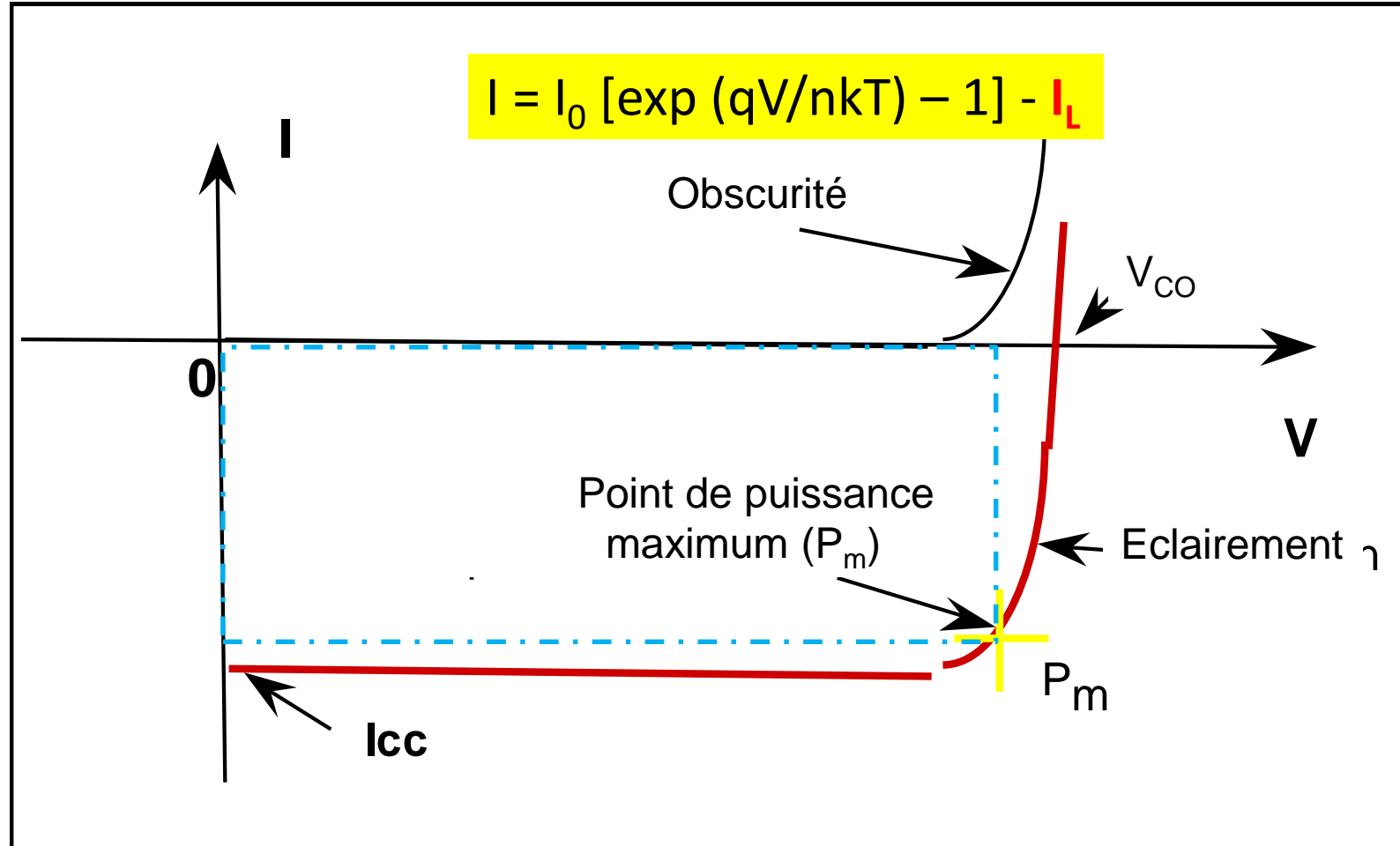
- 1-Plaquette de type p (dopage bore) brute de sciage,
- 2-plaquette découpée et avec un dopage superficiel n (phosphore)
- 3-Après couche anti-reflet (oxyde de titane)
- 4-Après dépôt de la grille de collecte des électrons photogénérés (sérigraphie à la pate à l'argent)



Face arrière



Caractéristique courant –tension (I-V) d'une cellule solaire:



$$P_m = FF \times V_{co} \times I_{cc}$$

FF facteur de remplissage

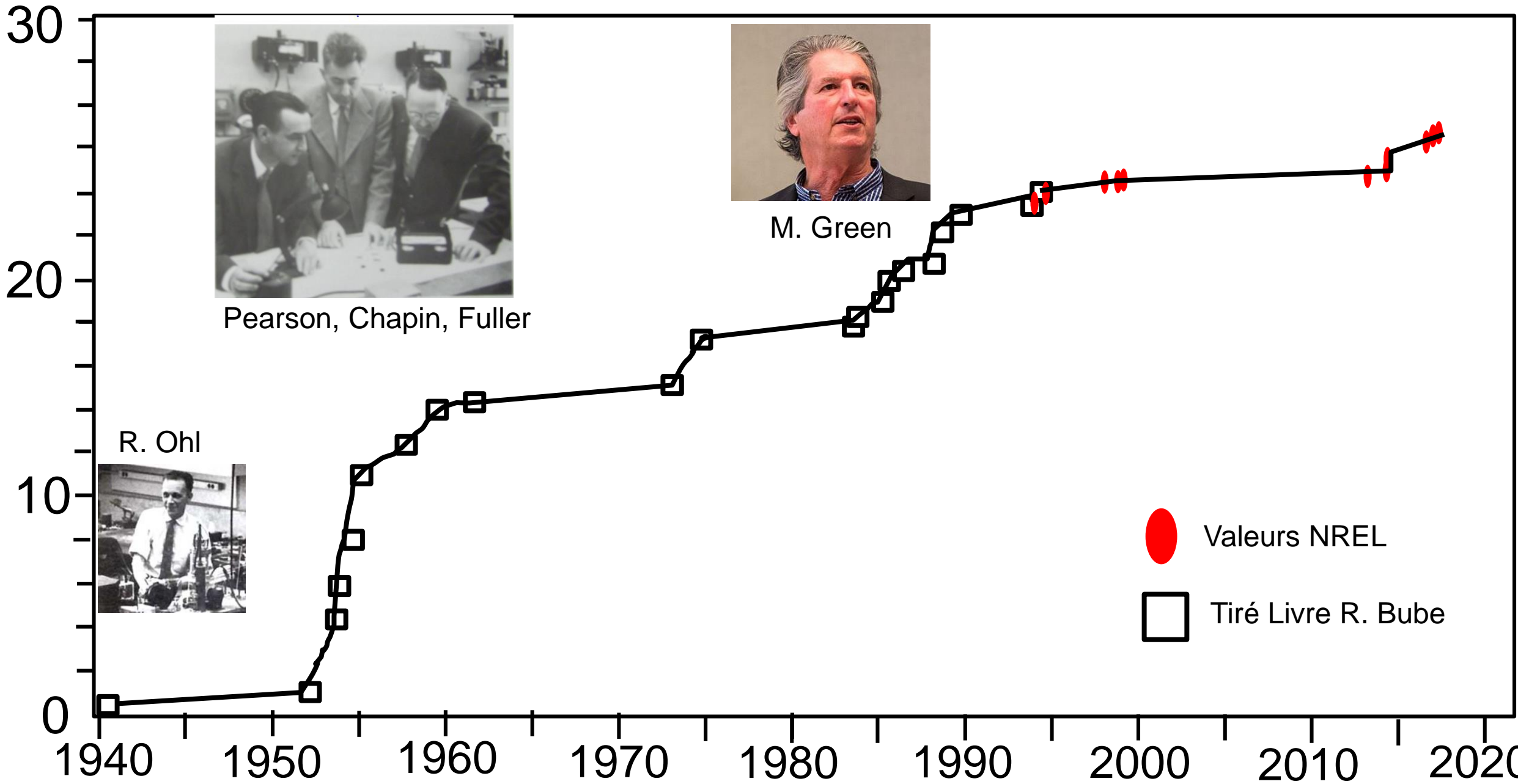
$$\text{Rendement de conversion} = P_m / P_{\text{lumière}}$$

Conditions standard 1000 W/m^2

Rendement de 10% veut dire $P_m = 100 \text{ W/m}^2$

Rendement de conversion en %

La longue marche des cellules silicium



R. Ohl

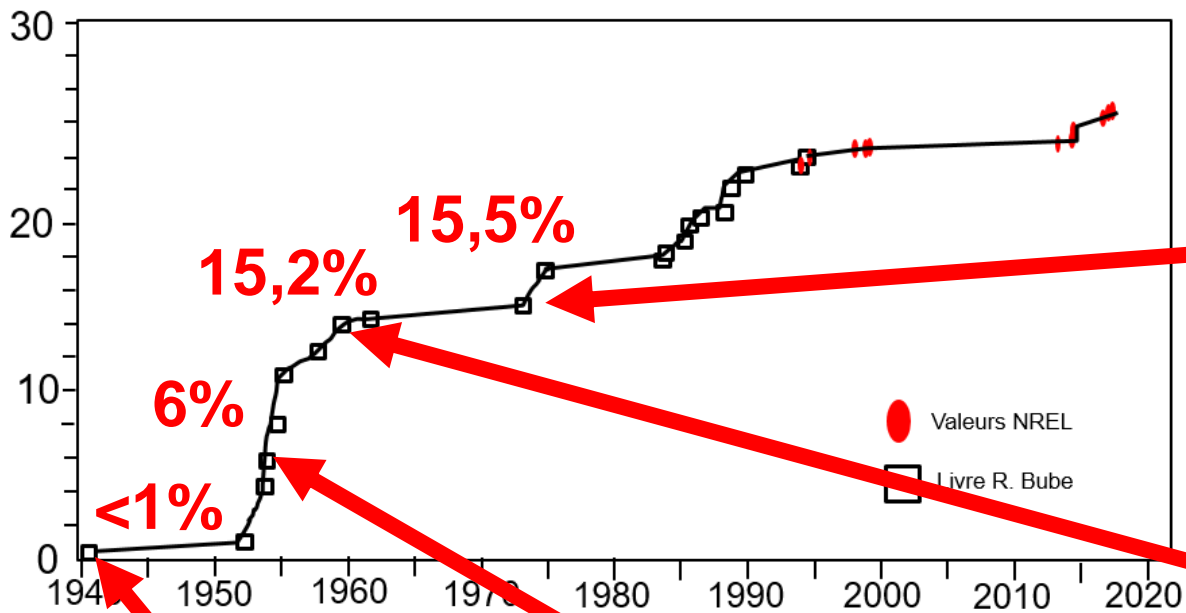


Pearson, Chapin, Fuller

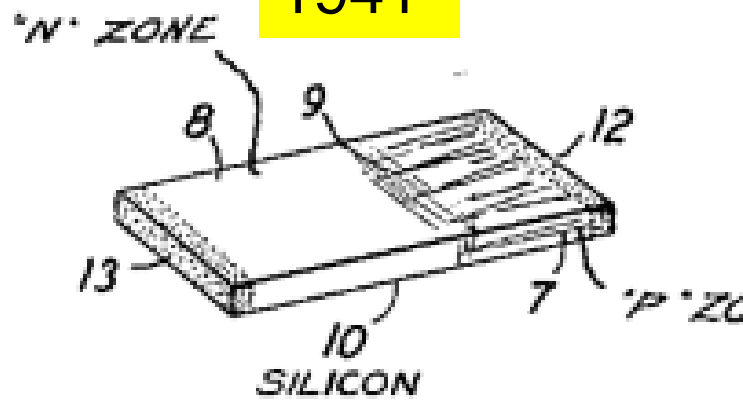


M. Green

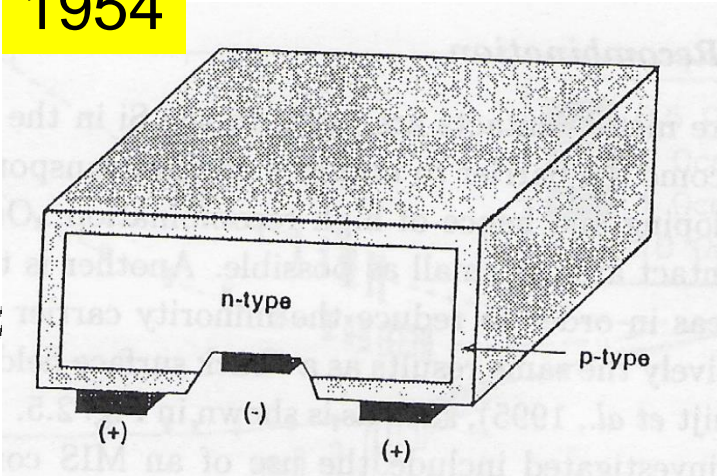
- Valeurs NREL
- Tiré Livre R. Bube



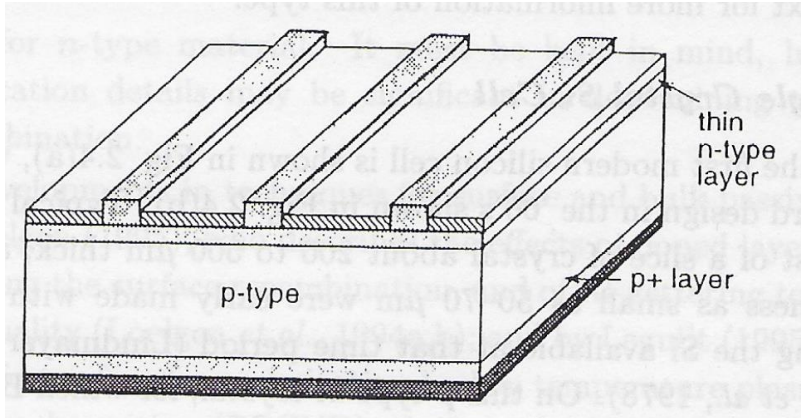
1941



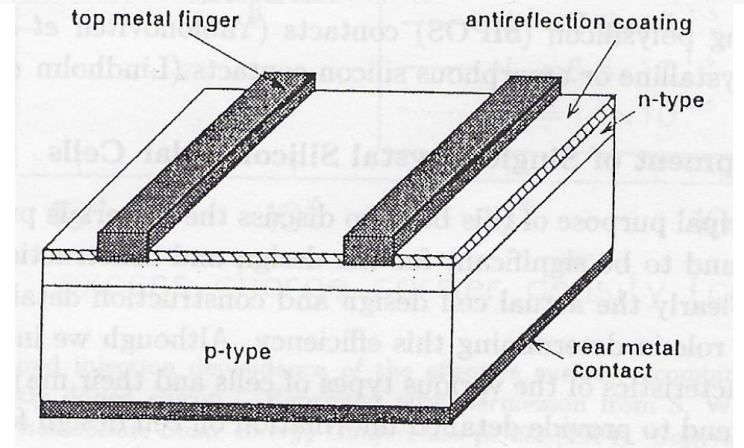
1954



1973

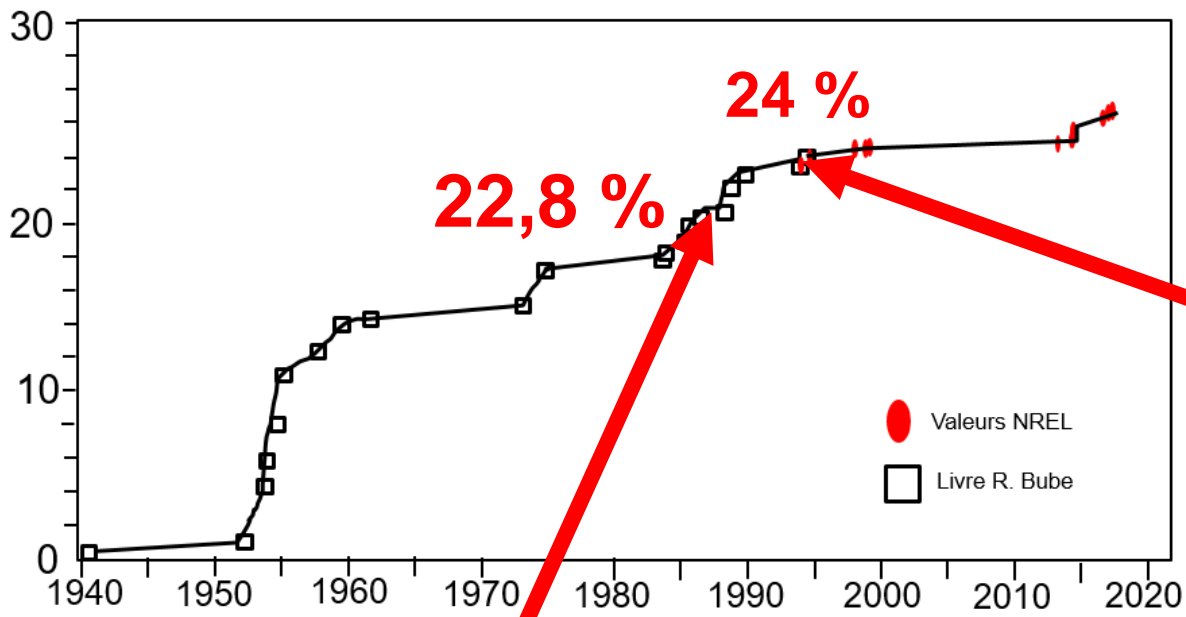


1962



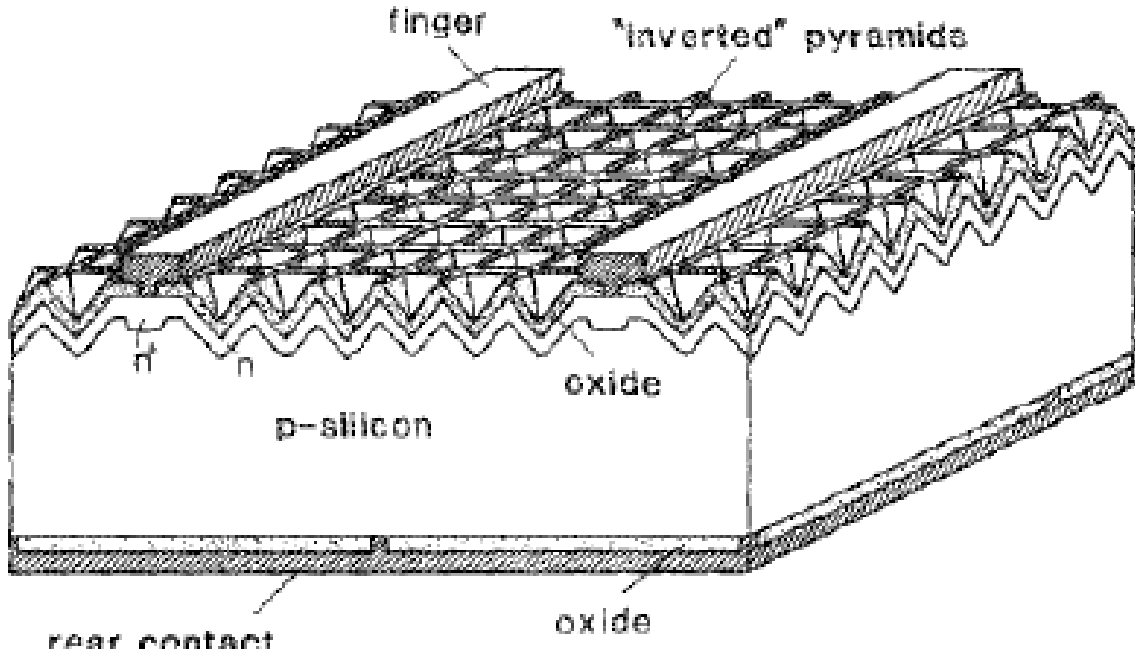
1958



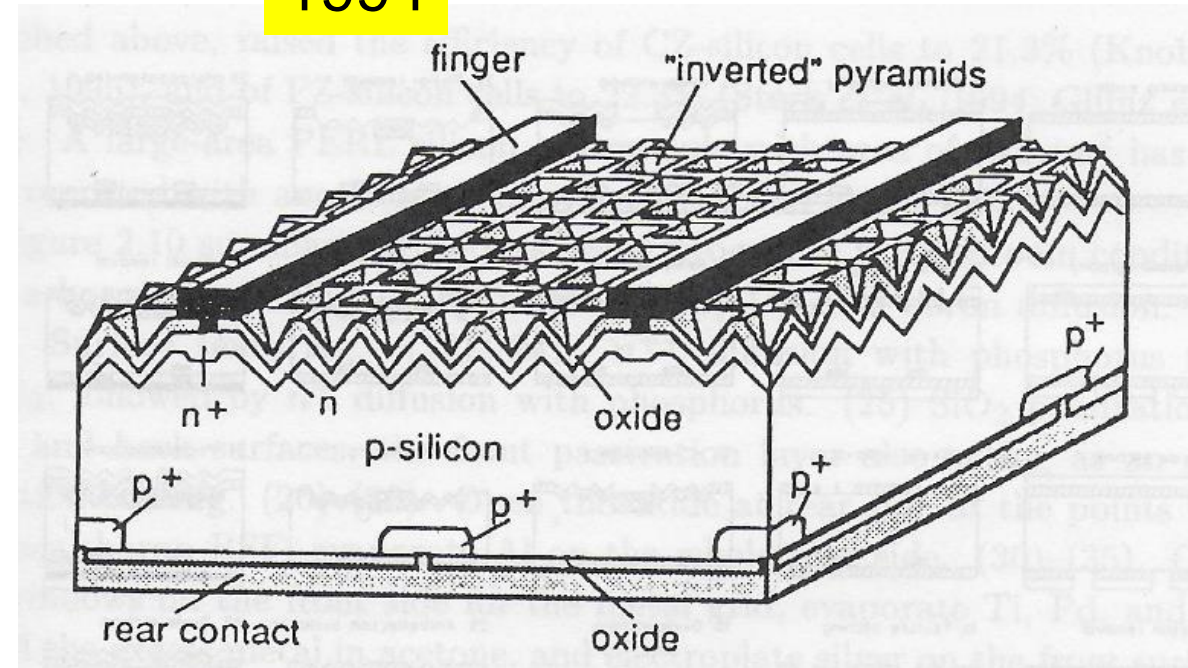


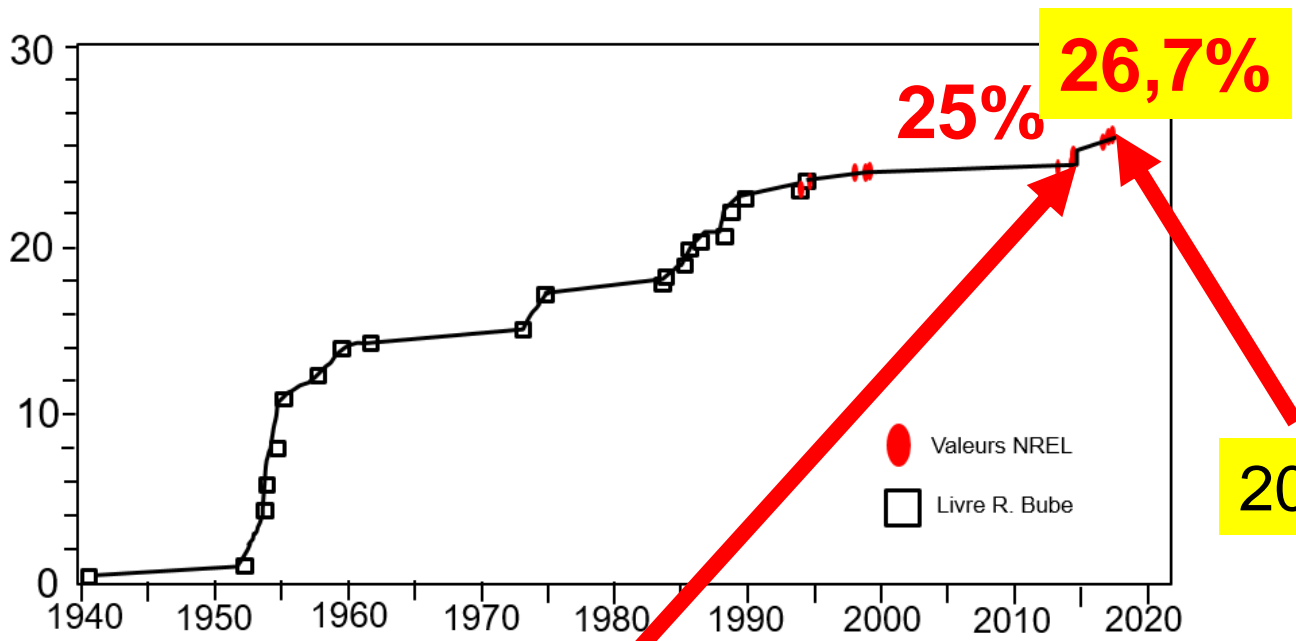
Introduction de l'architecture à émetteur passivé et contact Arrière Localement diffusé (PERL)

1989



1994



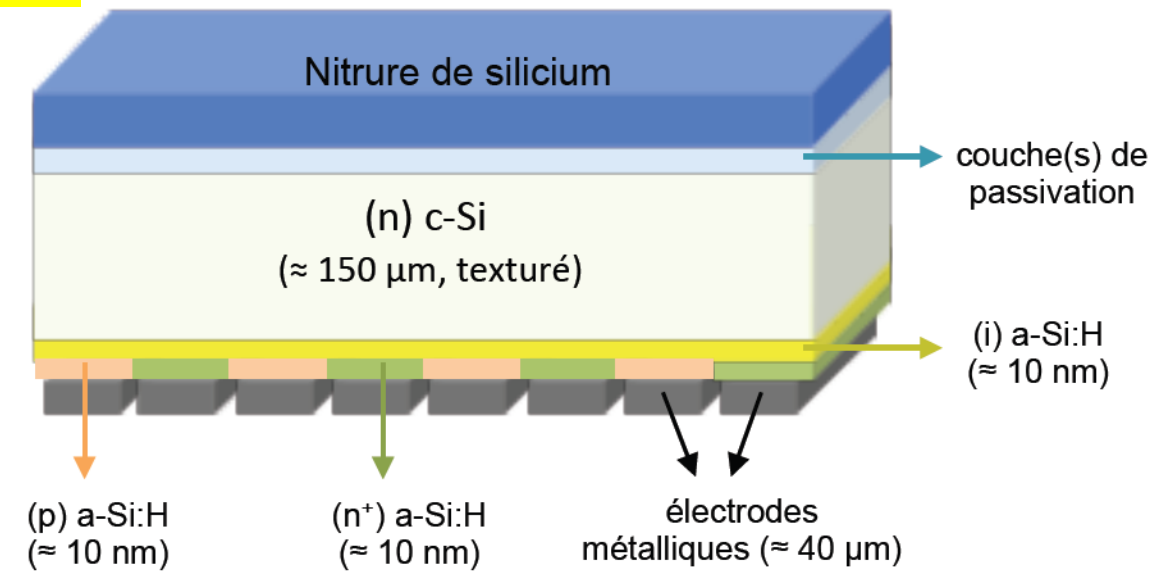
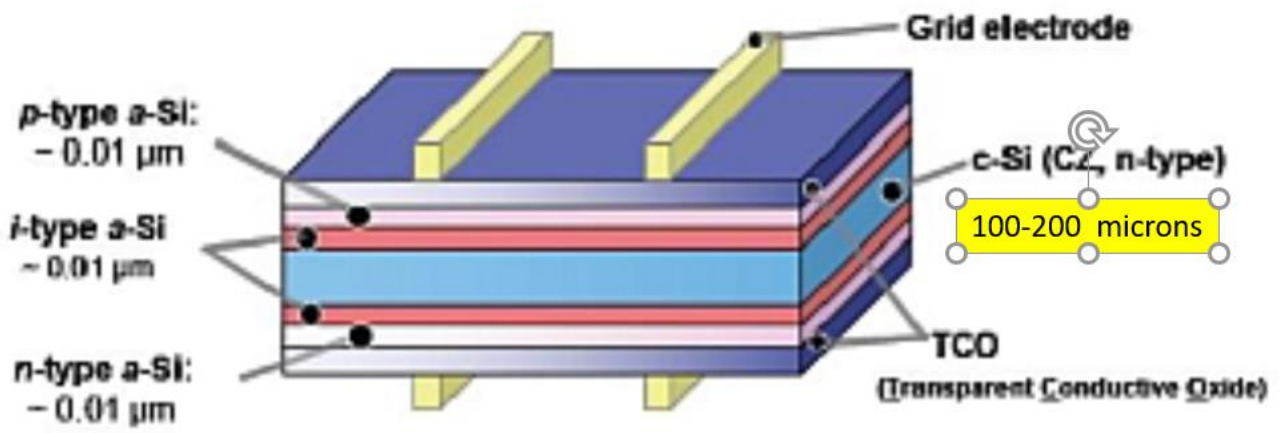


2014

Rupture technologique majeure les cellules à hétérojonction (HIT)

2014

2017

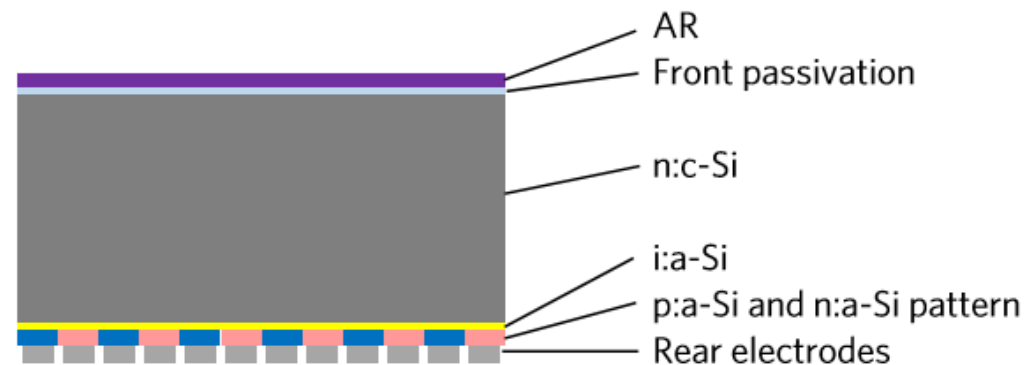


Record mondial HIT avec contacts arrières interdigités (HIT-IBC)

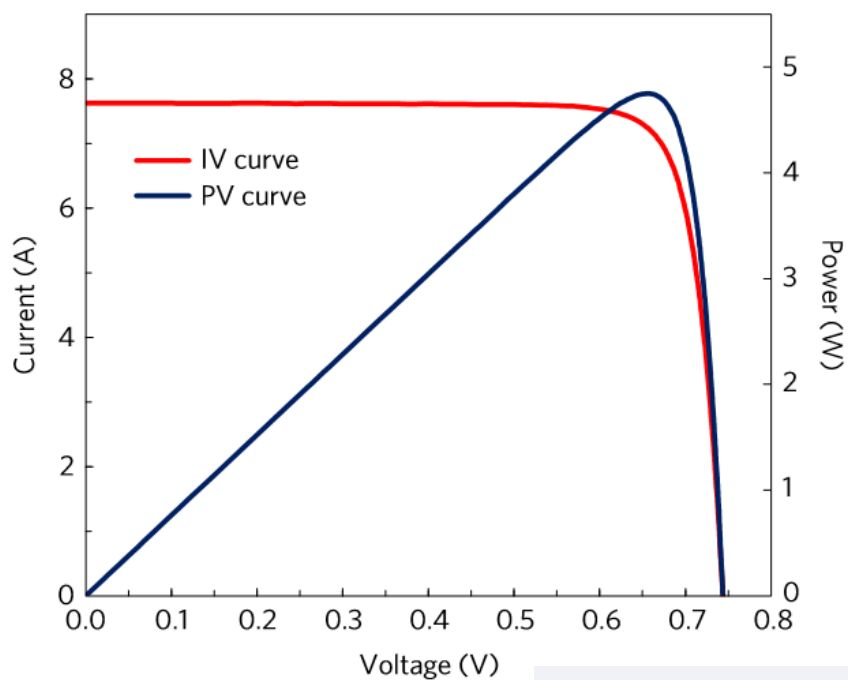
26.7% la cellule championne du monde

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

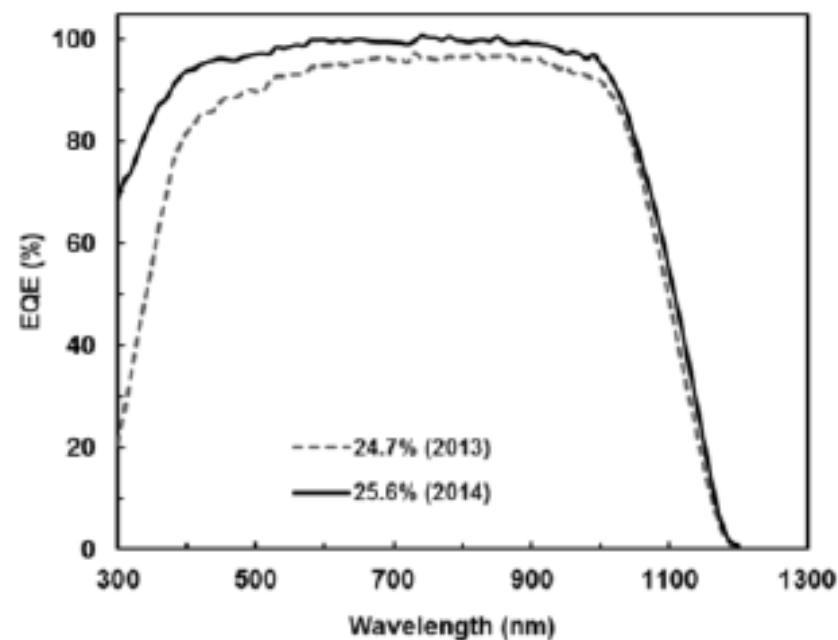
Kunta Yoshikawa*, Hayato Kawasaki, Wataru Yoshida, Toru Irie, Katsunori Konishi, Kunihiro Nakano, Toshihiko Uto, Daisuke Adachi, Masanori Kanematsu, Hisashi Uzu and Kenji Yamamoto



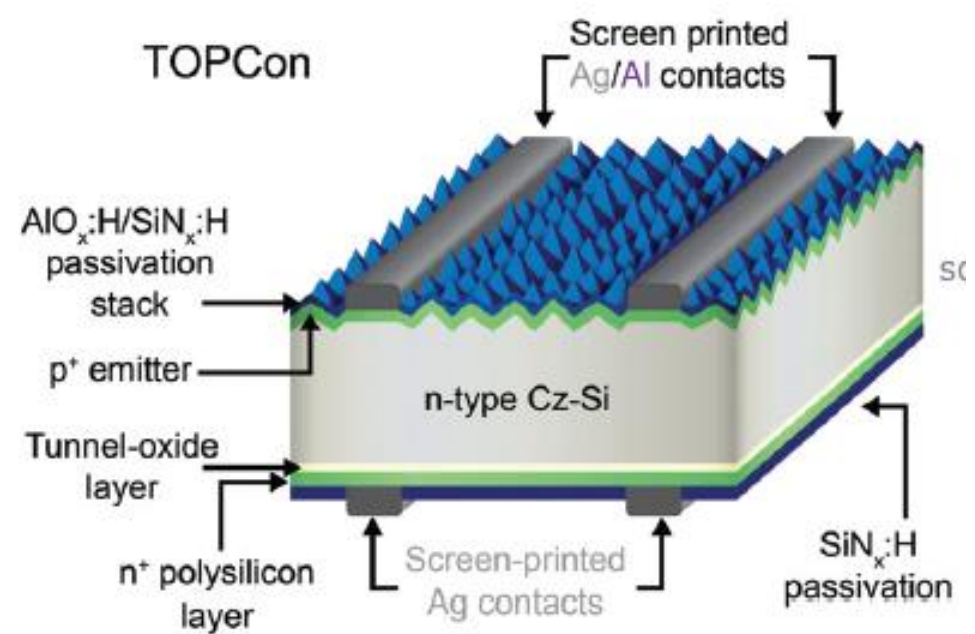
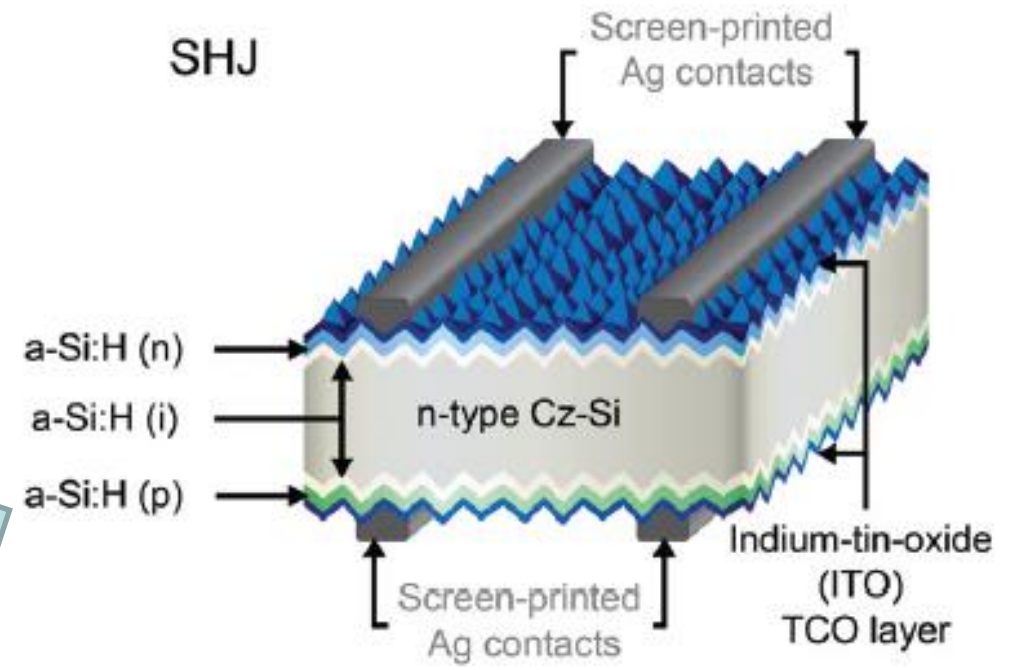
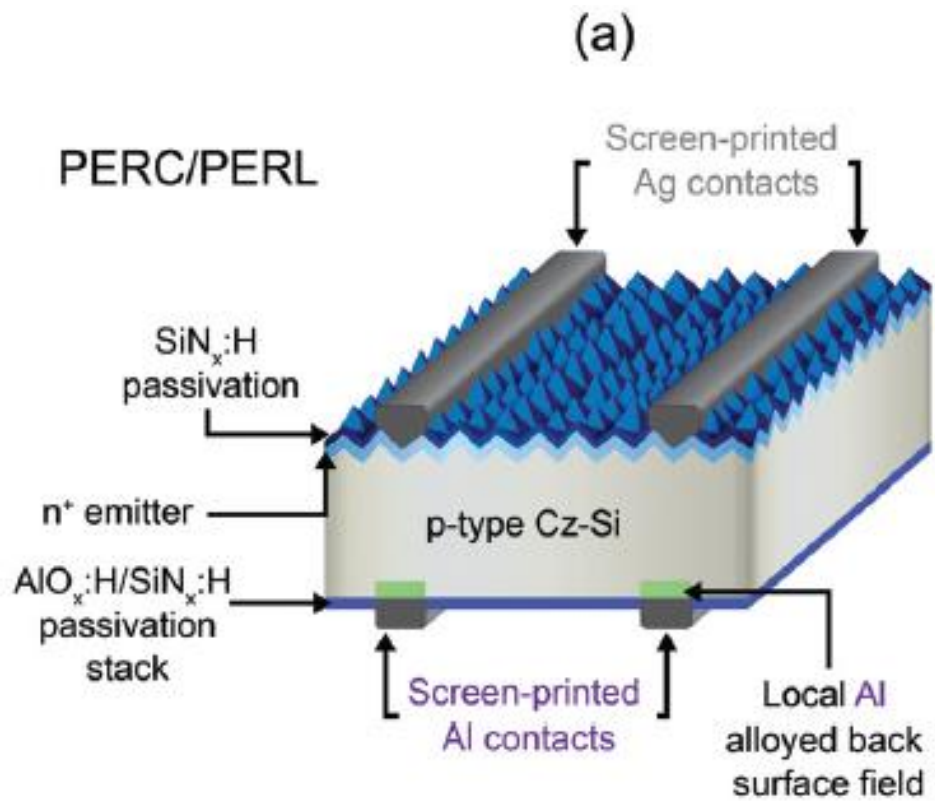
Caractéristique courant tension

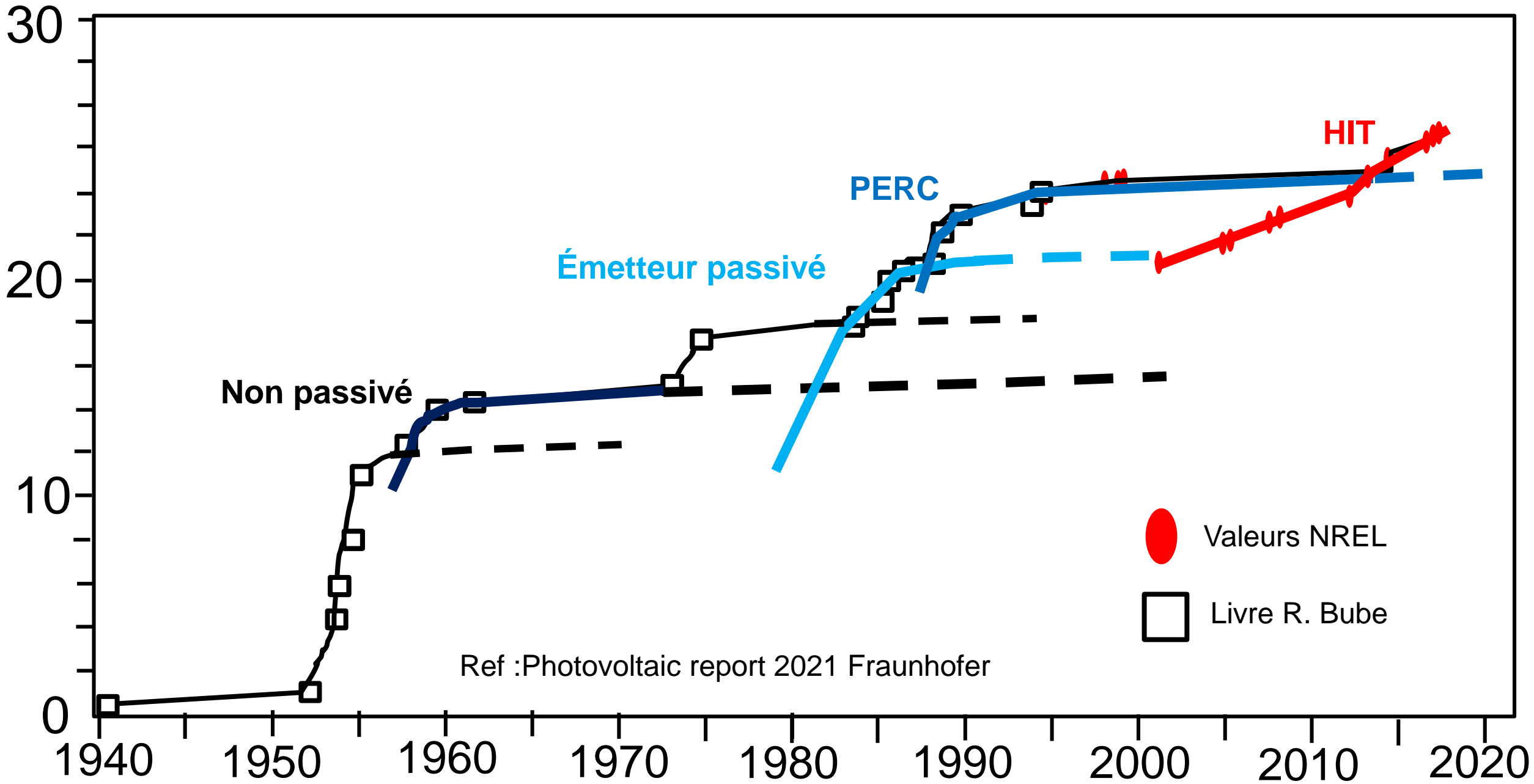


Réponse spectrale



V_{OC} (V)	J_{SC} ($mA\ cm^{-2}$)	FF%	Eff%	Area (cm^2)	W (μm)
0.744	42.3	83.8	26.3 ± 0.5	180.4 (da)	165





Une progression spectaculaire

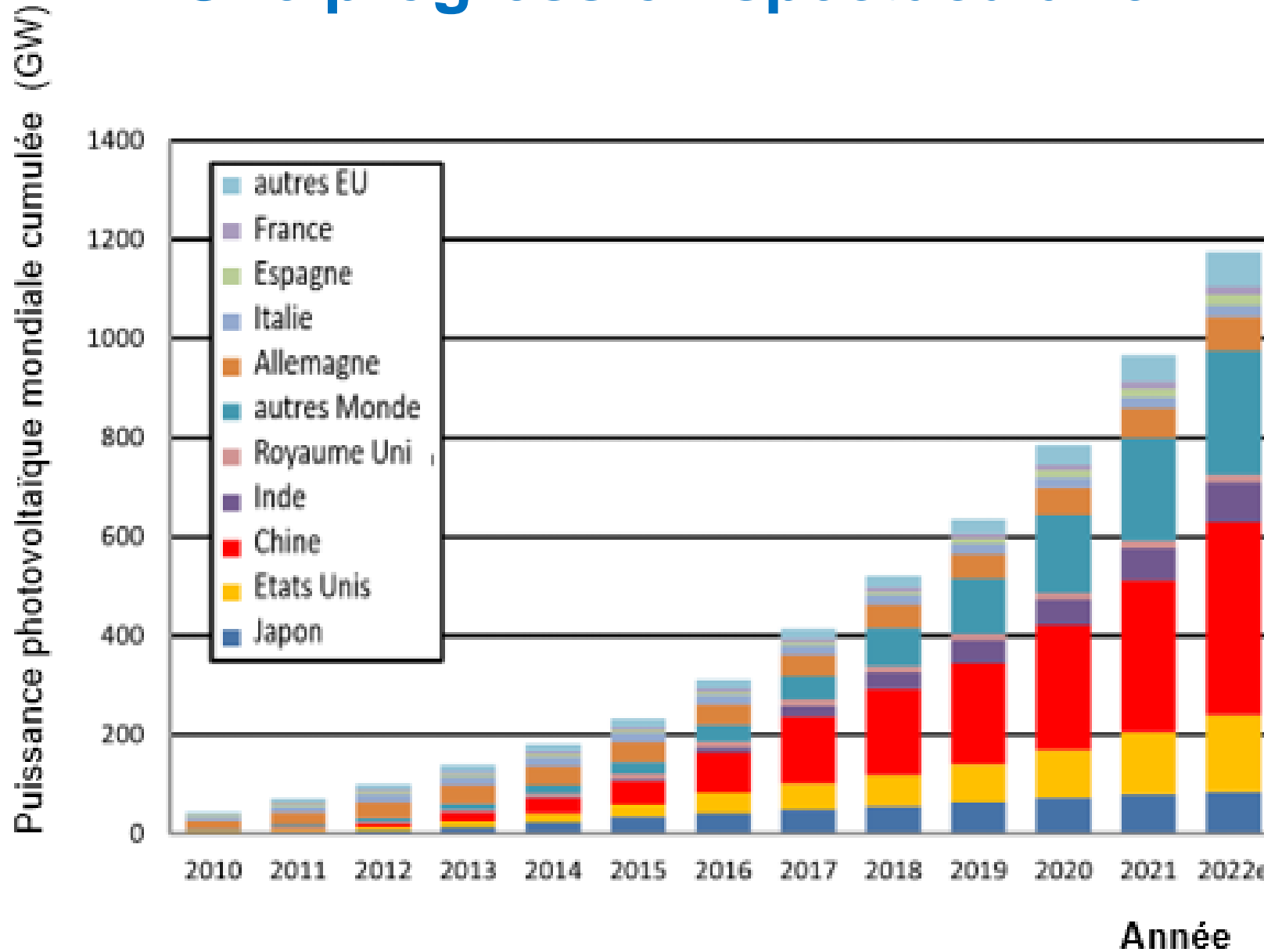
























TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2021

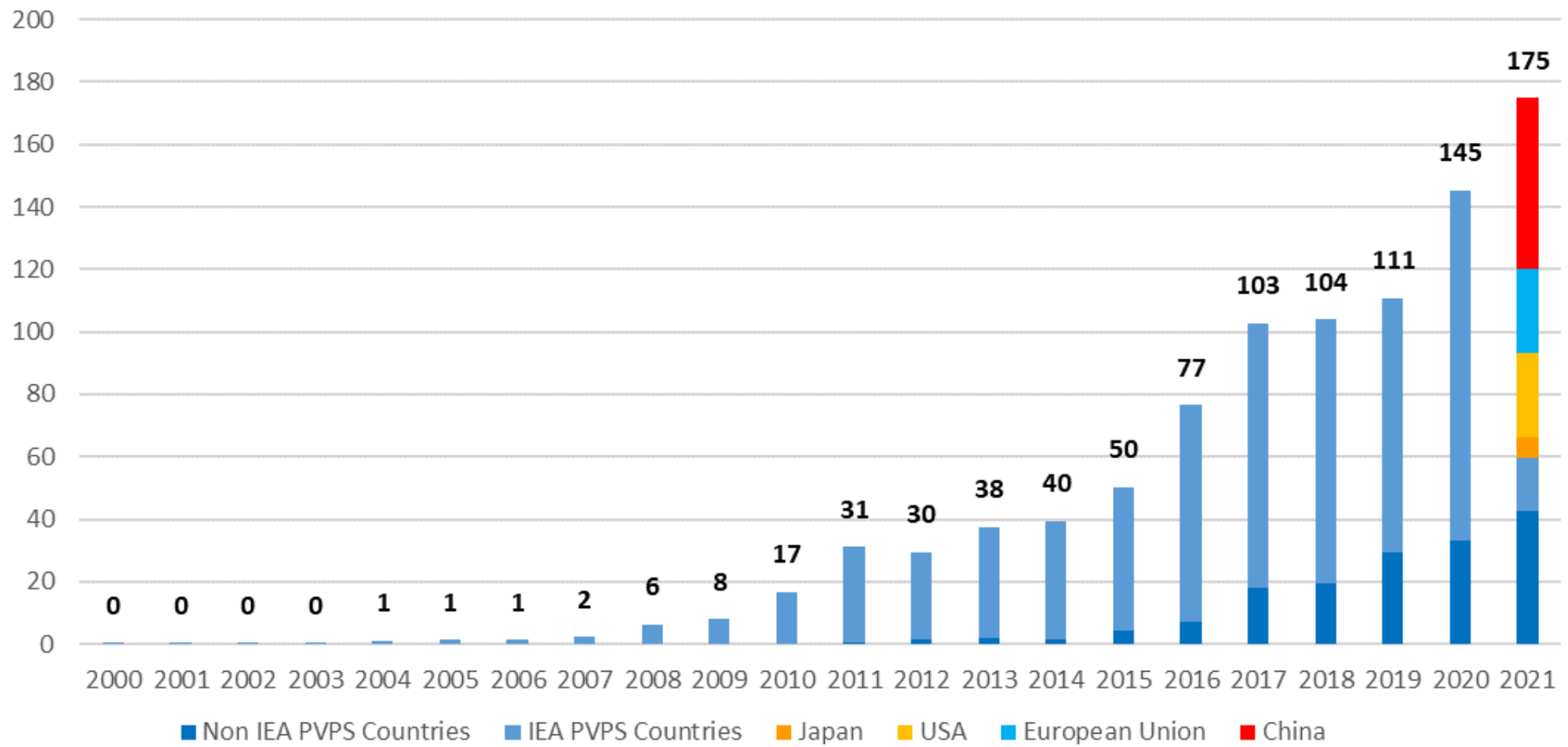
FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY

FOR CUMULATIVE CAPACITY

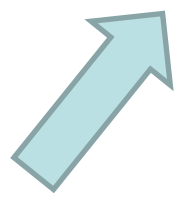
1		China	54,9 GW	1		China	308,5 GW
2		USA	26,9 GW	(2)		European Union*	178,7 GW
(3)		European Union*	26,8 GW	2		USA	123 GW
3		India	13 GW	3		Japan	78,2 GW
4		Japan	6,5 GW	4		India	60,4 GW
5		Brazil	5,5 GW	5		Germany	59,2 GW
6		Germany	5,3 GW	6		Australia	25,4 GW
7		Spain	4,9 GW	7		Italy	22,6 GW
8		Australia	4,6 GW	8		Korea	21,5 GW
9		Korea	4,2 GW	9		Spain	18,5 GW
10		France	3,3 GW	10		Vietnam	17,4 GW

GWp

FIGURE 1: EVOLUTION OF ANNUAL PV INSTALLATIONS



Vers
500-1TW
par an

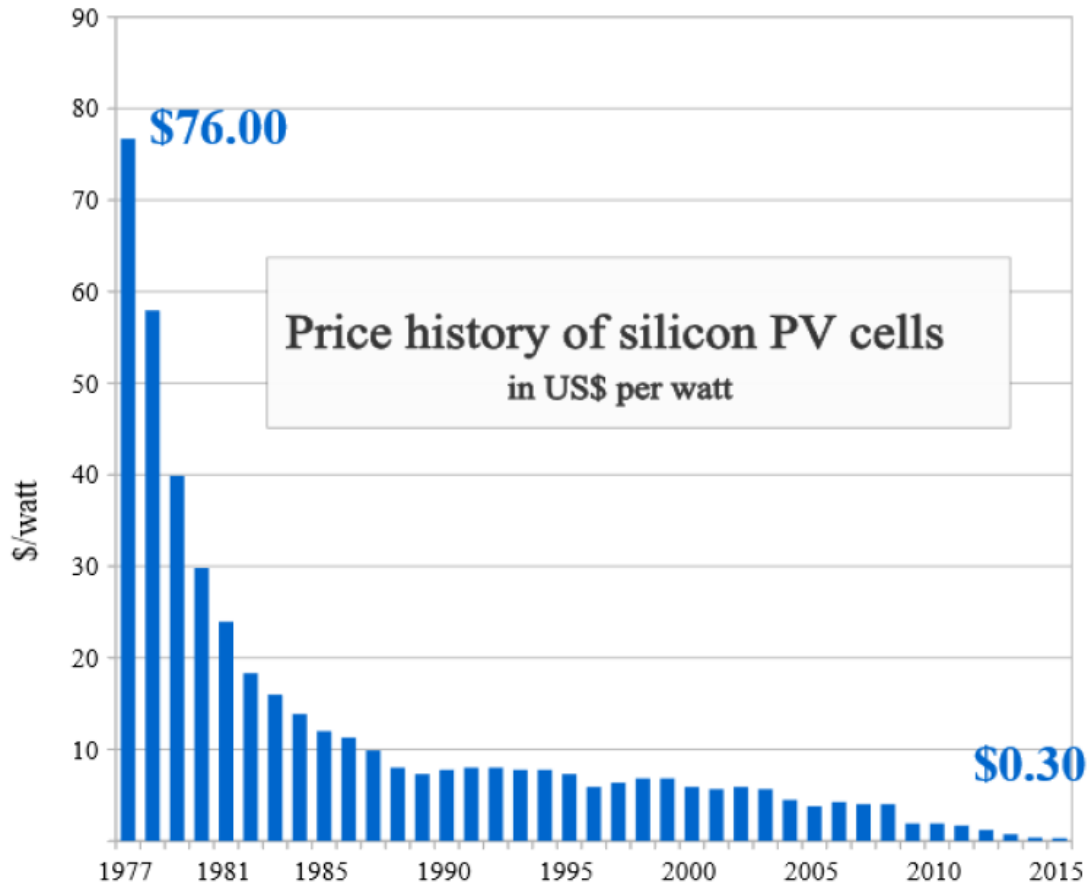


Snapshot 2022 figures

Gaëtan Masson, Operating Agent Task 1 IEA PVPS

Daniel Lincot , Midi Minatec, 25-11-2022

La compétitivité économique du photovoltaïque : une aubaine pour la transition énergétique



Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com

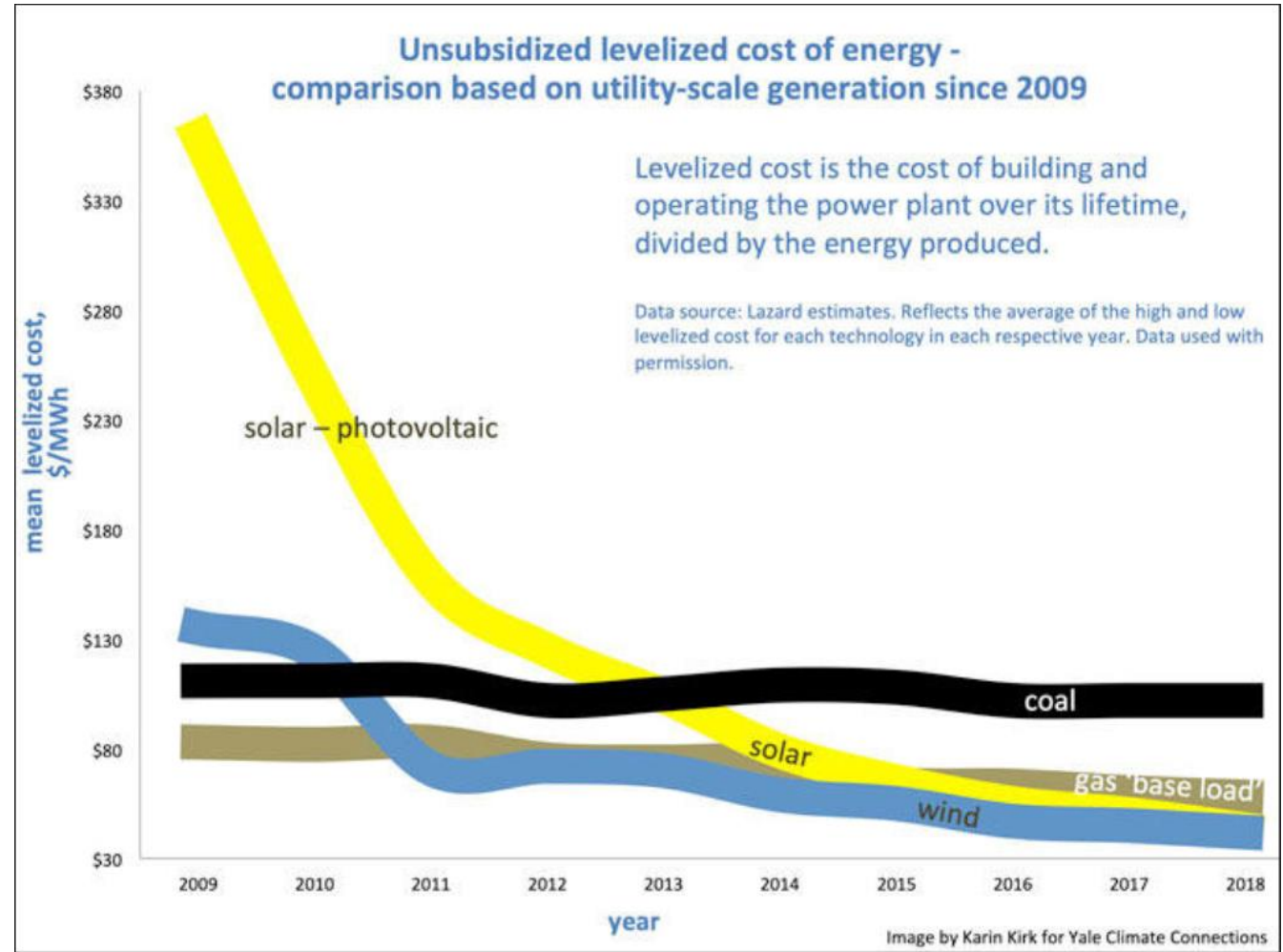
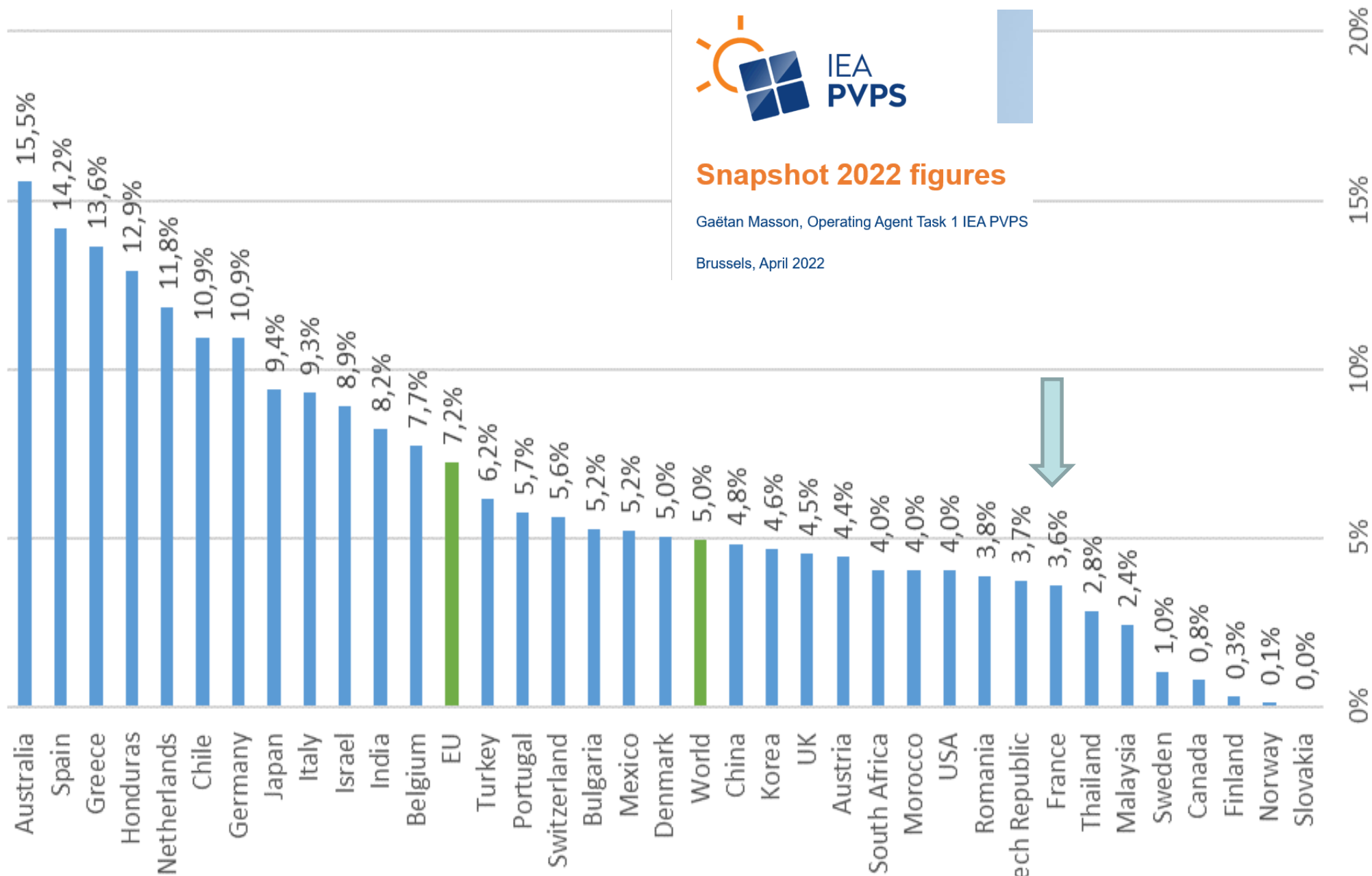


FIGURE 6: THEORETICAL PV PENETRATION 2021



Snapshot 2022 figures

Gaëtan Masson, Operating Agent Task 1 IEA PVPS

Brussels, April 2022

Milieu Urbain



Agriphotovoltaïque



Avion solaire



Solaire au sol



Photovoltaïque flottant



Grandes installations



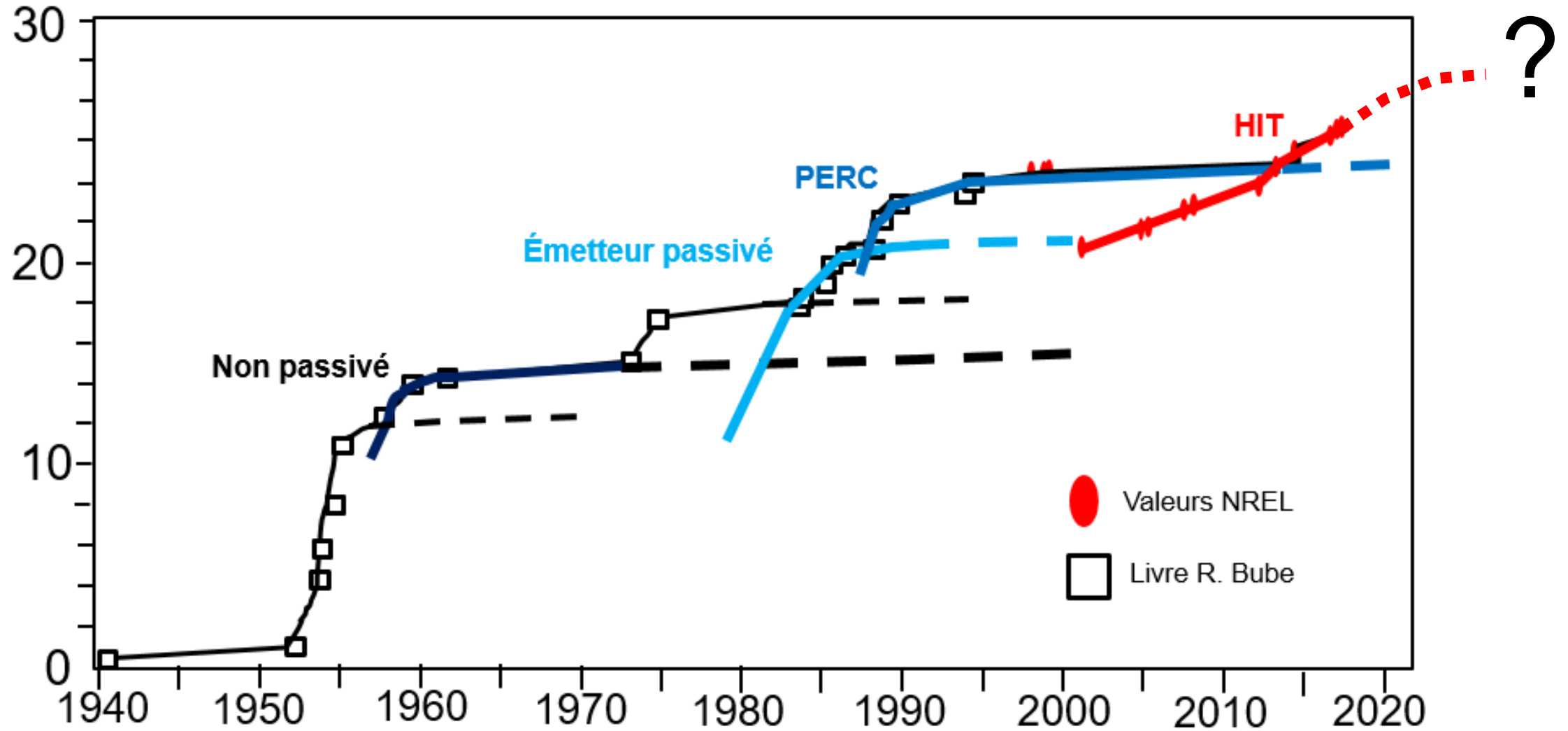
PV flexible
Design



PV Flexible
Voiles solaires
Applications
mobiles

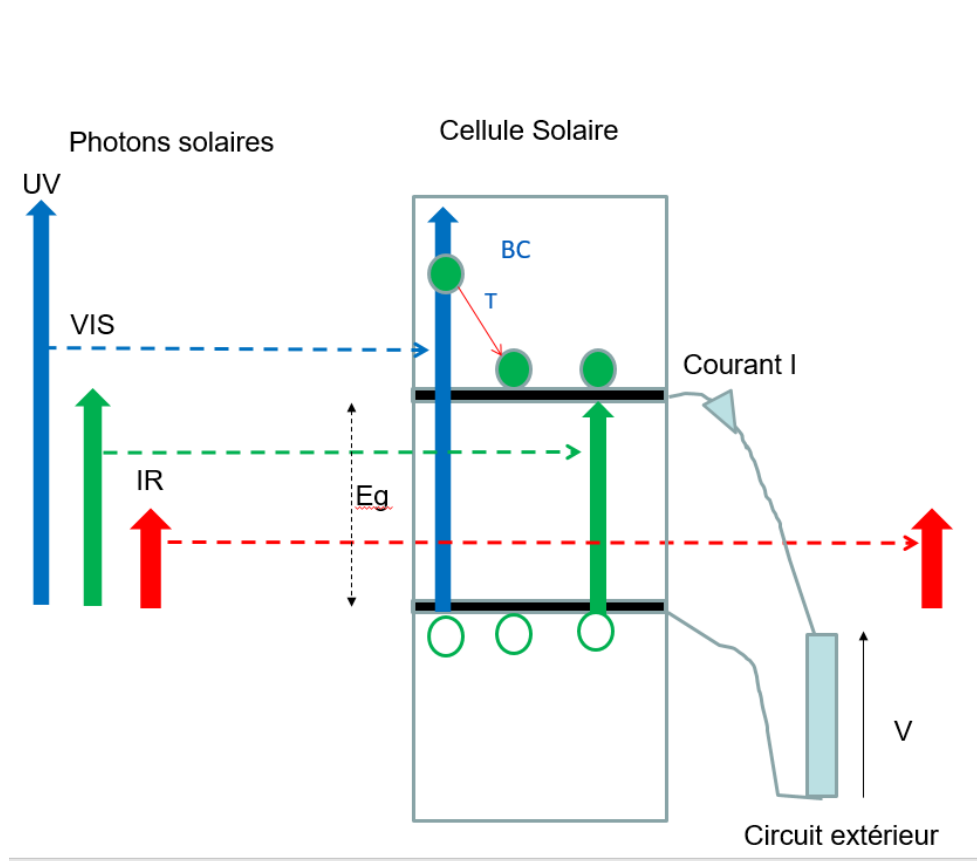


Quand atteindra t'on le rendement limite absolu ?

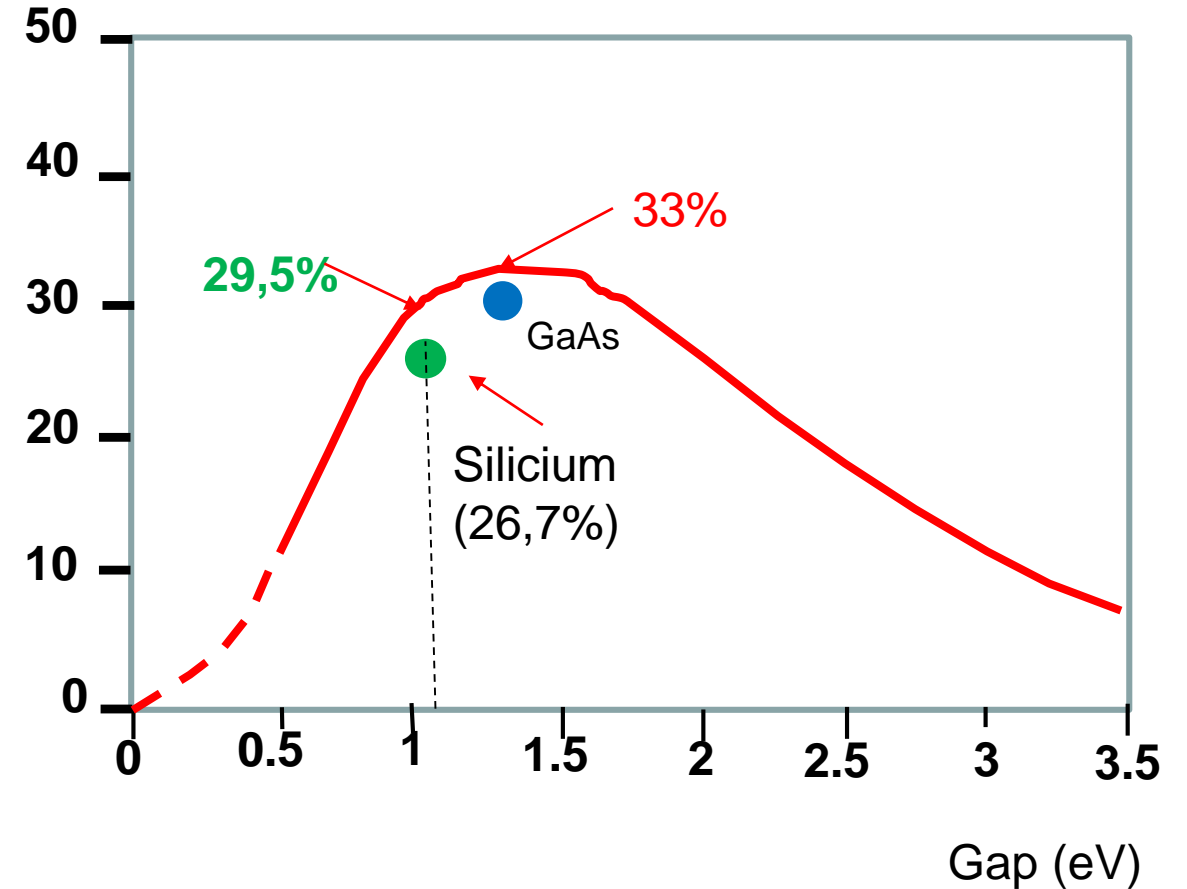


1961, W. Shockley et Queisser → Rendement théorique d'une cellule solaire simple (monojonction)

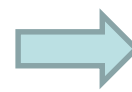
2011 L.C. Hirst et al. – Progress in Photovoltaics – 2011; 19:286-293 → JF Guillemoles et al. Nature Photonics | VOL 13 | AUGUST 2019 | 501–508 |



Rendement (%)



Le photocourant diminue avec le Gap
La phototension augmente avec le gap



Puissance présente un maximum

Peut-on encore augmenter le rendement
au-delà de la limite des 30%?

Que nous dit la thermodynamique ?

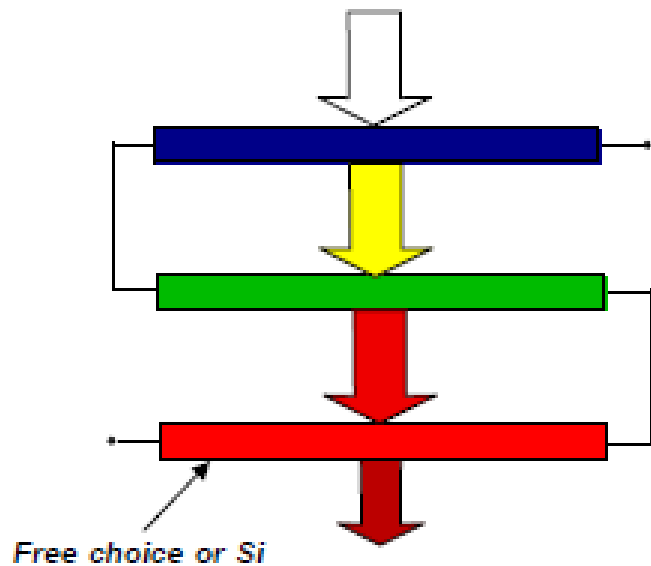
$$\begin{array}{l} \text{Rendement} \\ \text{de Carnot} \end{array} = 1 - \frac{\text{Température} \\ \text{source froide}}{\text{Température} \\ \text{source chaude}} \quad \begin{array}{l} \text{Cellule PV} \\ \\ \\ \text{Soleil} \end{array} = 1 - \frac{300}{6000} = 0,95 \rightarrow 95\%$$

Avec des modèles plus élaborés →

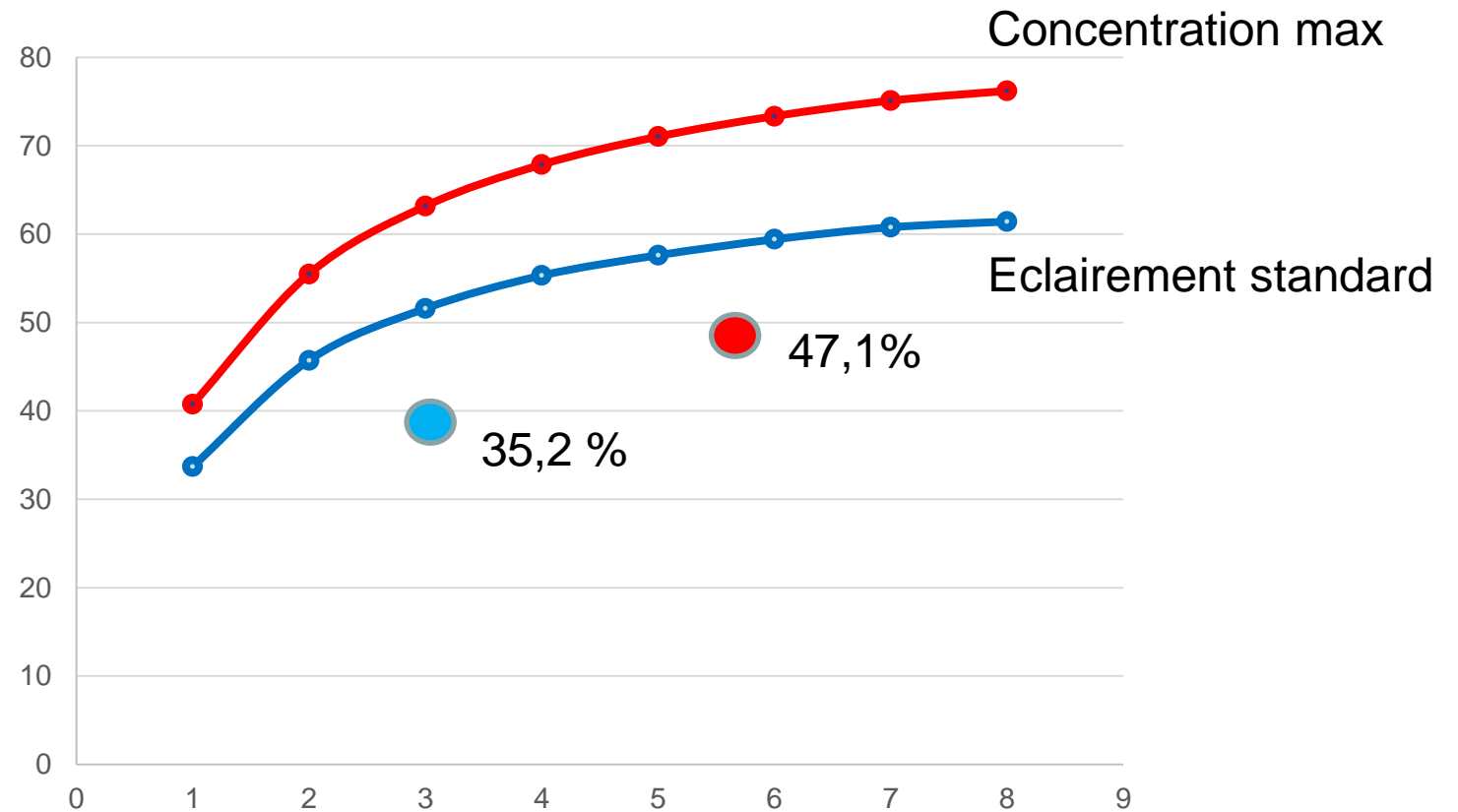
85% sous concentration

67 % sous éclaircissement standard

Un concept est disponible : les multijonctions



nombre	rendement
1	33,7
2	45,7
3	51,6

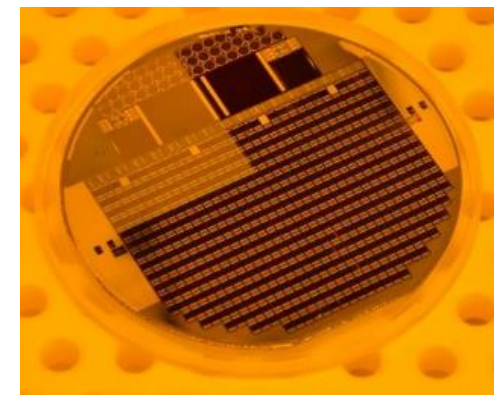


Rendements record actuels :
47,1% 6 jonctions sous concentration
35,2 % 3 jonctions en éclairage standard

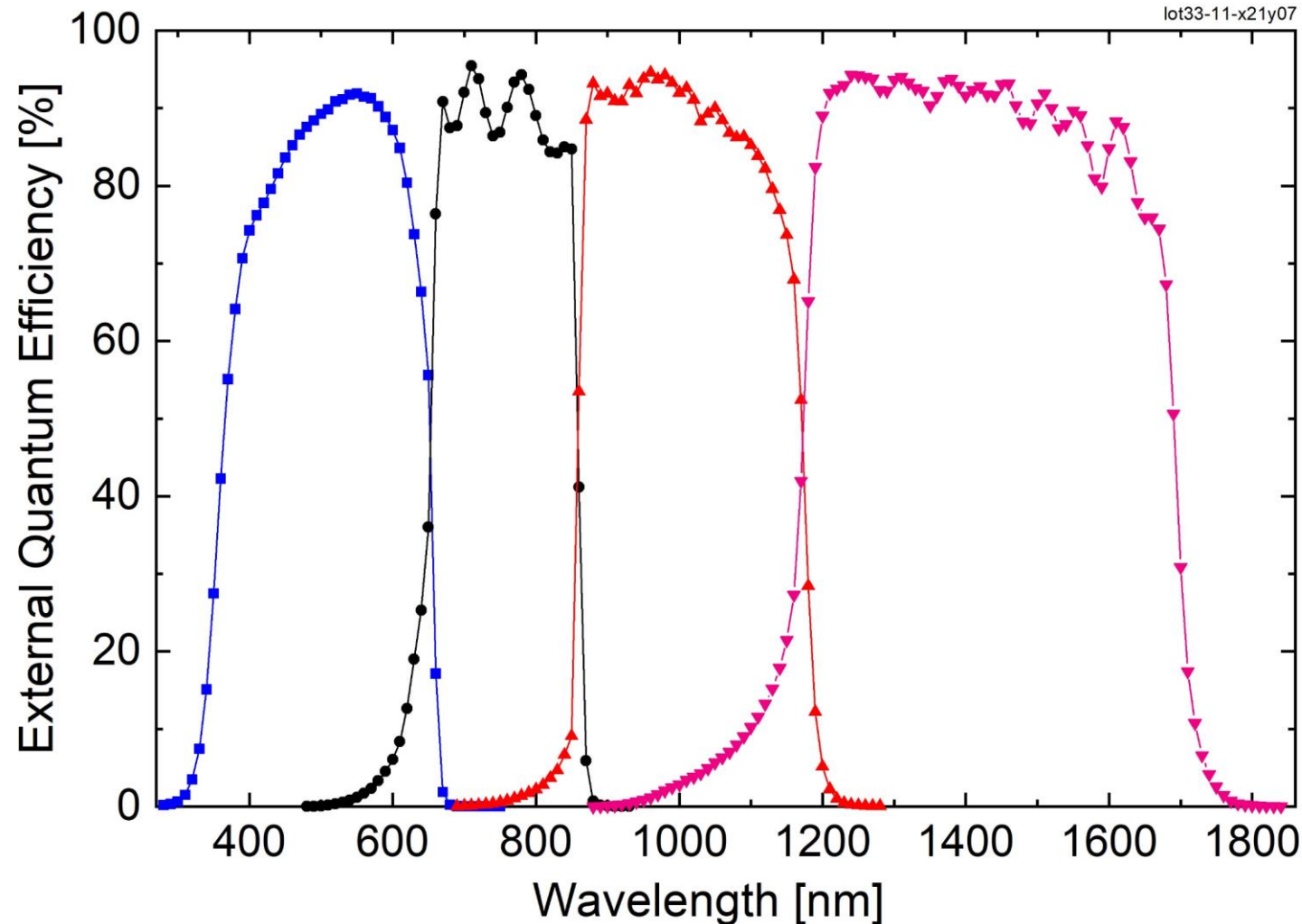
Les 50% en vue

PRESS RELEASE

Mai 2022



Fraunhofer ISE Develops the World's Most Efficient Solar Cell with 47.6 Percent Efficiency



GaInP

AlGaAs

GaInAsP

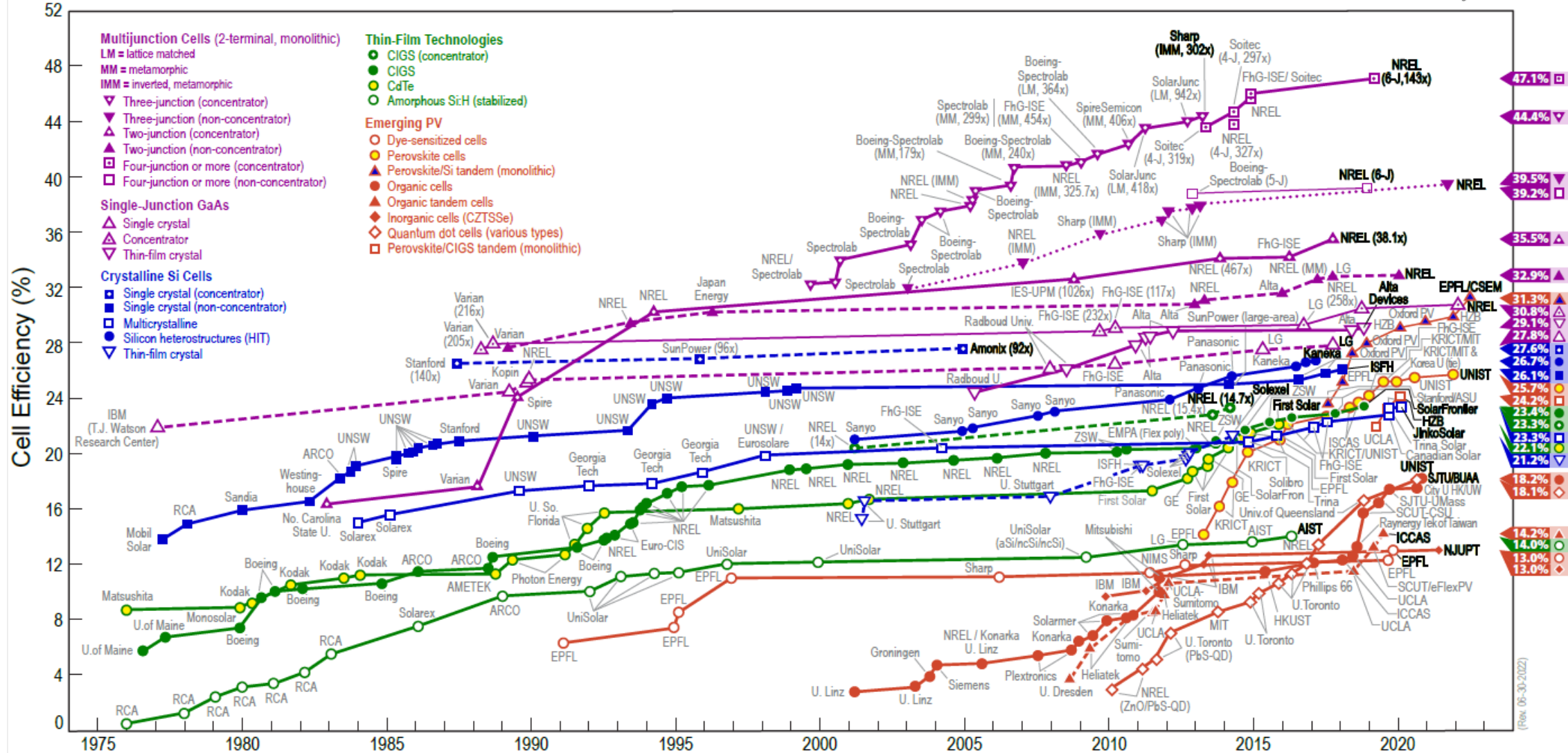
GaInAs

Concentration
= 665

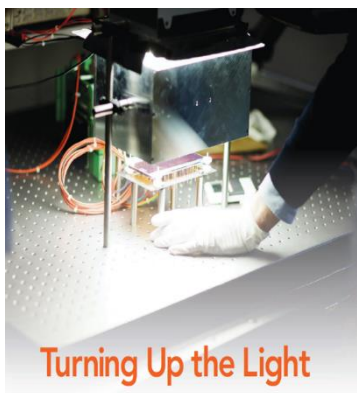
Le foisonnement des recherches sur le photovoltaïque



Best Research-Cell Efficiencies



La découverte des perovskites : la star du photovoltaïque

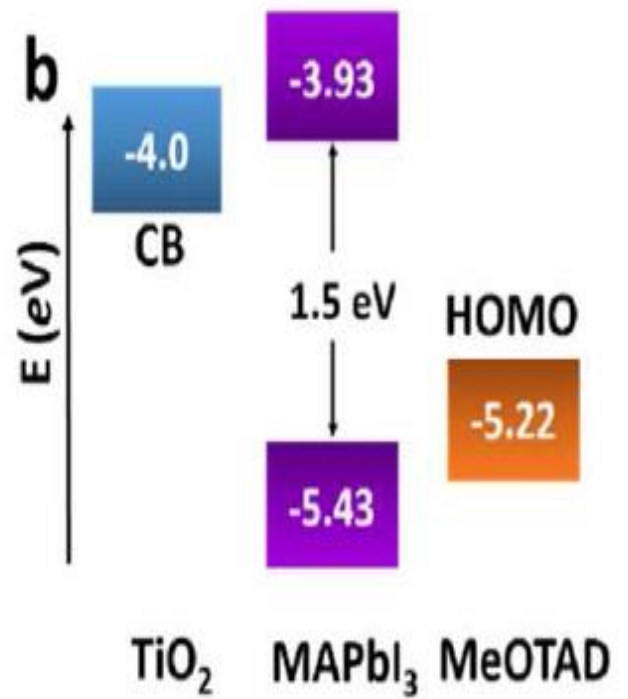
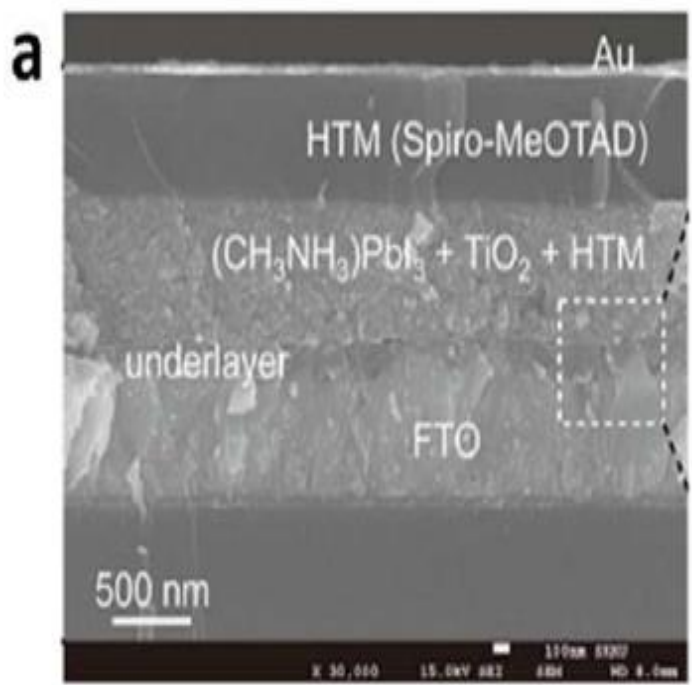
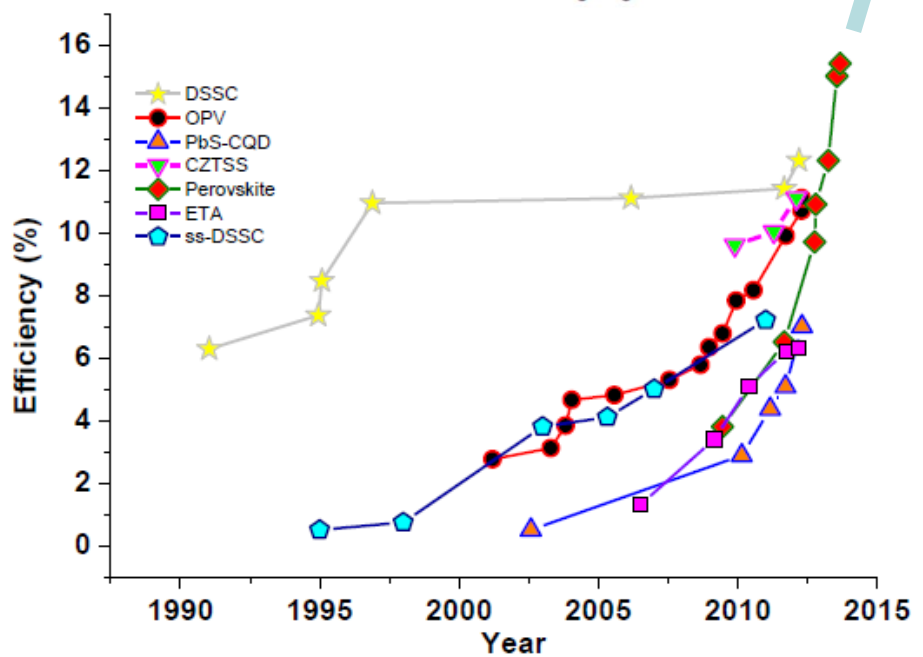


Turning Up the Light

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

25,7 %
Perovskites
hybrides

15 NOVEMBER 2013 VOL 342 SCIENCE www.sciencemag.org



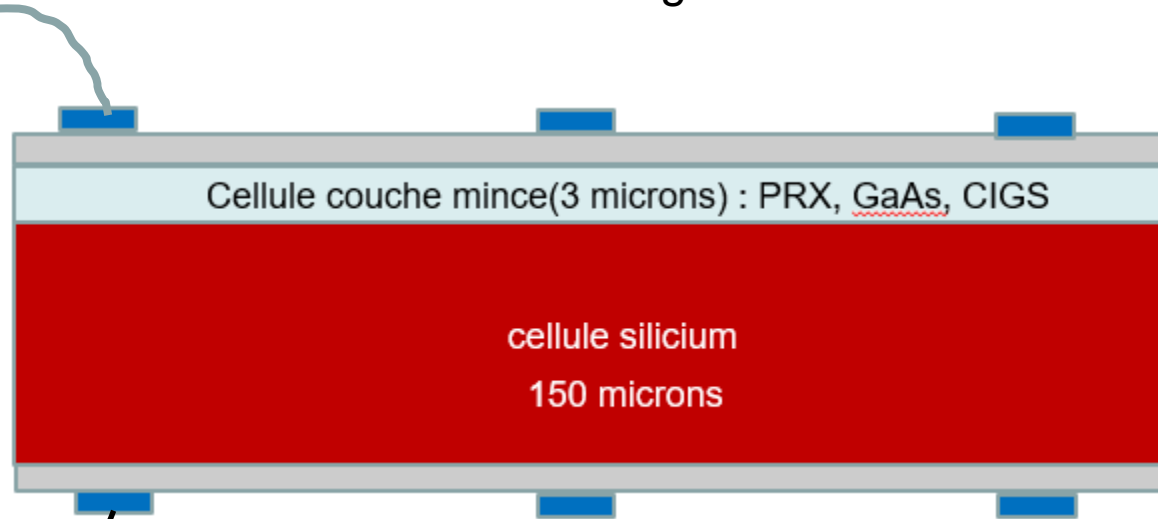
Updated Assessment of Possibilities & Limits for Solar Cells
Pabitra K. Nayak and David Cahen



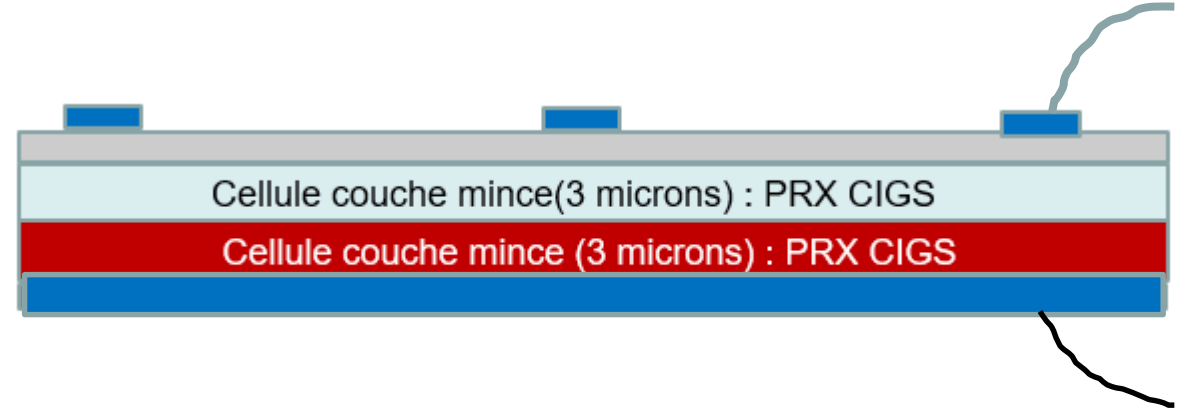
Objectif 30x30x30 : 30% modules, 30 centimes le Watt en ...2030

Le moyen : les cellules tandem

Cellules silicium « augmentée »



Cellules couches minces « augmentée »



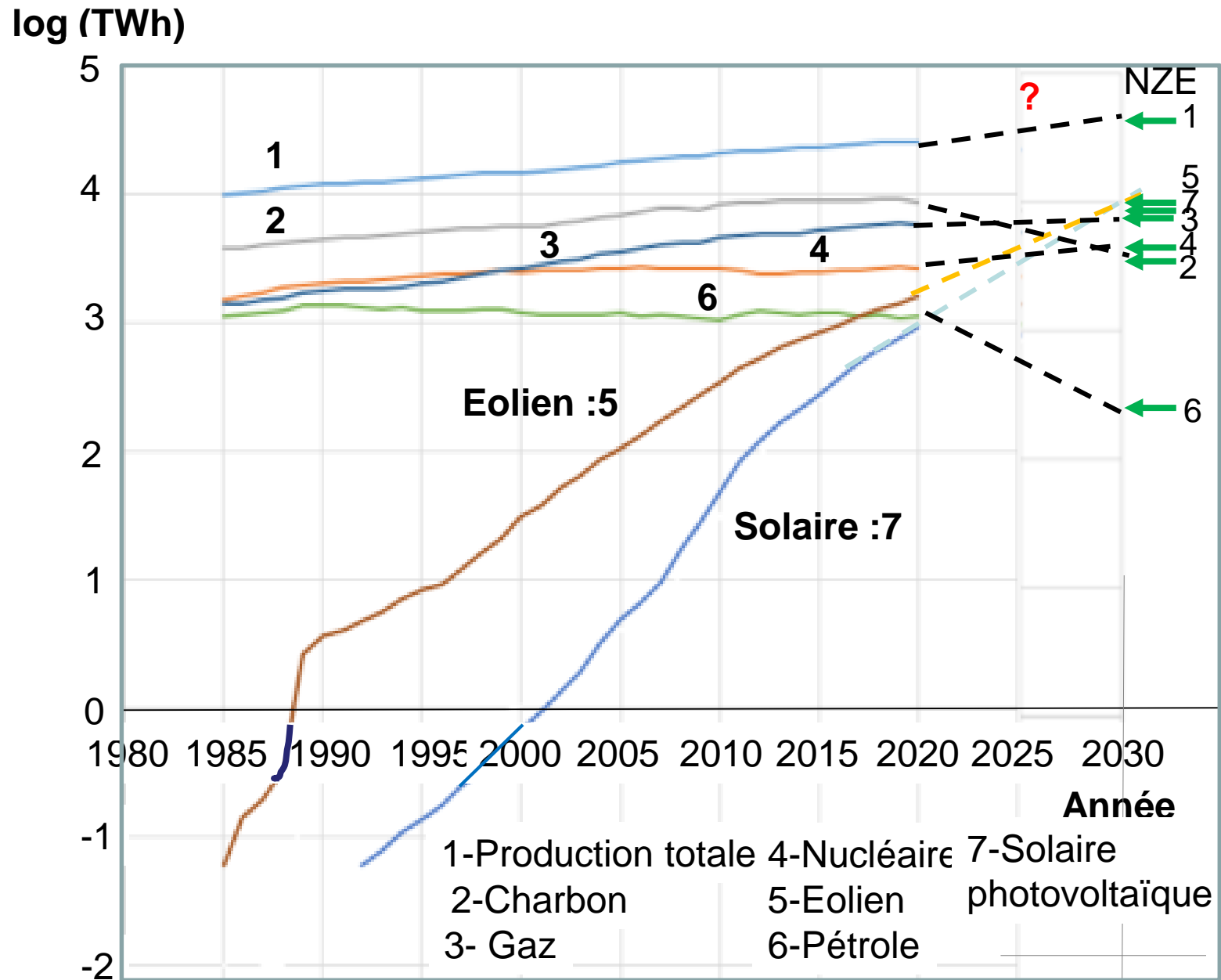
Tandem CIGS-PRX : 24,2% (23,3 %)

Tandem OPV annoncé : 20,2 % (18,2%)

Tandem Si-PRX 31,3% (26,7%)

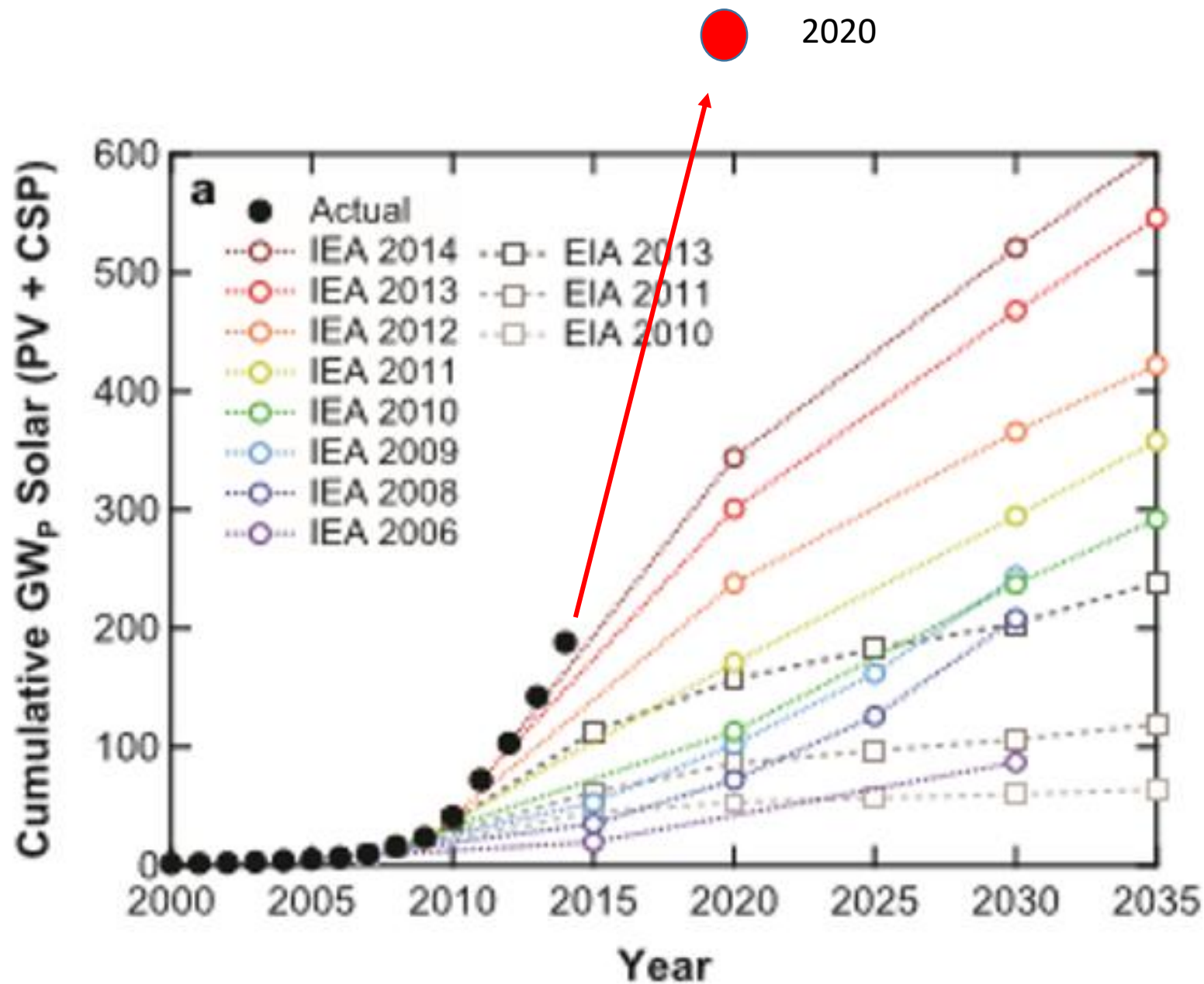
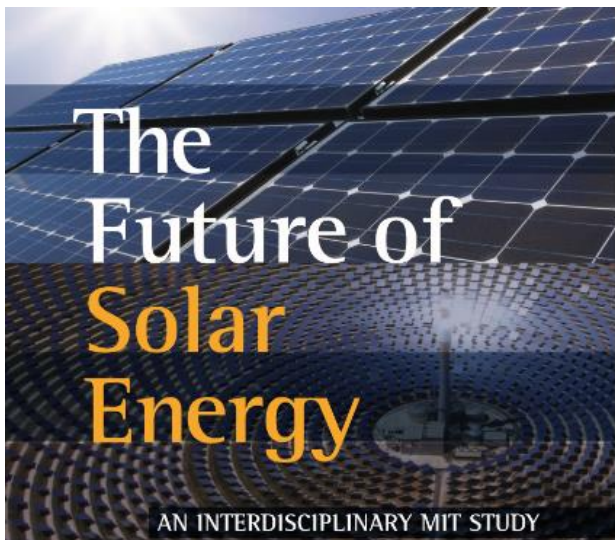
Multijonction GaAs (32,9% 2J- 39,5% 3J)

Quel scénarios pour le futur ?

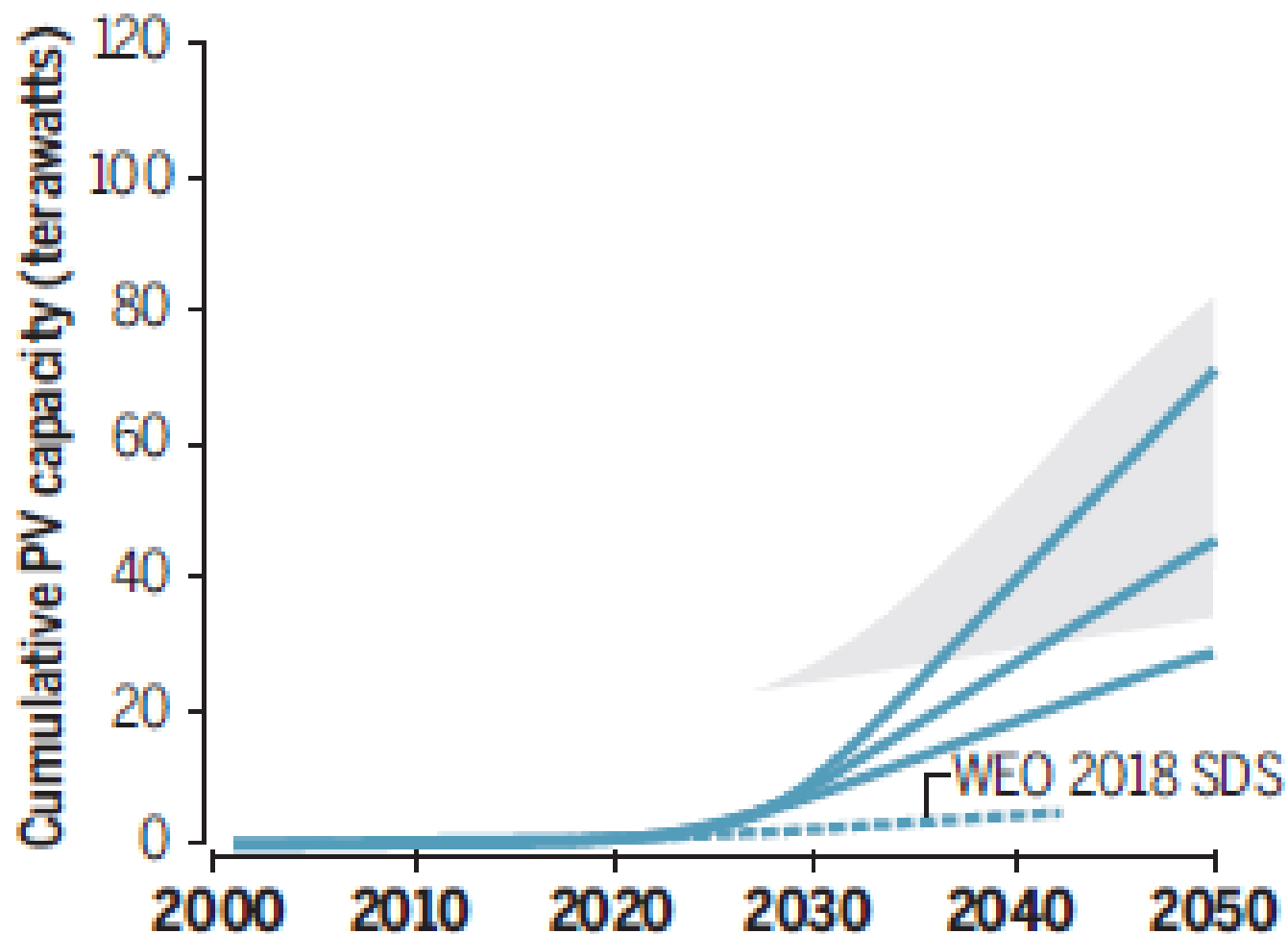


2015

Les limites des prévisions



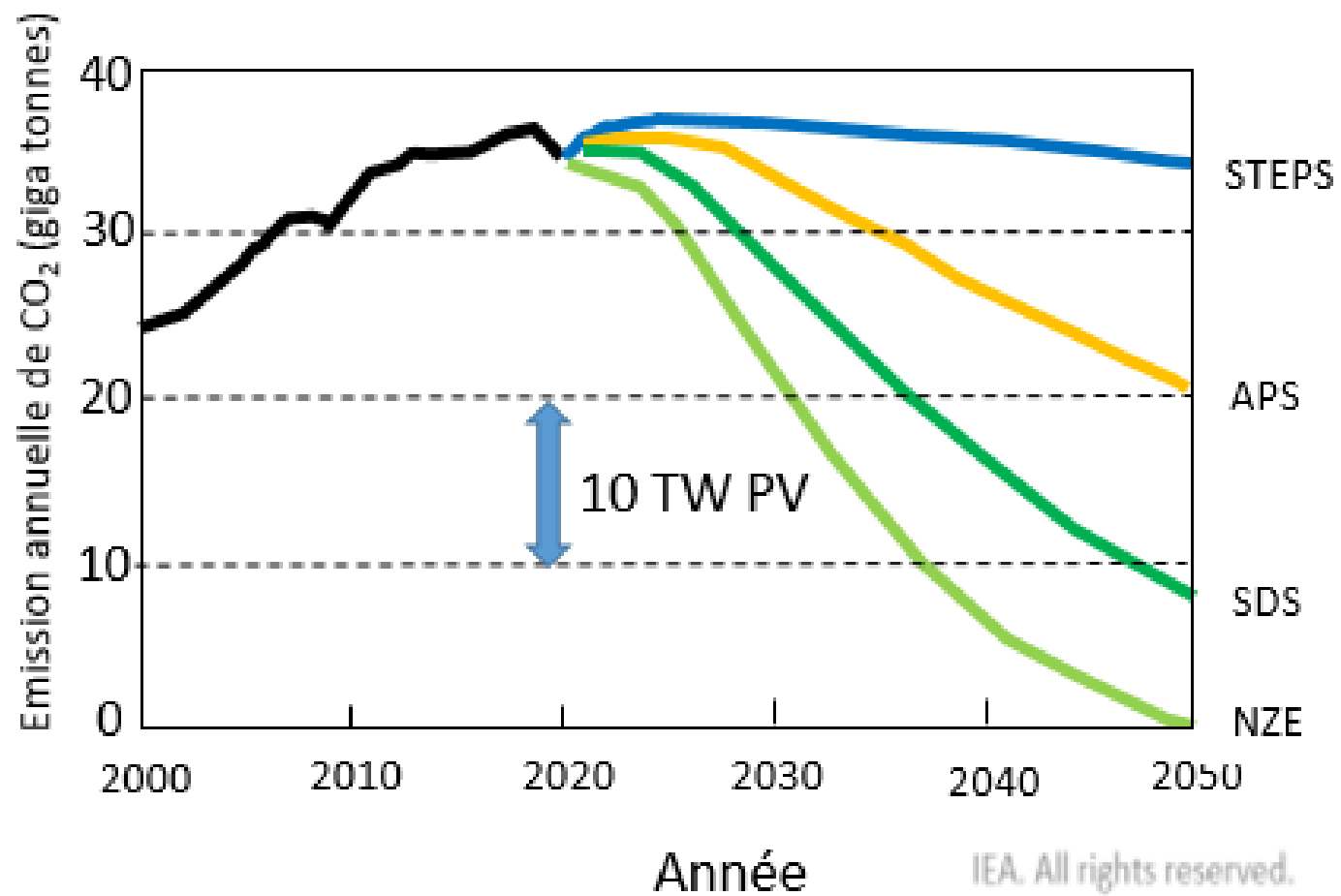
2019 Terawatt-Scale photovoltaics : transform global energy



Science **364** (6443), 836-838.
DOI: [10.1126/science.aaw1845](https://doi.org/10.1126/science.aaw1845)

Quel impact sur la lutte contre le changement climatique ?

World Energy Outlook 2022



<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

Aspect fondamentaux à prendre en compte

Analyse du cycle de vie

Temps de retour énergétique

Recyclage

Matériaux critiques

Impact environnemental

Santé

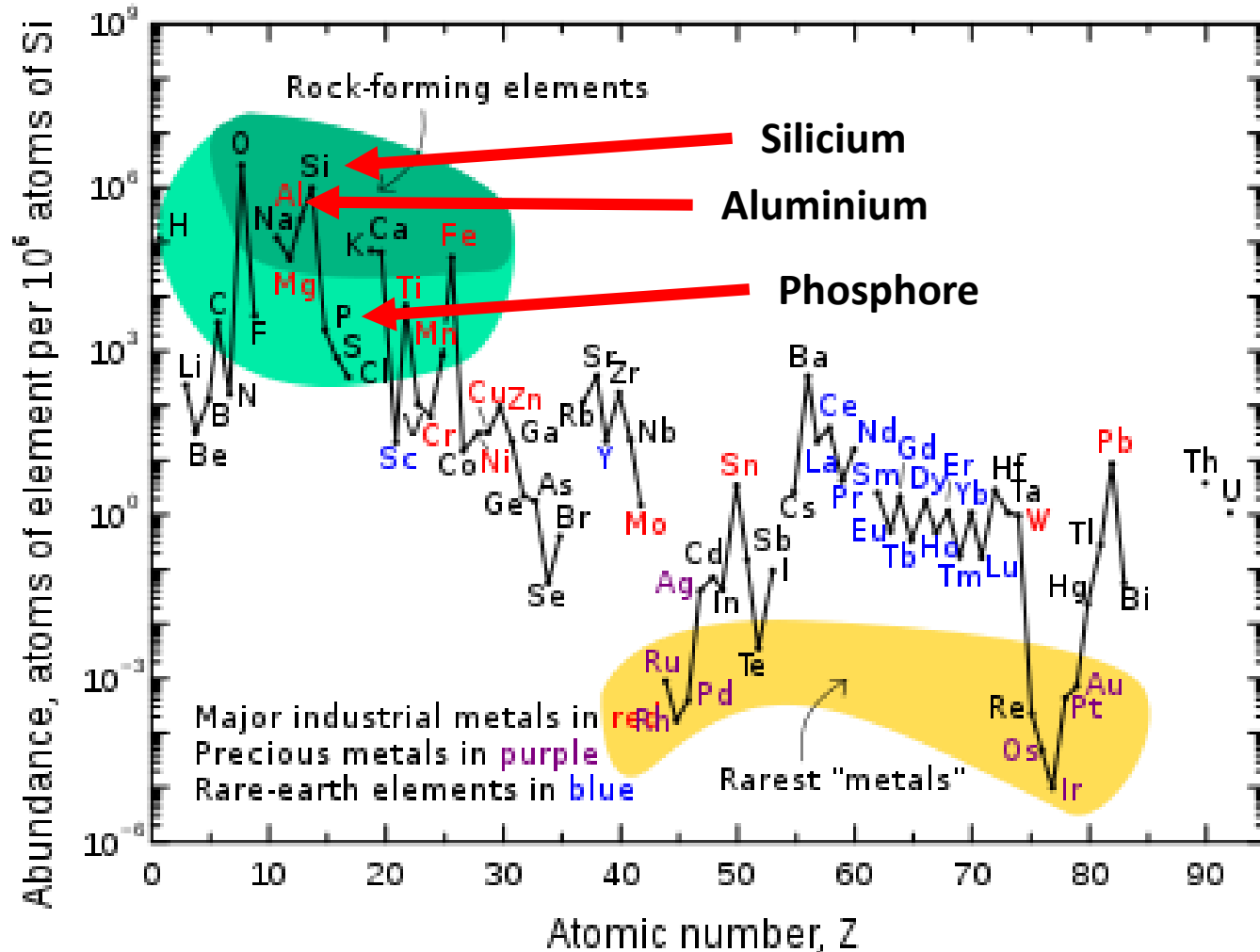
Acceptabilité sociale

Modèles économiques innovants

(ex: économie citoyenne, économie circulaire...)

Convergences : PV stockage, mobilité, réseau, internet...

La question des ressources



Silicium : 2^{ème} élément de la croute terrestre après l'oxygène
25,7 % en masse

Sous la forme de silice & dérivés : SiO_2 (Si^{4+})
→ Quartz, sable... (12% masse lithosphère)
→ Silicates (Al, Fe, Mg, K, Na...)
→ Silice biologique : diatomées, végétaux

Ressource quasiment « illimitée » en silicium
Al, P également abondants

Pas de problème pour le cœur de la jonction

ANALYSIS

[View Article Online](#)

[View Journal](#) | [View Issue](#)

 Check for updates

Cite this: *Energy Environ. Sci.*,
2021, 14, 5587

Design considerations for multi-terawatt scale manufacturing of existing and future photovoltaic technologies: challenges and opportunities related to silver, indium and bismuth consumption

Yuchao Zhang,  †*^a Moonyong Kim,  †^a Li Wang,  ^a Pierre Verlinden  ^{abcd} and Brett Hallam  ^a

“For a 3 TW market, only 1.2–3 nm of ITO would be allowed per side. Even for a 30% efficient tandem solar cell, at 3 TW level, the total thickness of ITO must be below 1.4–3.6 nm, respectively, to limit indium consumption to 20% of global supply”

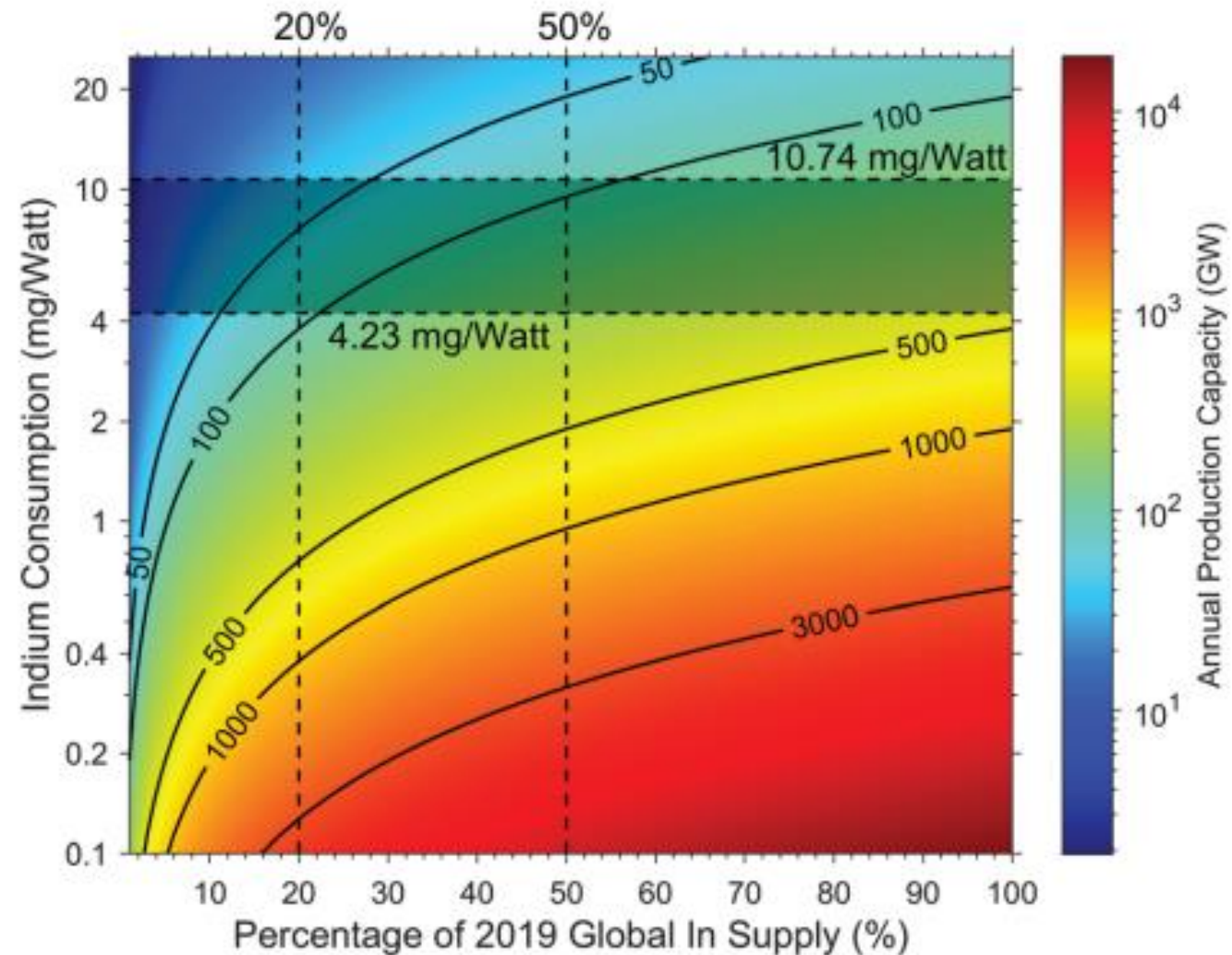
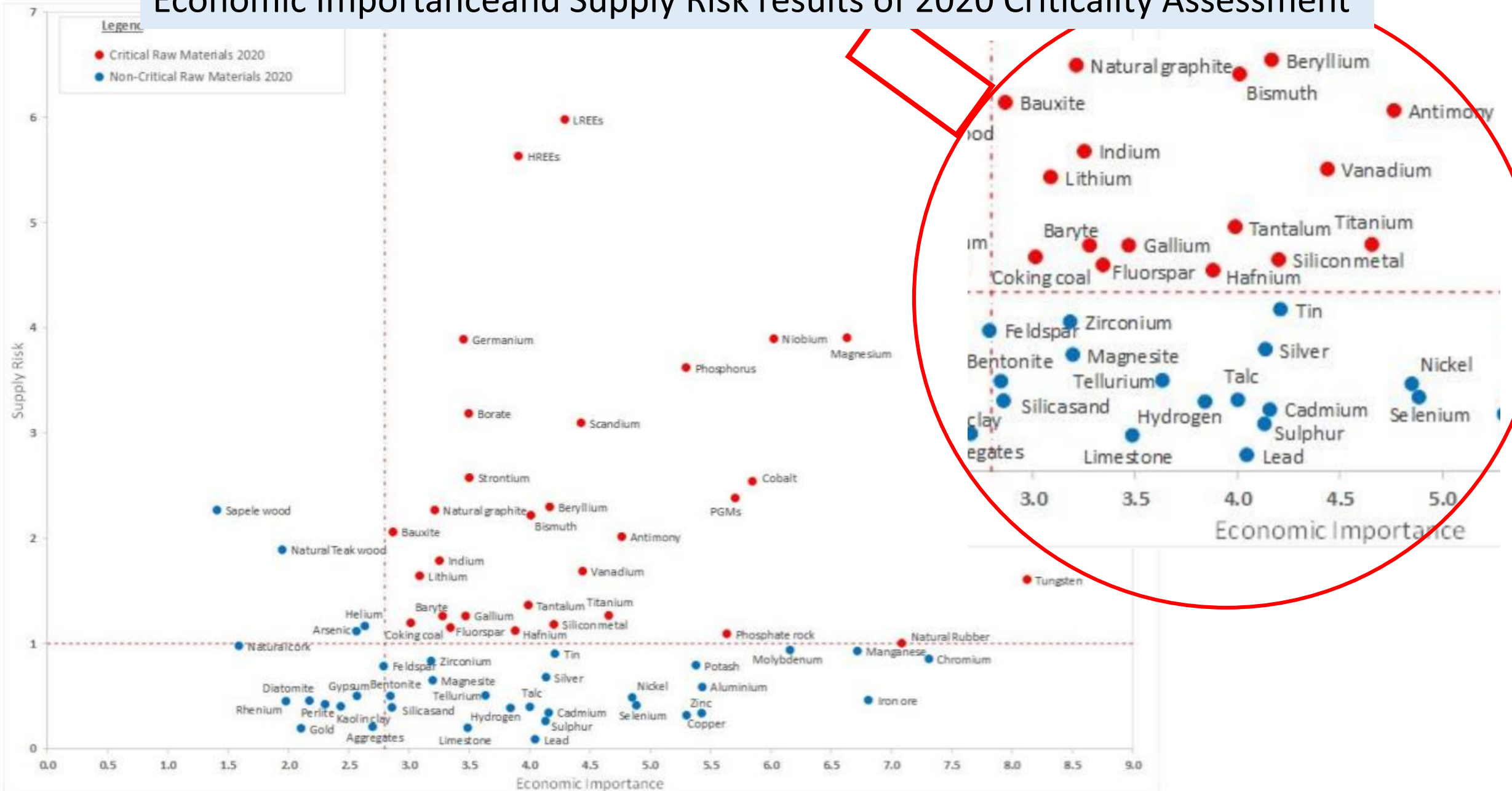


Fig. 11 The allowable annual production capacity as a function of the percentage of 2019 global Indium supply and the Indium consumption (mg W^{-1}) per cell in typical SHJ solar cells. The assumed cell efficiency is 25.11% with an area of $210 \times 210 \text{ mm}^2$. Shaded regions represent the range of indium consumption in current SHJ solar cells shown in Table 7.



Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020)

Economic Importance and Supply Risk results of 2020 Criticality Assessment



L'analyse de cycle de vie : Le recyclage

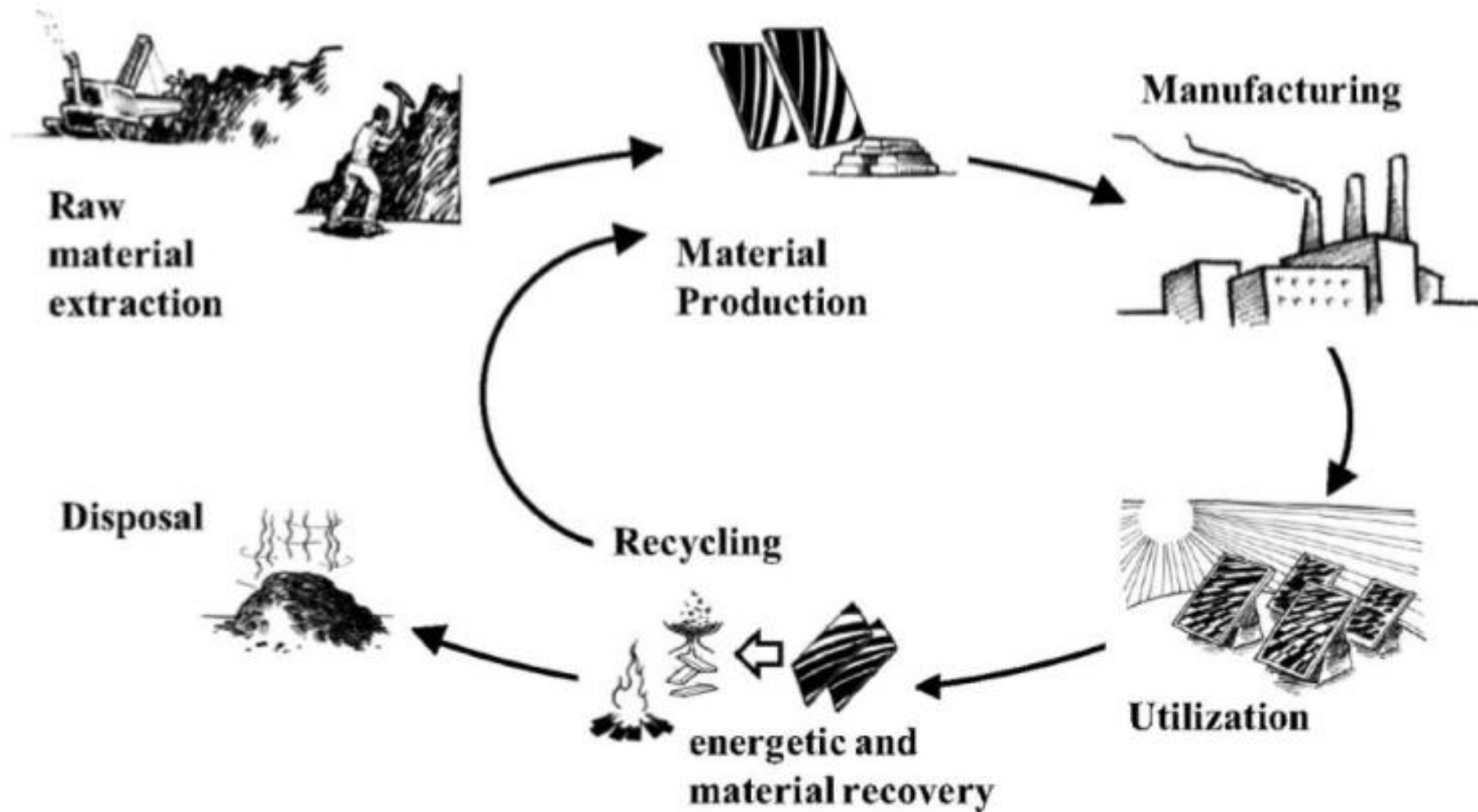


Figure 1. Life cycle phases of photovoltaic modules [12].

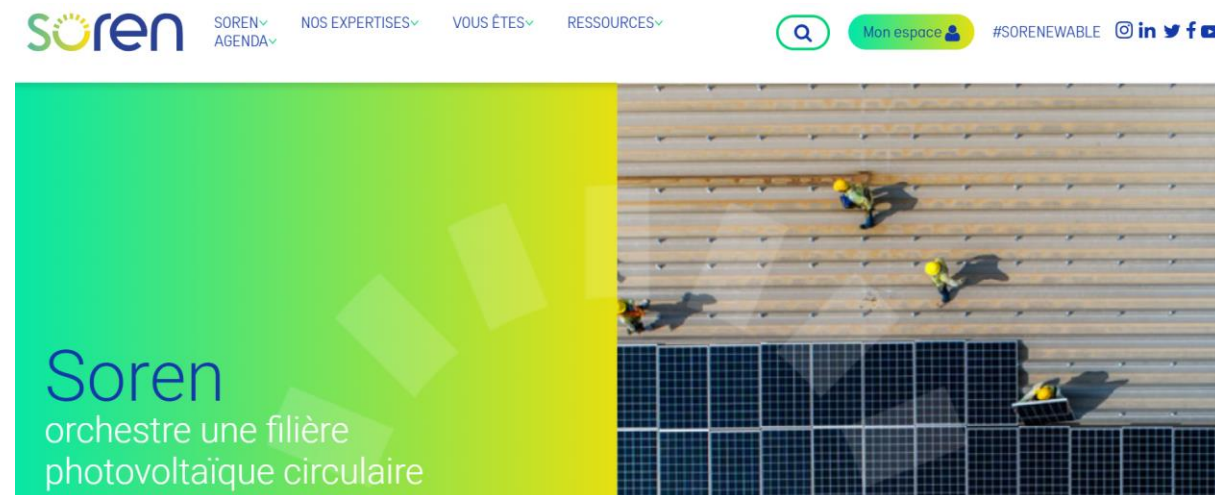
Silicon is the second abundant element of the terrestrial crust

Le Recyclage

Développement du recyclage → technologies au point → importance du modèle économique
95% panneaux recyclables
Point fort en France



<https://pvcycle.org/?lang=fr>



<https://www.soren.eco/>

Acteur de la semaine : Rosi Solar lance l'industrialisation de sa technologie de recyclage

Rosi Solar a développé une solution industrielle capable de récupérer le silicium de haute pureté, l'argent et le cuivre contenus dans les modules PV en fin de vie. Avec un processus de séparation thermique et chimique avancé, la start-up grenobloise poursuit son développement en R&D et en application commerciale pour redonner de la valeur aux matériaux des modules solaires en Europe et à l'international.

FÉVRIER 14, 2022 MARIE BEYER

En ce qui concerne la France seule, les besoins en recyclage pourraient être de 150 000 tonnes d'ici 2030, selon l'éco-organisme chargé du recyclage des panneaux solaires Soren (ex-PV Cycle France).

Autre acteur industriel : Véolia à Rousset

<https://www.pv-magazine.fr/2022/02/14/acteur-de-la-semaine-rosi-solar-lance-lindustrialisation-de-sa-technologie-de-recyclage/>



Collaboration avec ADEME, CNRS, Véolia, Europe

Procédé innovant : chimique + thermique

Usine à La Mure en Isère

Début : fin 2022

Objectif : 3000 tonnes de panneaux solaires/an,
90 tonnes de silicium ultrapur,
3 tonnes d'argent

AUCUN DECHET DANGEREUX pour technologie Si

Pay Back Time (2013)

Electric Energy 14 kWh/kg Si

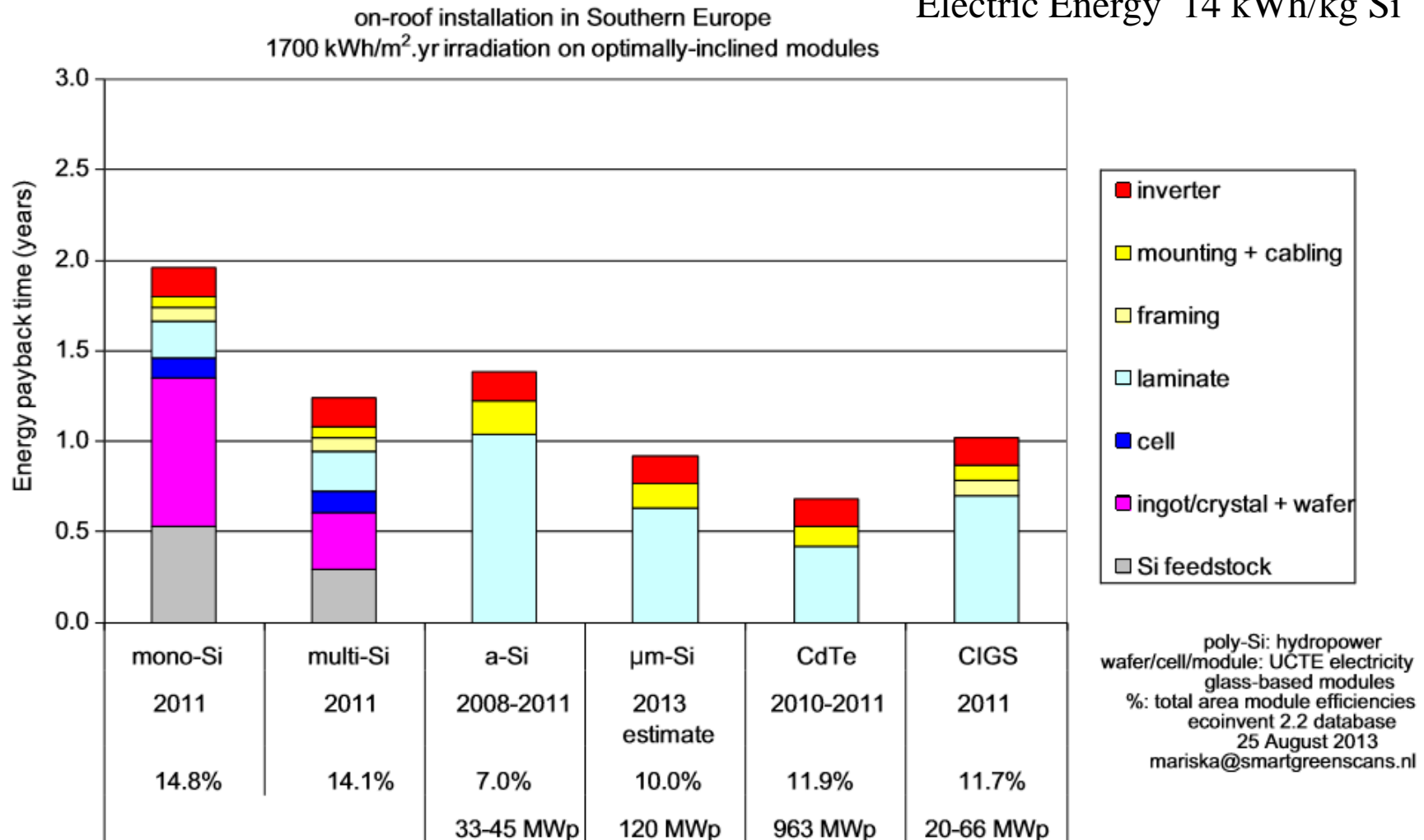
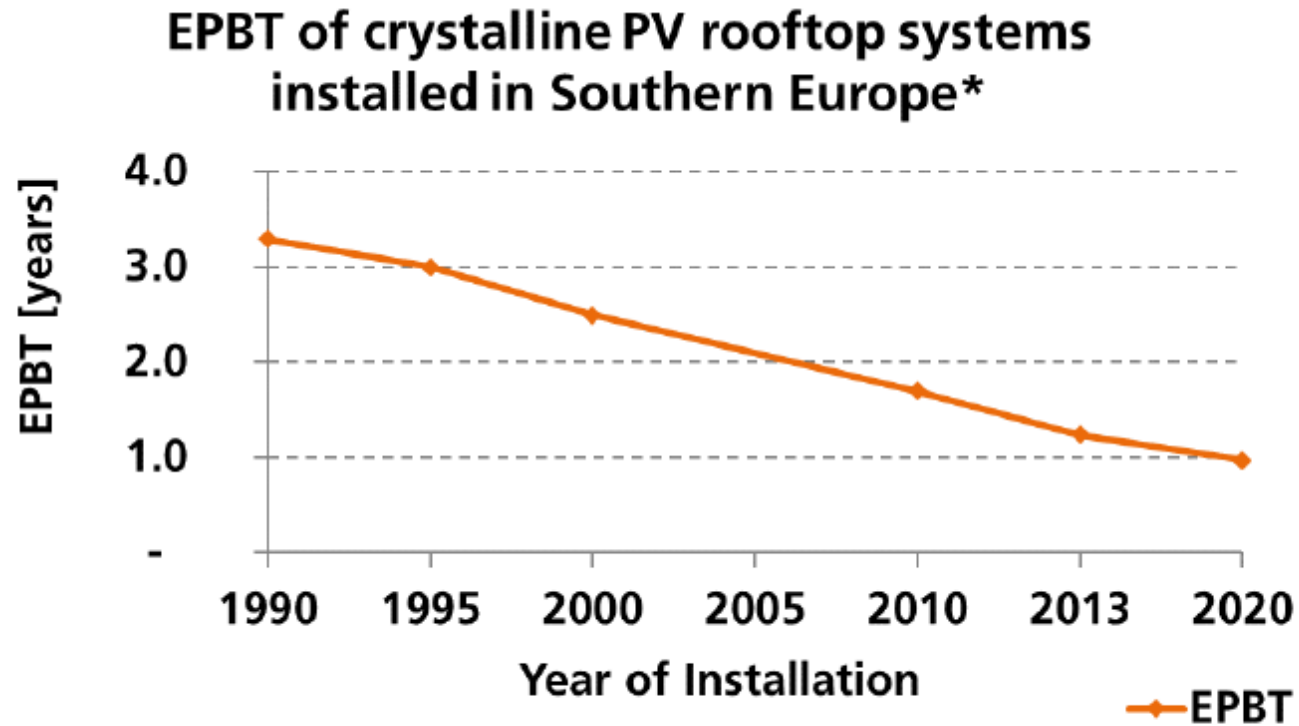


Fig. 2. Energy payback time of commercial PV systems, irradiation 1700 kWh/m² year.

Evolution du temps de retour énergétique

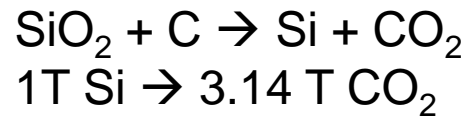


Durée de vie des modules

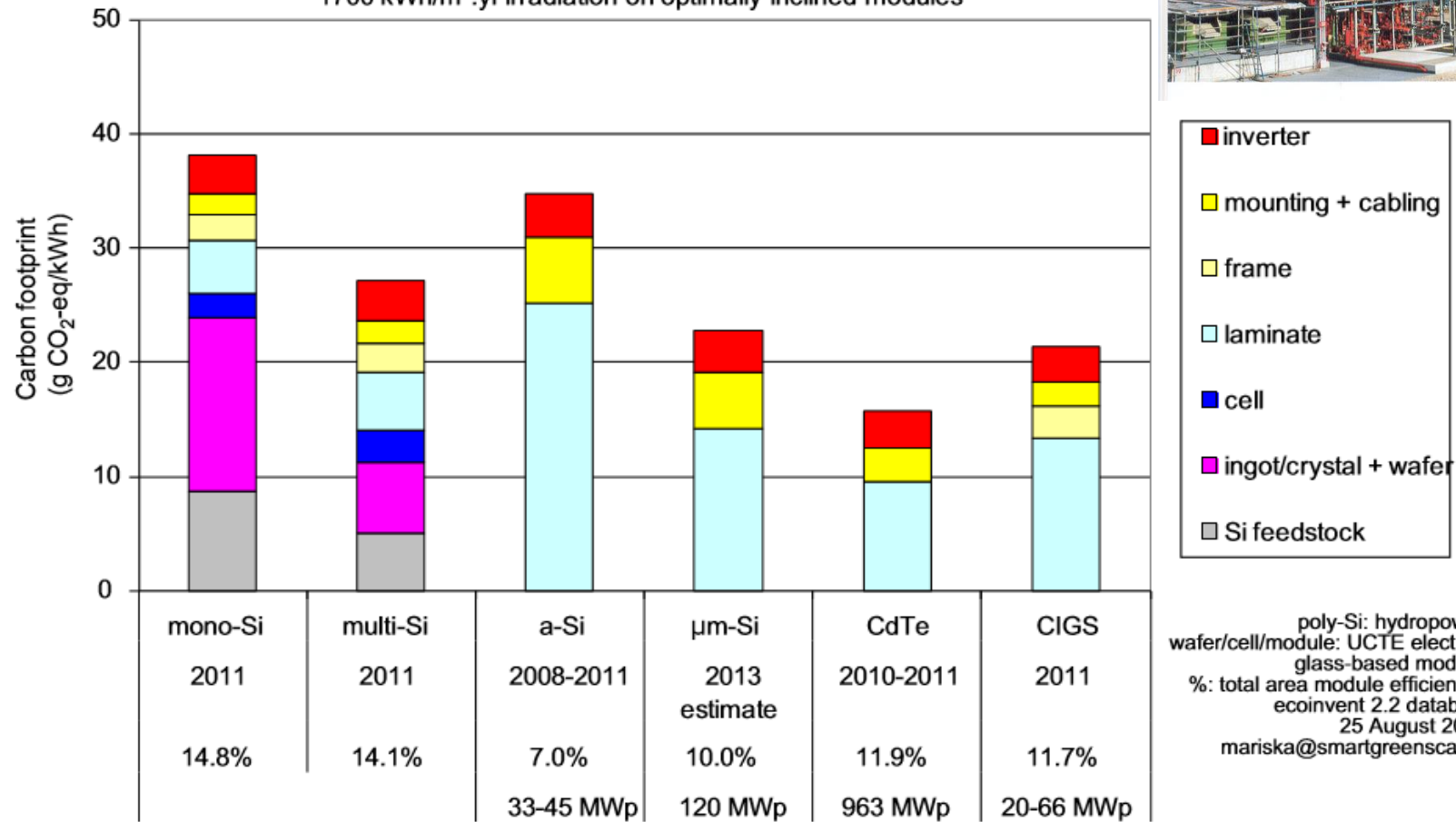
25 ans (pour 80%
de la puissance initiale)

40 ans : en cours

Carbon Foot Print



on-roof installation in Southern Europe
1700 kWh/m².yr irradiation on optimally-inclined modules



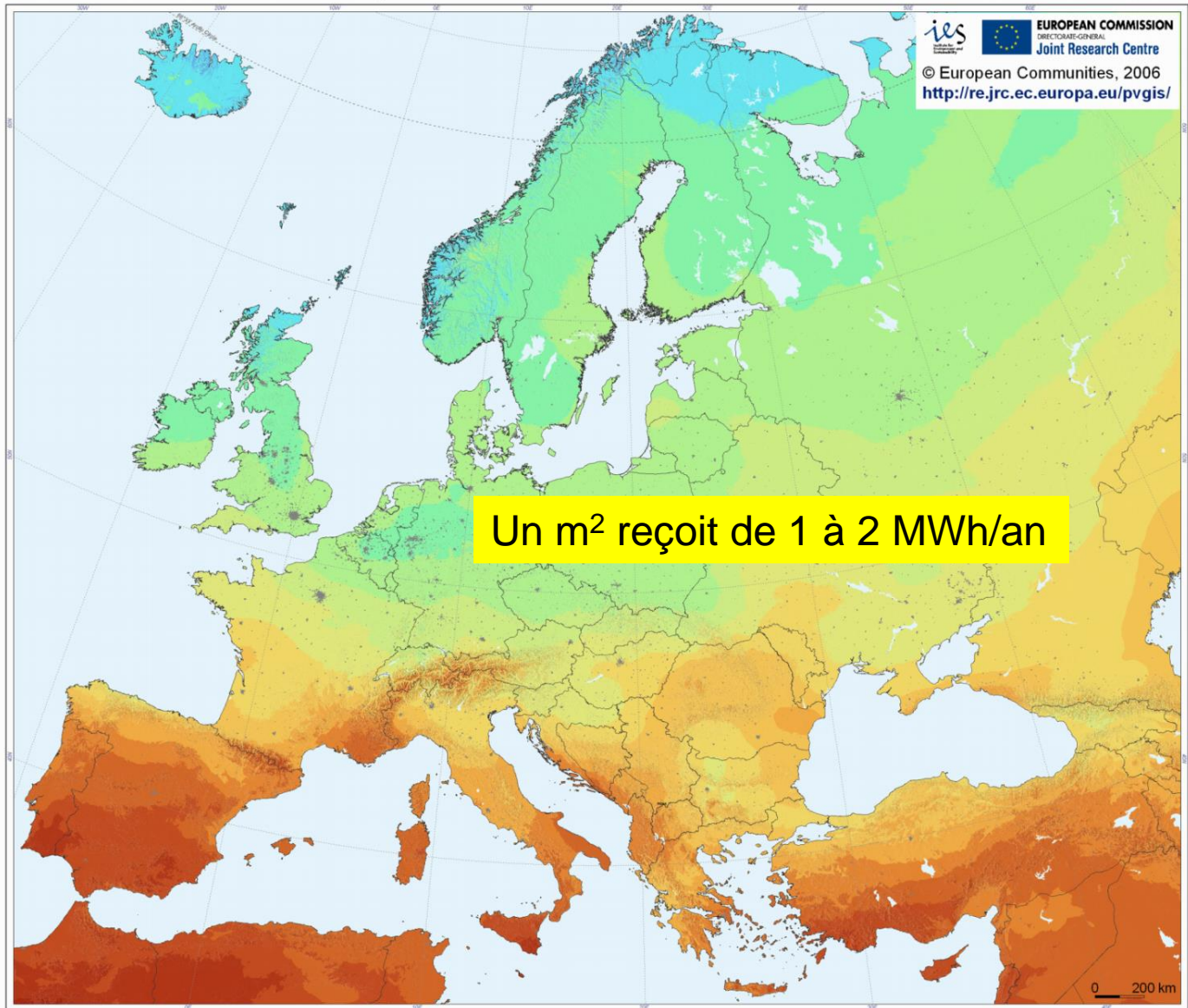
L'usine pilote de Wacker à Burghausen utilise un procédé à base de trichlorosilane pour la production de silicium polycristallin.

poly-Si: hydropower
wafer/cell/module: UCTE electricity
glass-based modules
%: total area module efficiencies
ecoinvent 2.2 database
25 August 2013
mariska@smartgreenscans.nl

Fig. 3. Carbon footprint of commercial PV systems, irradiation 1700 kWh/m² year.

Une nouvelle vision de l'énergie

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



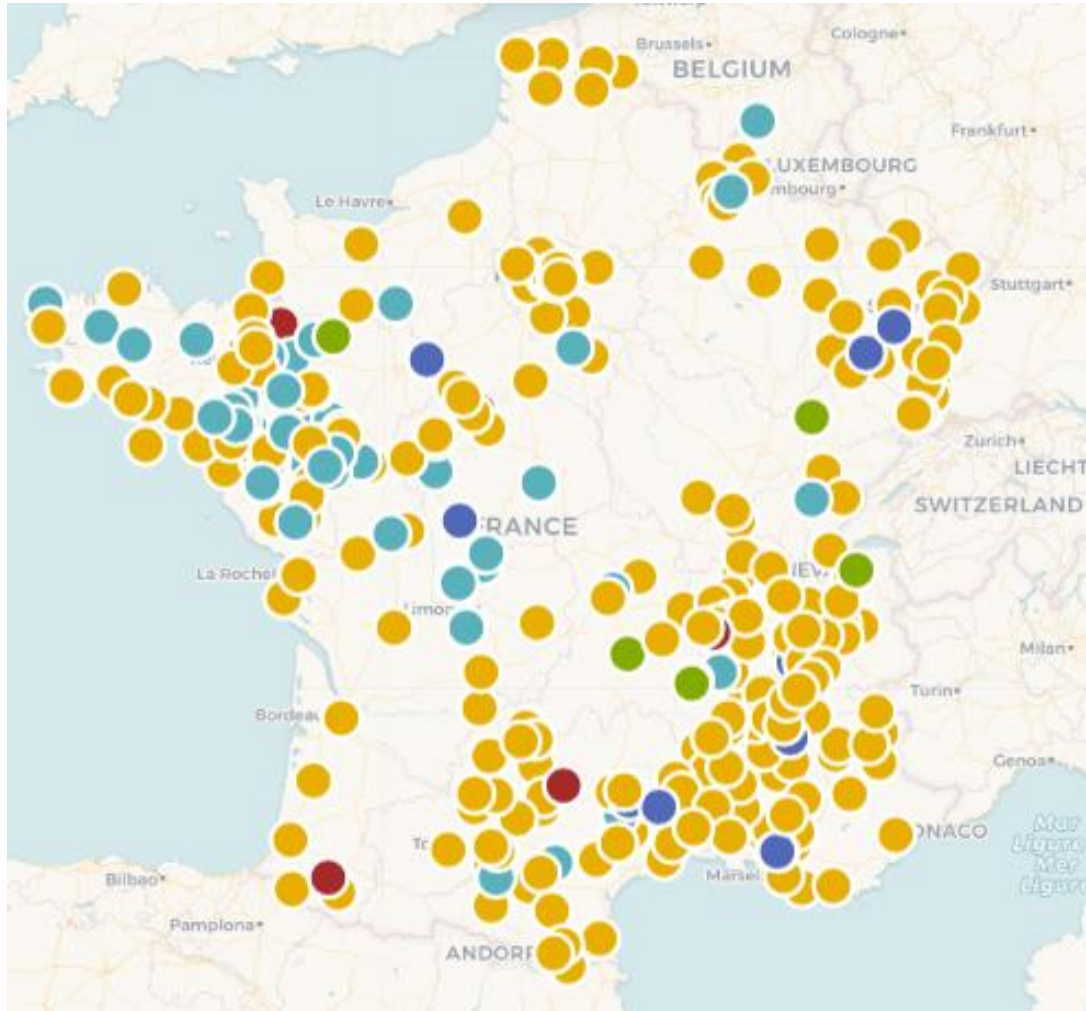
ies
EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL
Joint Research Centre
© European Communities, 2006
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules
Global irradiation [kWh/m²]
<600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200>

Yearly sum of solar electricity generated by 1 kWp system with optimally-inclined modules and performance ratio 0.75
Solar electricity [kWh/kWp]
<450 600 750 900 1050 1200 1350 1500 1650>

L'énergie solaire : c'est l'affaire de tous

Les initiatives citoyennes



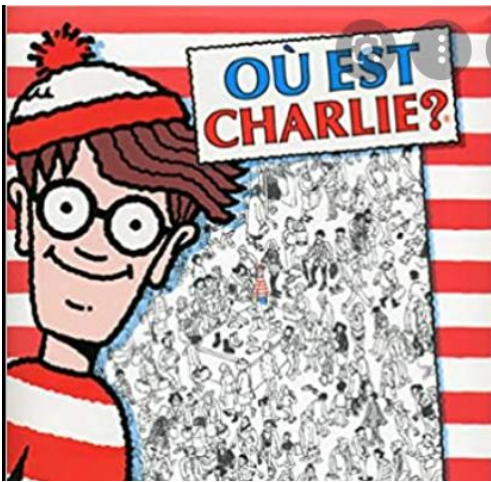
<https://energie-partagee.org/>

**Nouvelle rapport à l'énergie /
unique dans l'histoire de l'humanité**

- Production locale
- Autoconsommation
- Autocommation collective
- Couplage réseau, stockage, hydrogène
- Partage

Cartographie de la ressource solaire au niveau local : Exemple des cadastres solaires

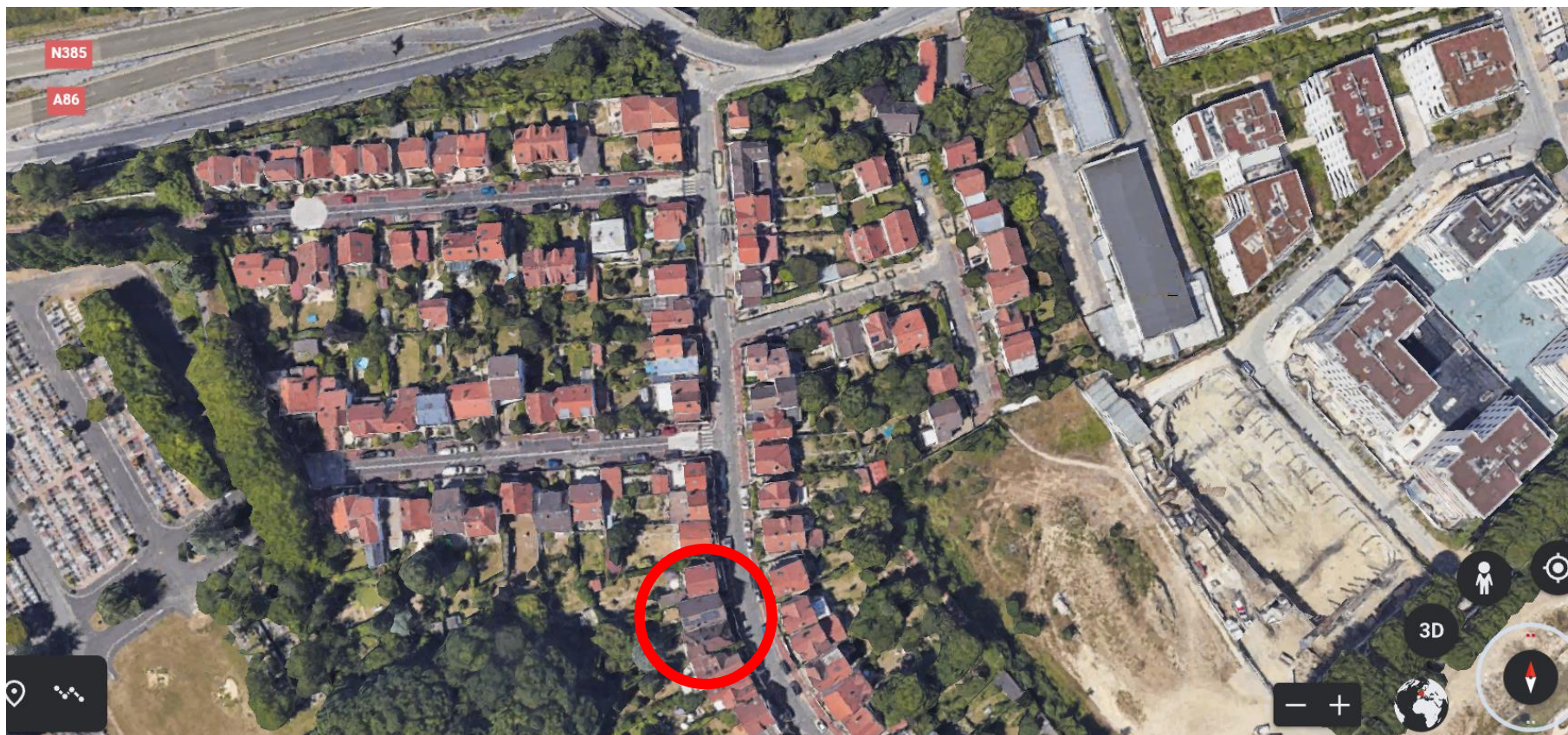




Où est Charlie 1 : habitations



Cherchez Charlie 1 : habitations



Cherchez Charlie 2 : habitations



Cherchez Charlie 2 : habitations

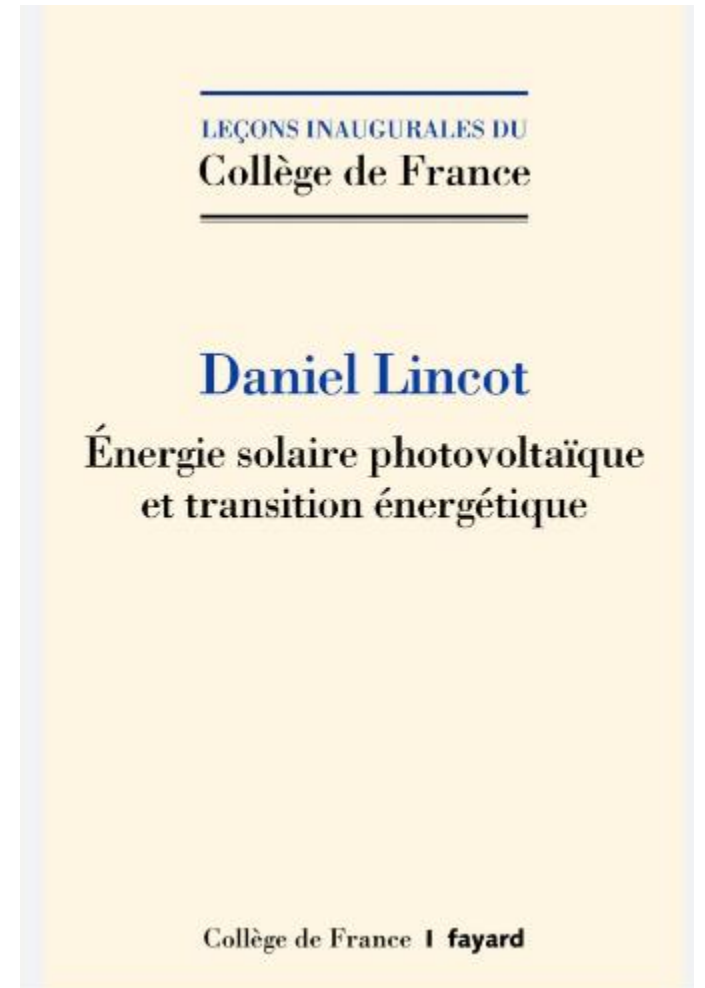
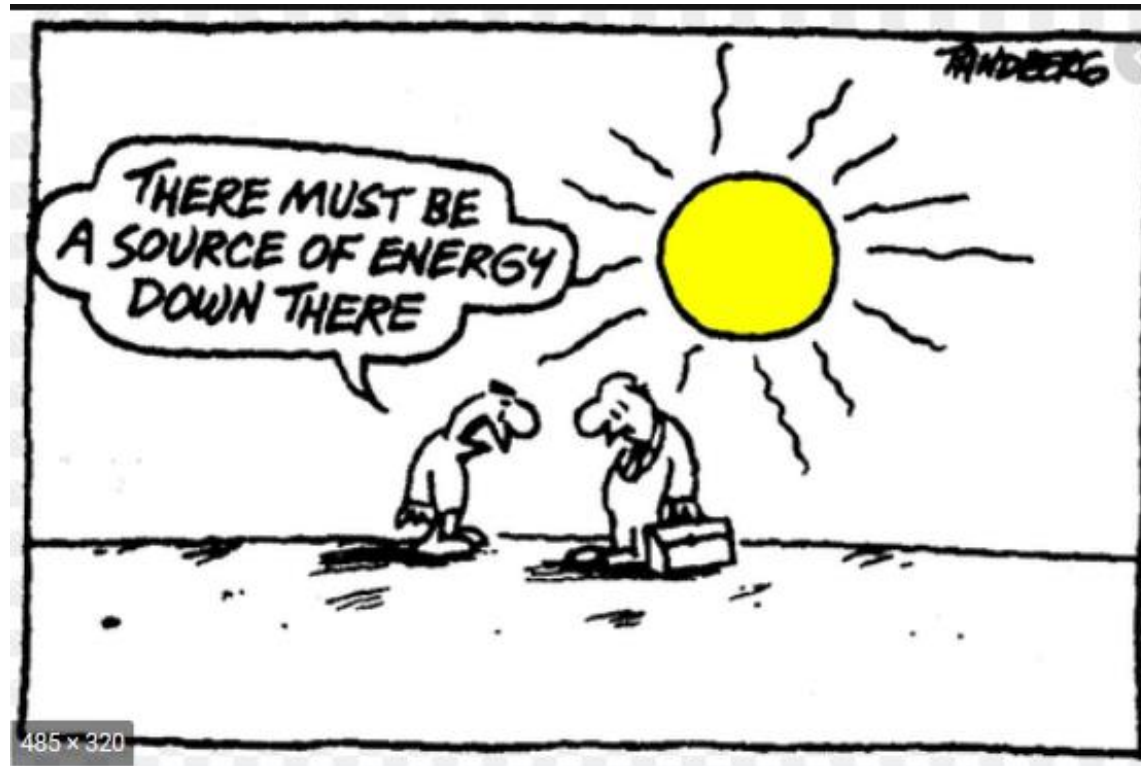


Conclusions

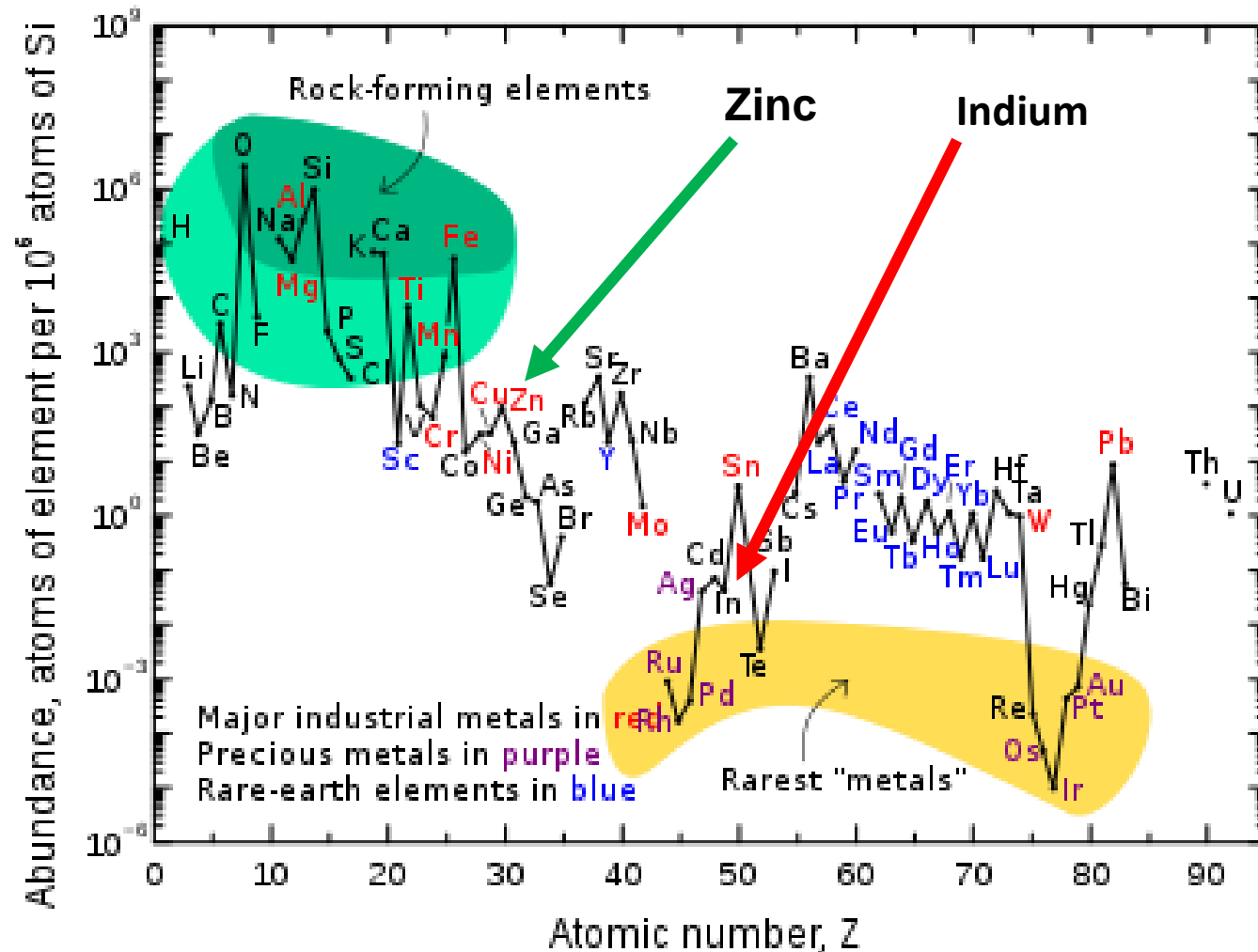
- L'énergie solaire échappe à la finitude des ressources terrestres
- La ressource est considérable et largement suffisante pour couvrir l'ensemble des besoins de l'humanité
- L'humanité dispose de nouvelles technologies adaptées pour la capter : le photovoltaïque, le solaire thermique, l'éolien

Une mobilisation généralisée, éthique, est une formidable opportunité pour passer d'un anthropocène destructeur à un « héliocène réparateur »

Merci pour votre attention



L'utilisation d'éléments rares : exemple de l'indium



1 indium atom for 10^7 Si atoms
64th rank

0.056 ppm in earth crust

but 20-200 ppm in Zinc ores

12.5 Mtons of Zinc in 2018

750 tons of primary In in 2018*

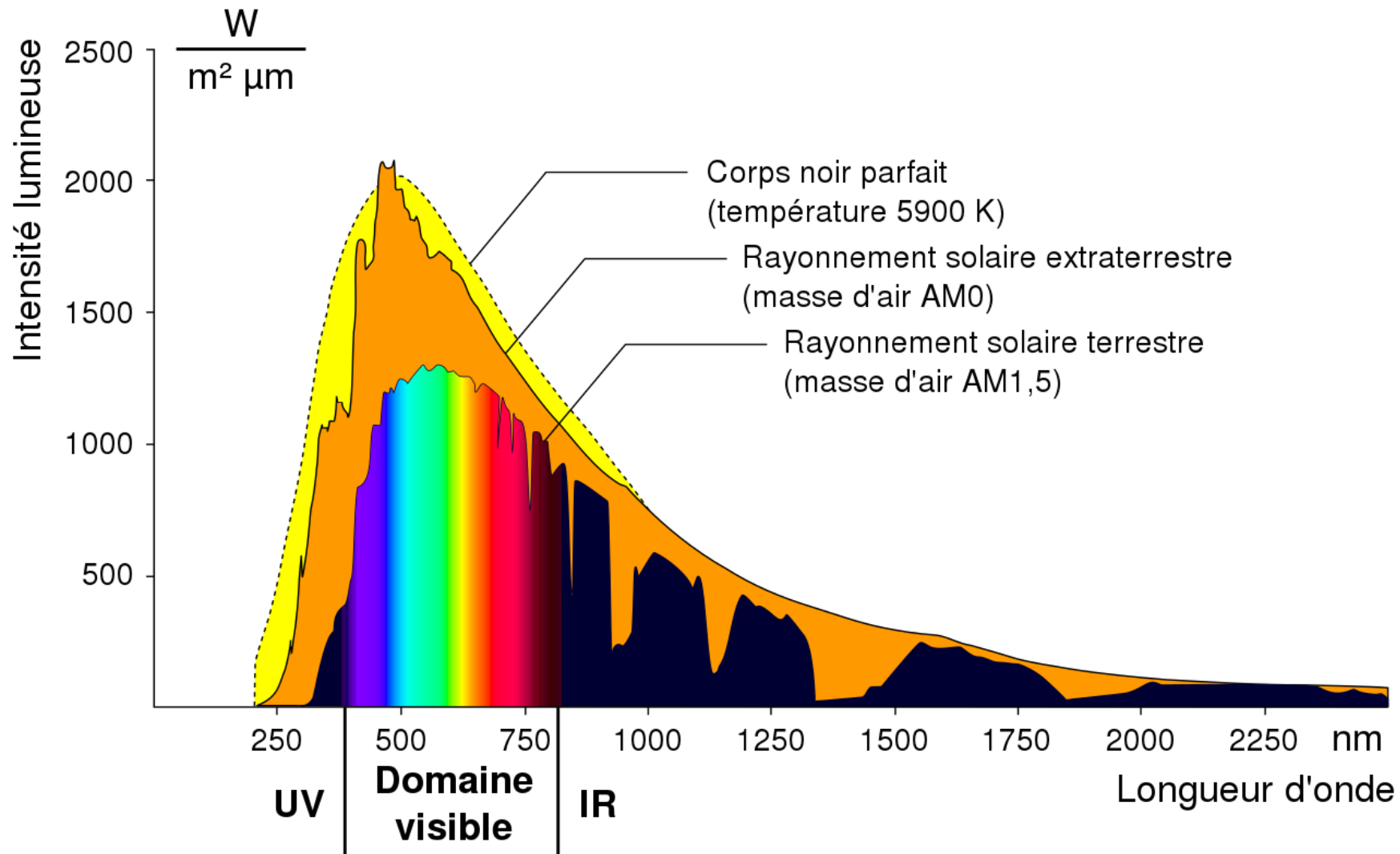
950 tons secondary

1700 tons total in 2018

Only small fraction recovered (1/10 - 1/20)

* Indium Corporation

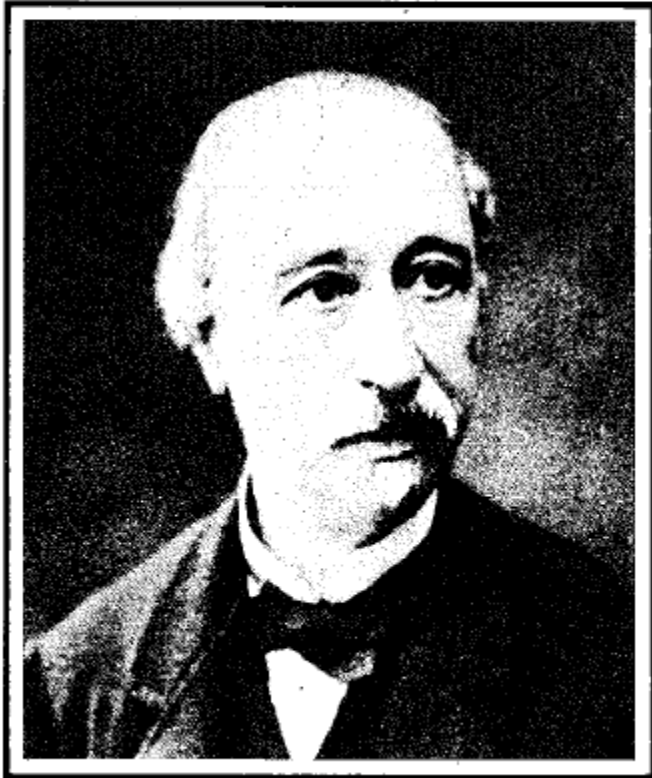
La lumière solaire est multicolore



Hors atmosphère (AM0)
1360 W/m²
Au niveau du sol (AM1,5):
1000 W/m²

EDMOND BECQUEREL

The Discoverer of Photovoltaics



COMPTE RENDU
DES SÉANCES
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 4 NOVEMBRE 1839.

PRÉSIDENTE DE M. CHEVREUL.

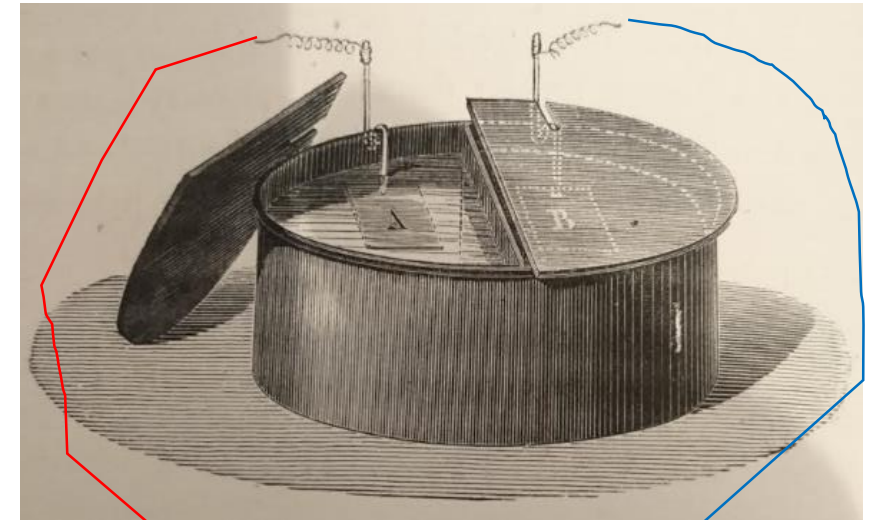
MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

MÉMOIRES LUS.

Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires; par M. EDMOND BECQUEREL.

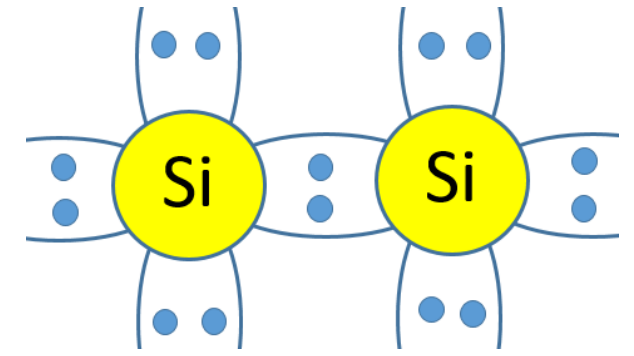
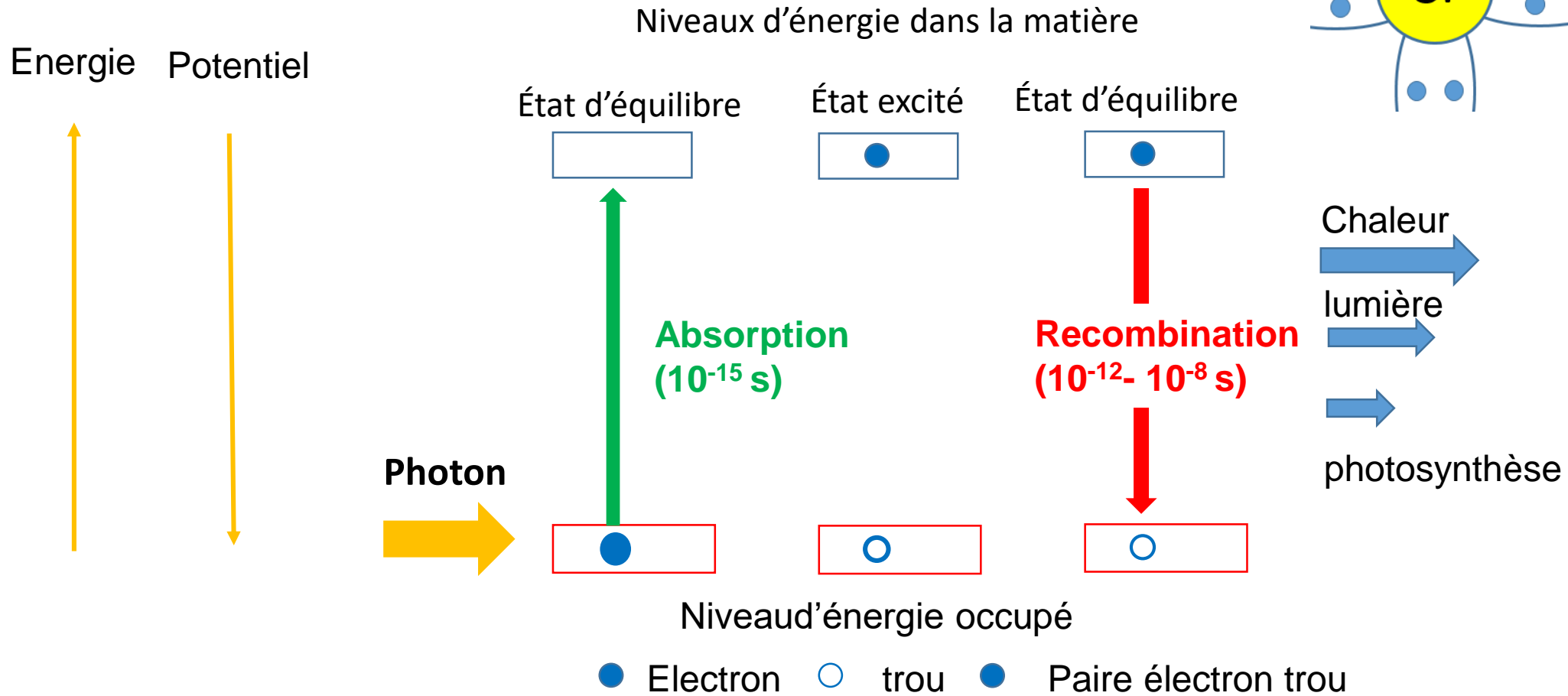
§ 1^{er}. *Action de la radiation sur les lames métalliques.*

« Dans le dernier Mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, dans sa séance du lundi 29 juillet 1839, je me suis attaché à mettre en évidence, à l'aide des courants électriques, les réactions chimiques qui ont lieu au contact de deux liquides, sous l'influence de la lumière solaire. Le procédé que j'ai employé nécessitait l'emploi de deux lames de platine, en relation avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur très sensible et qui plongeaient chacune dans une des dissolutions superposées. Or comme ces deux lames éprouvaient elles-mêmes les effets de la radiation, il a dû en résulter des phénomènes composés, dont je vais m'occuper dans ce nouveau Mémoire. On sera à même ensuite de faire la part de chacun des effets produits.



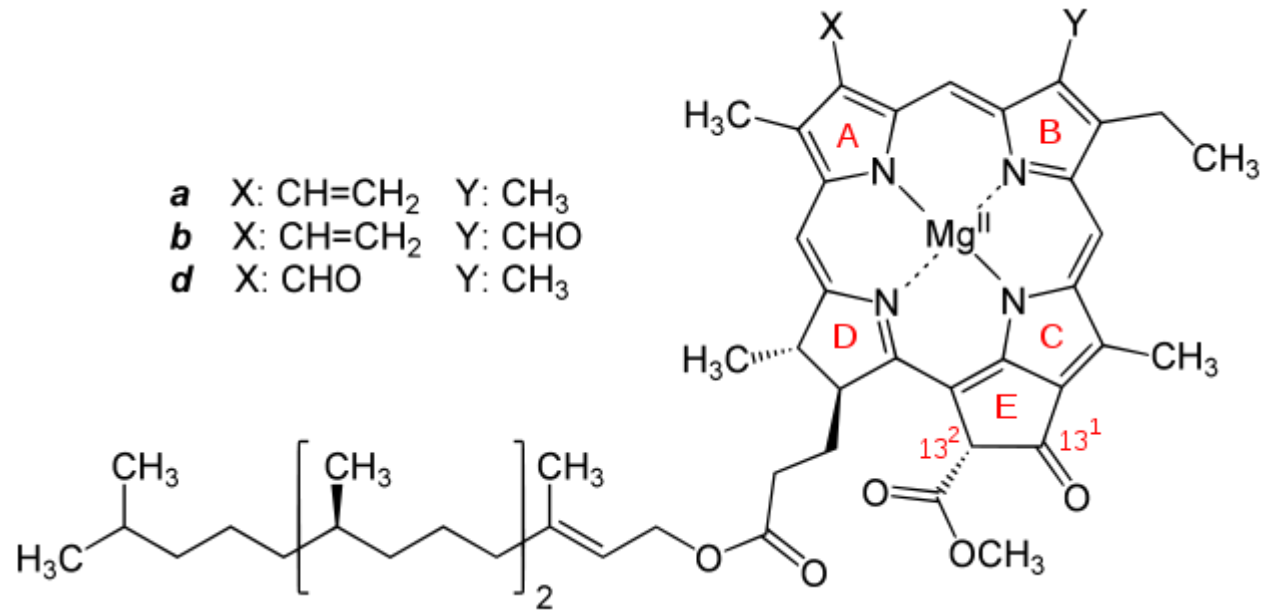
Musée école polytechnique

Processus d'absorption de la lumière par les électrons de liaison de la matière

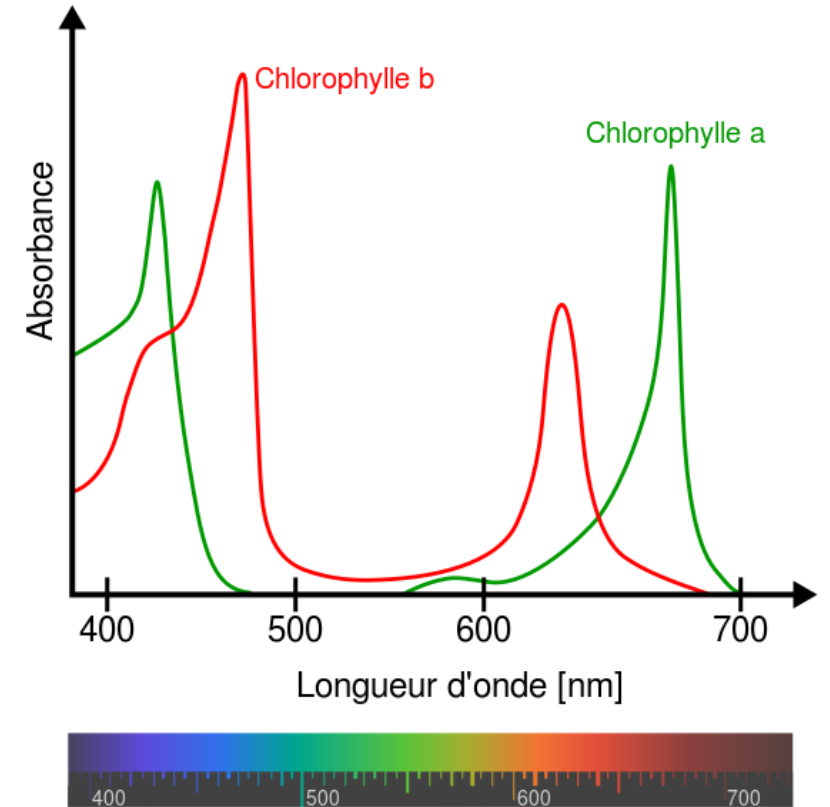


Énergie du photon ($E = h\nu$) \rightarrow énergie électrique « stockée » ($-qV$) \rightarrow Energie restituée

La chlorophylle : La nature met au point le photovoltaïque moléculaire



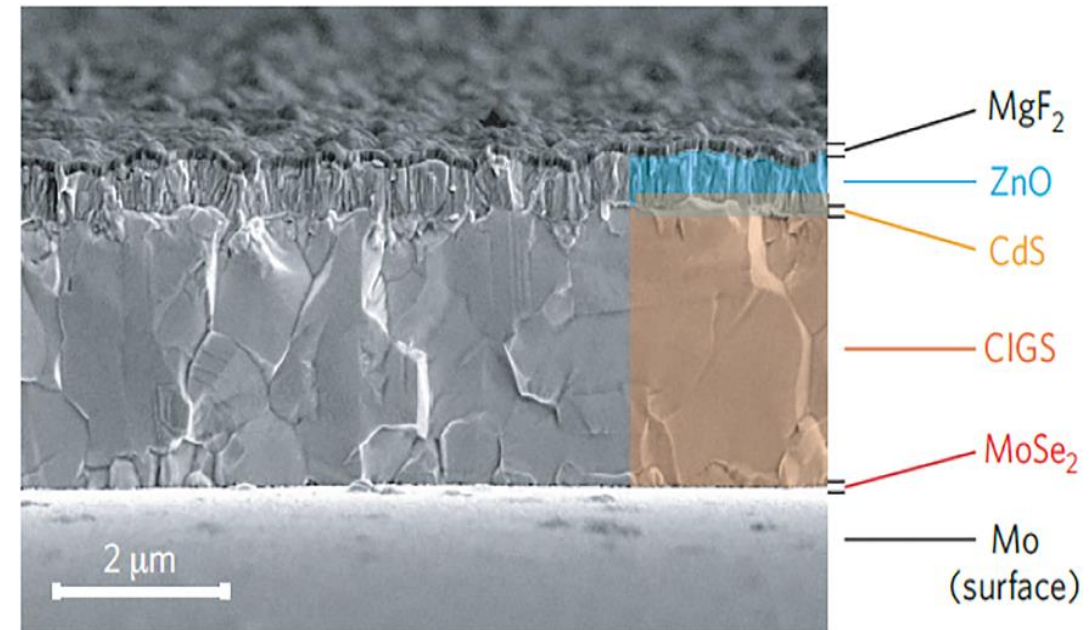
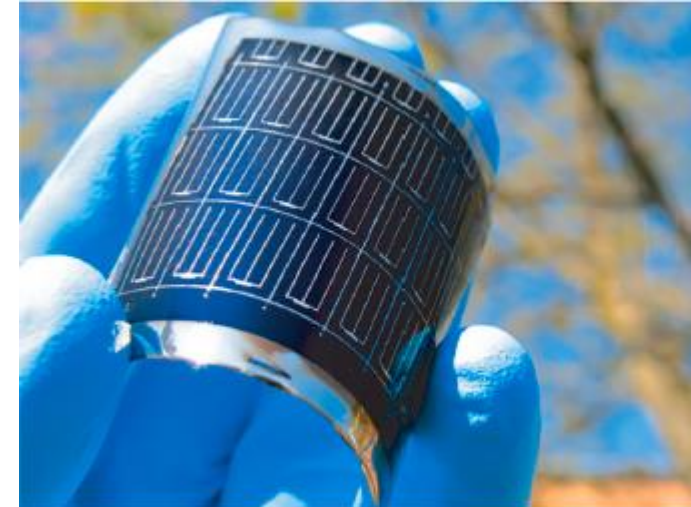
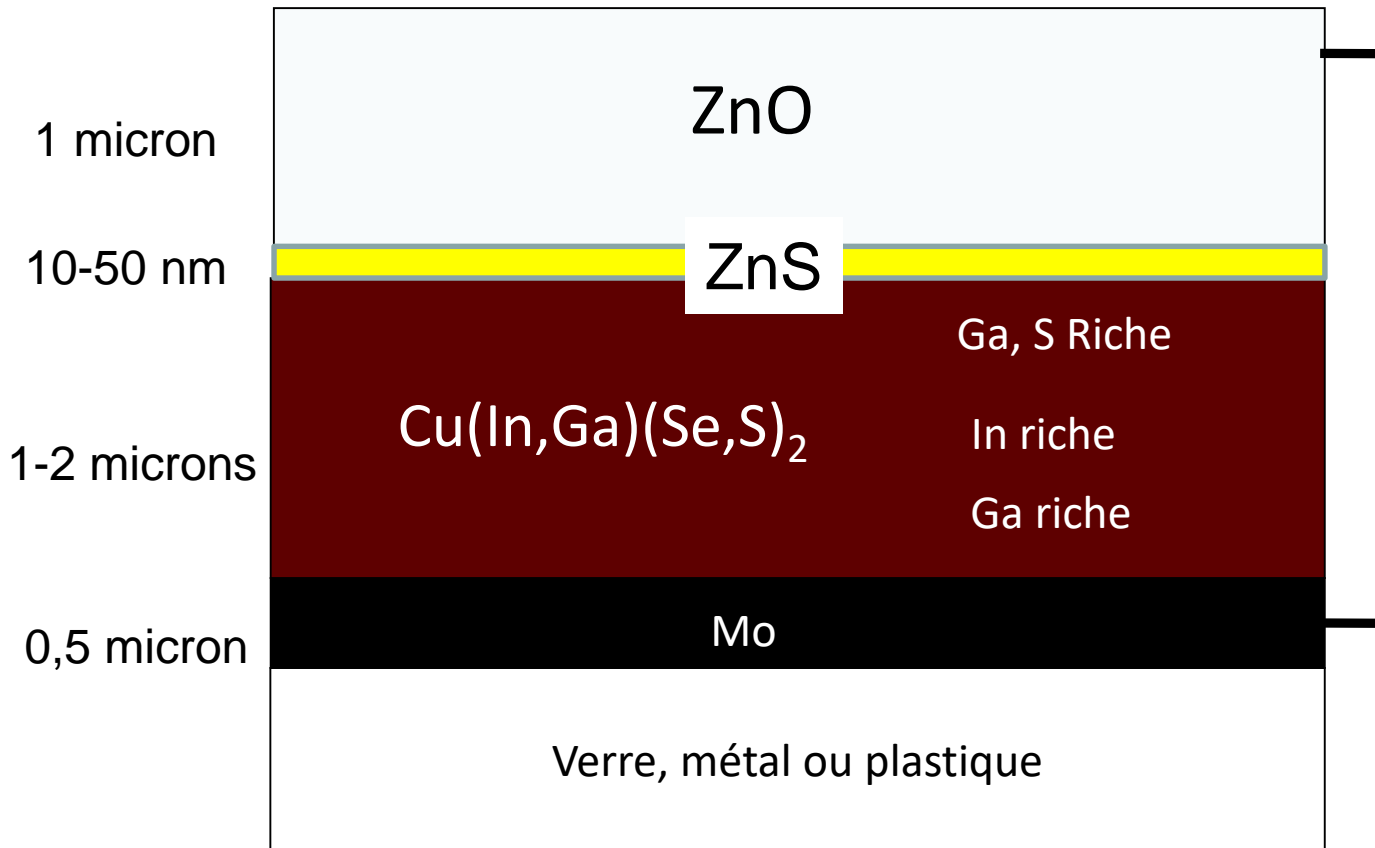
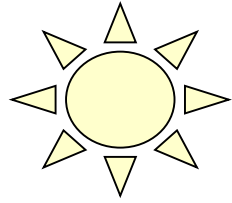
Molécule luminescente (colorant)



<https://www.kartable.fr/ressources/enseignement-scientifique/cours/une-conversion-naturelle-de-lenergie-solaire-la-photosynthese/51279>

Daniel Lincot , Collège de France, 20-1-2022

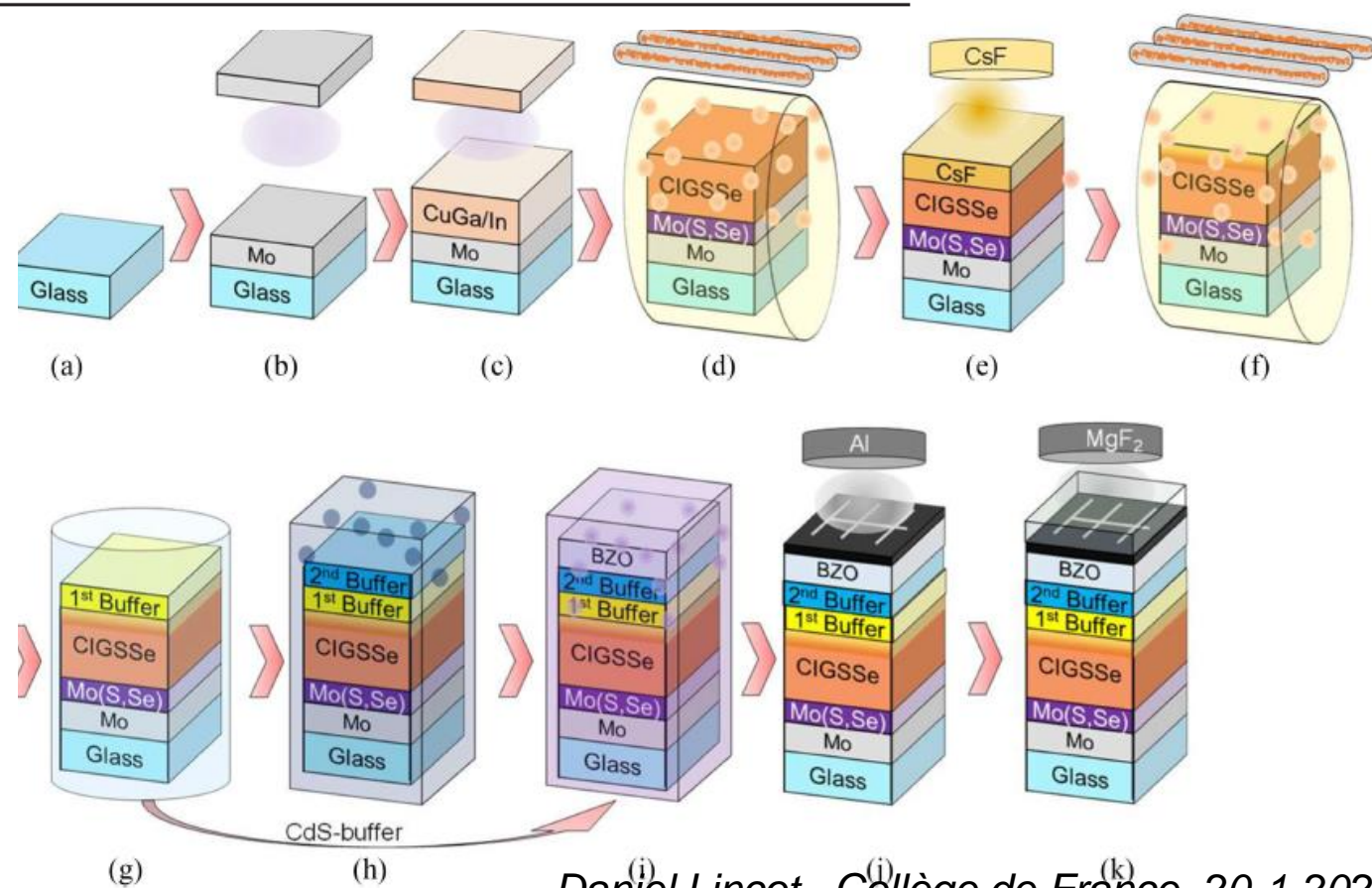
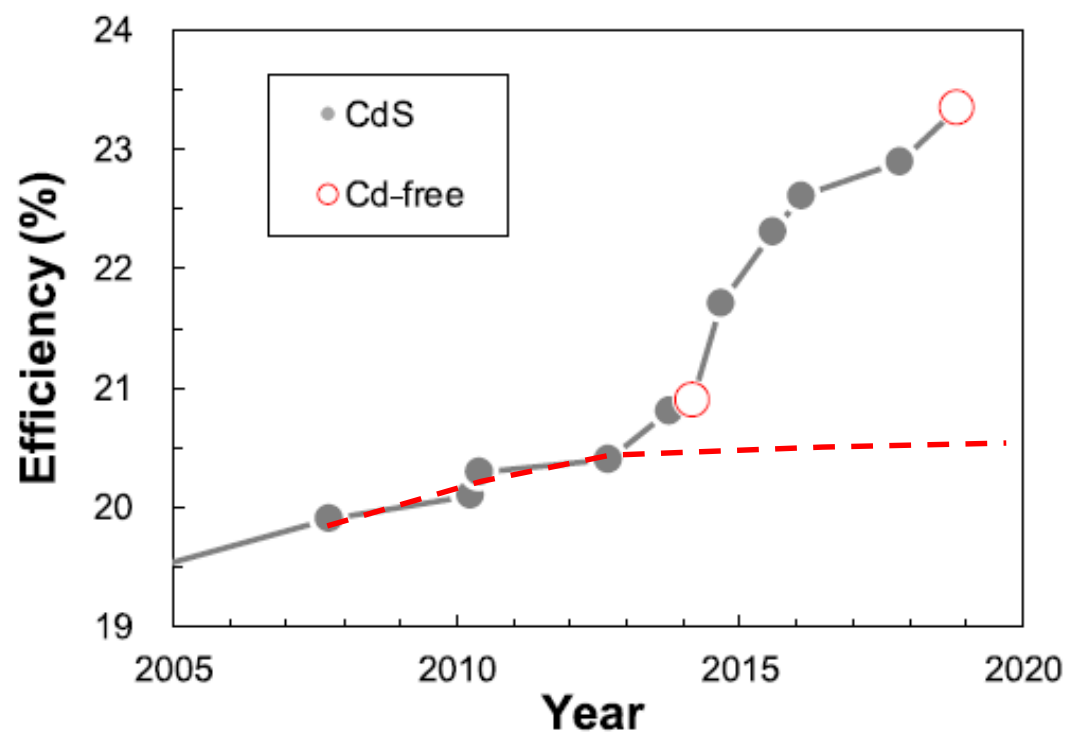
Filière couches minces : GaAs (1951), Cu₂S (1954) CdTe(1963), aSi (1976), **CIGS (1976)**



Cd-Free $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{Se,S})_2$ Thin-Film Solar Cell With Record Efficiency of 23.35%

Motoshi Nakamura ¹, Koji Yamaguchi, Yoshinori Kimoto, Yusuke Yasaki, Takuya Kato ², and Hiroki Sugimoto ³

Year	Buffer	Efficiency (%)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	E_g (eV)	$V_{oc,def}$ (mV)	Test Center
2017	CdS	22.92	746	38.5	79.7	1.13	384	AIST
2019	$\text{Zn}(\text{O,S,OH})_x/\text{Zn}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}$	23.35	734	39.6	80.4	1.08	350	AIST

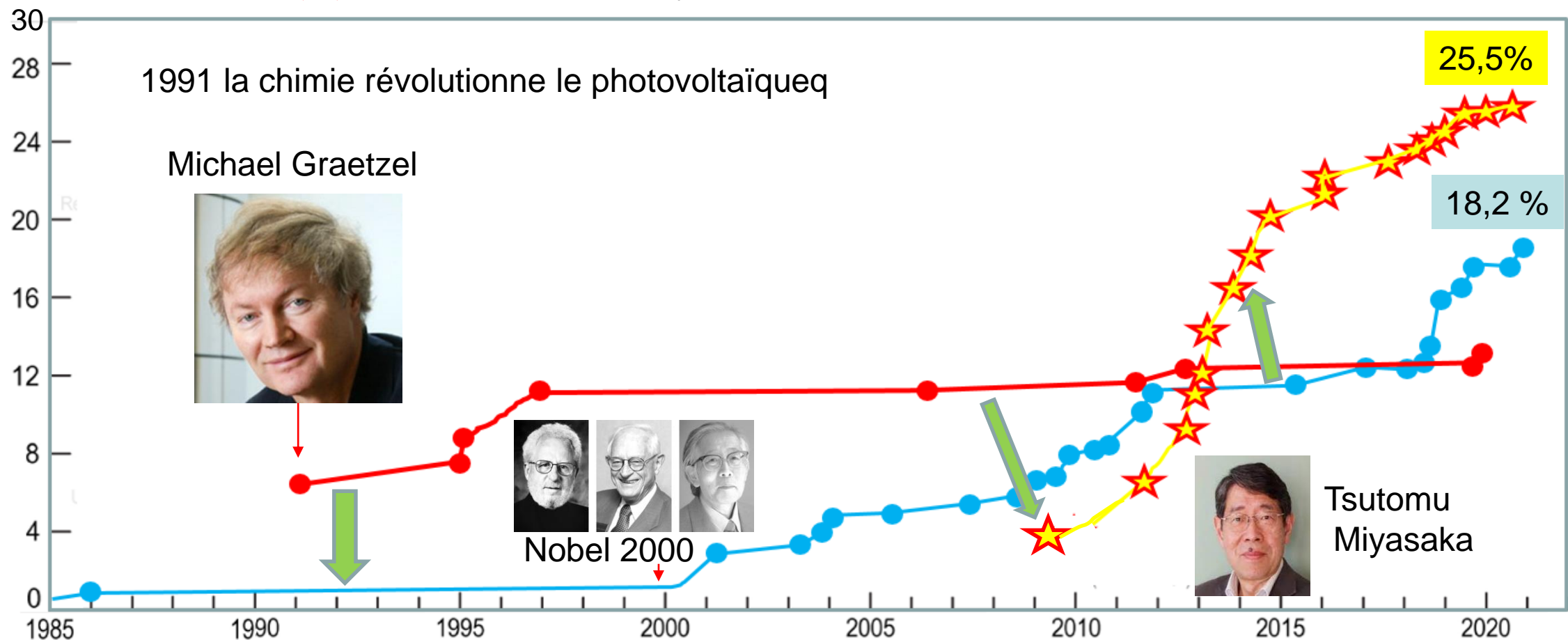


Daniel Lincot, Collège de France, 20-1-2022

1991 – La chimie révolutionne le photovoltaïque

Filières photovoltaïques émergentes couches minces organiques :

- Cellules hybrides à colorants (M. Graetzel) : 1991
- Cellules organiques : 2001 (OPV)
- ★ Cellules Perovskites hybrides : 2009

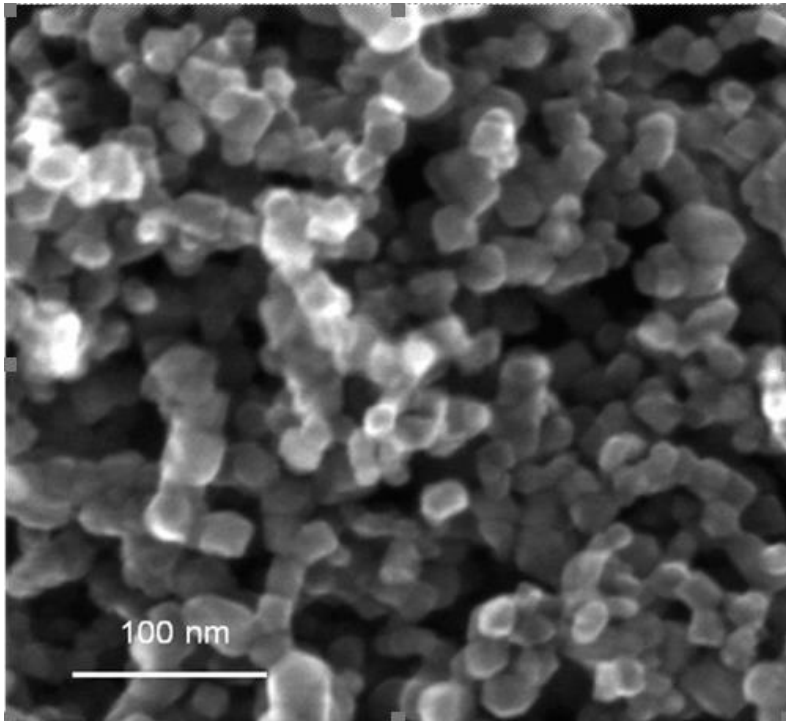


Phénomènes de fertilisation croisée (concepts, matériaux, procédés)

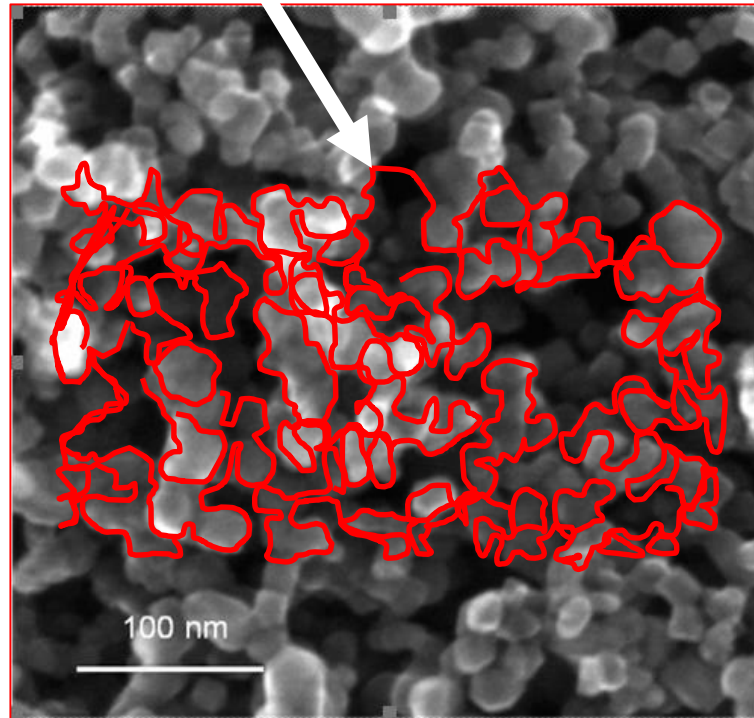
Les cellules à colorants : l'irruption des concepts de la photosynthèse dans le photovoltaïque

- Photovoltaïque moléculaire
- Découverte du concept de réseaux interpénétrés

Matrice poreuse de TiO_2

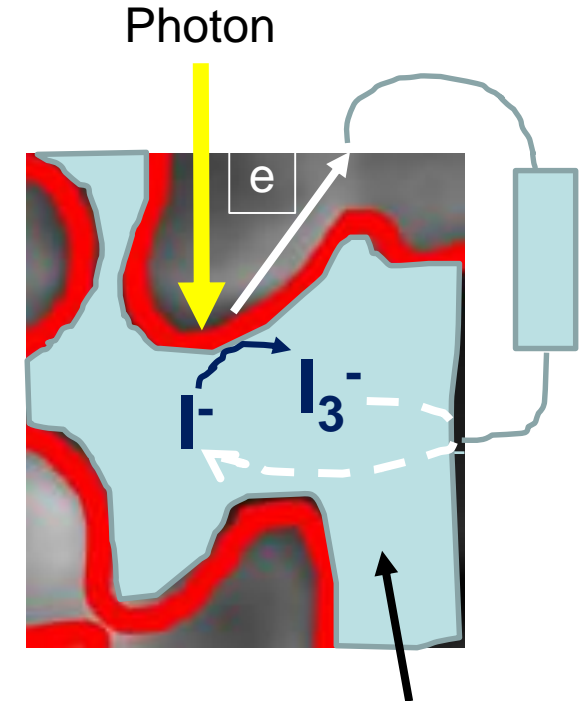


Adsorption d'un colorant

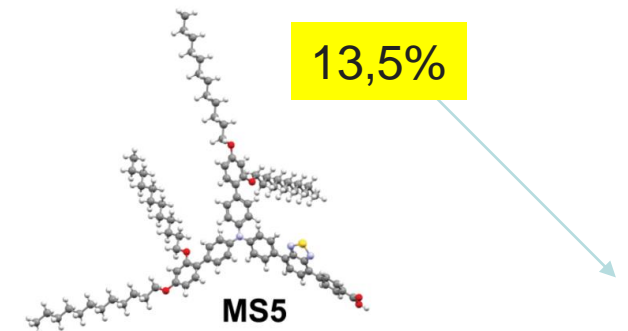


Multiplication de la surface développée

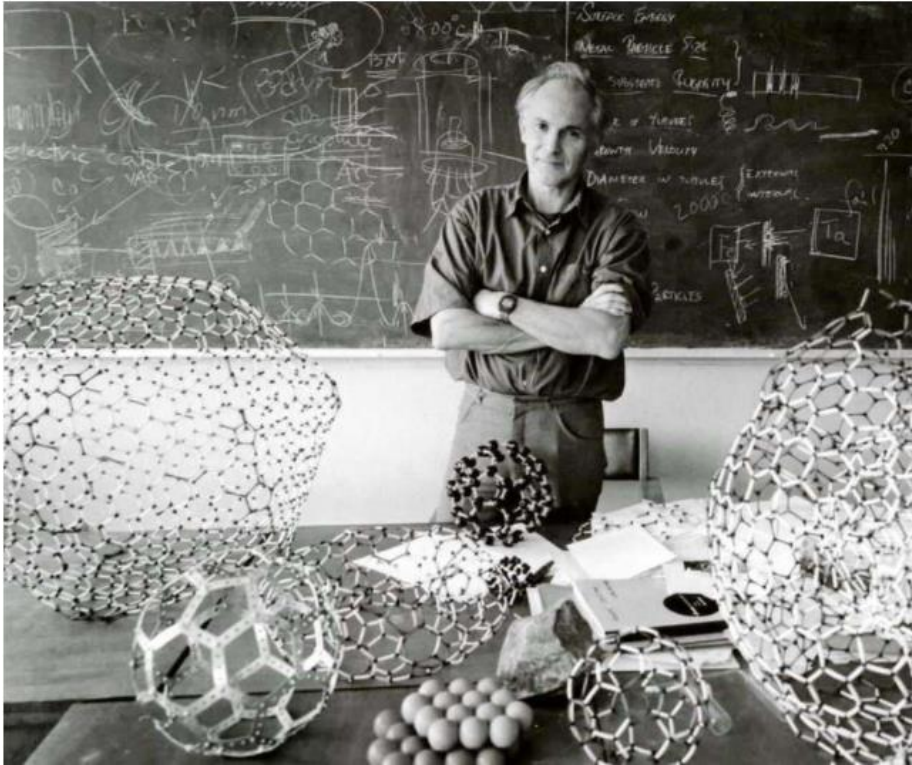
$1 \text{ cm}^2 \rightarrow 1000 \text{ cm}^2$



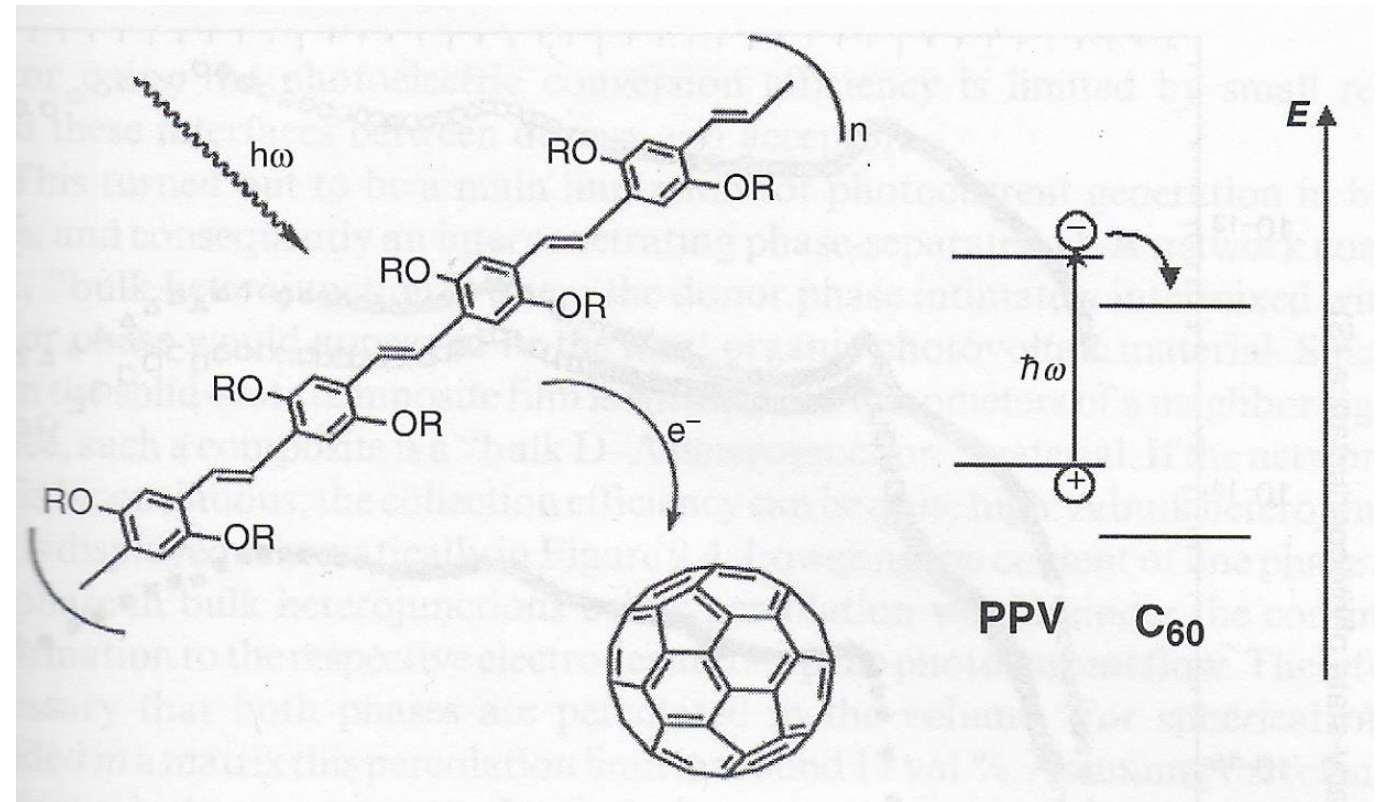
Injection d'un électrolyte iodure



Il ouvre la voie au photovoltaïque organique « interpénétré » (OPV) ... et à la chimie organique dans le photovoltaïque (polymères, molécules...)



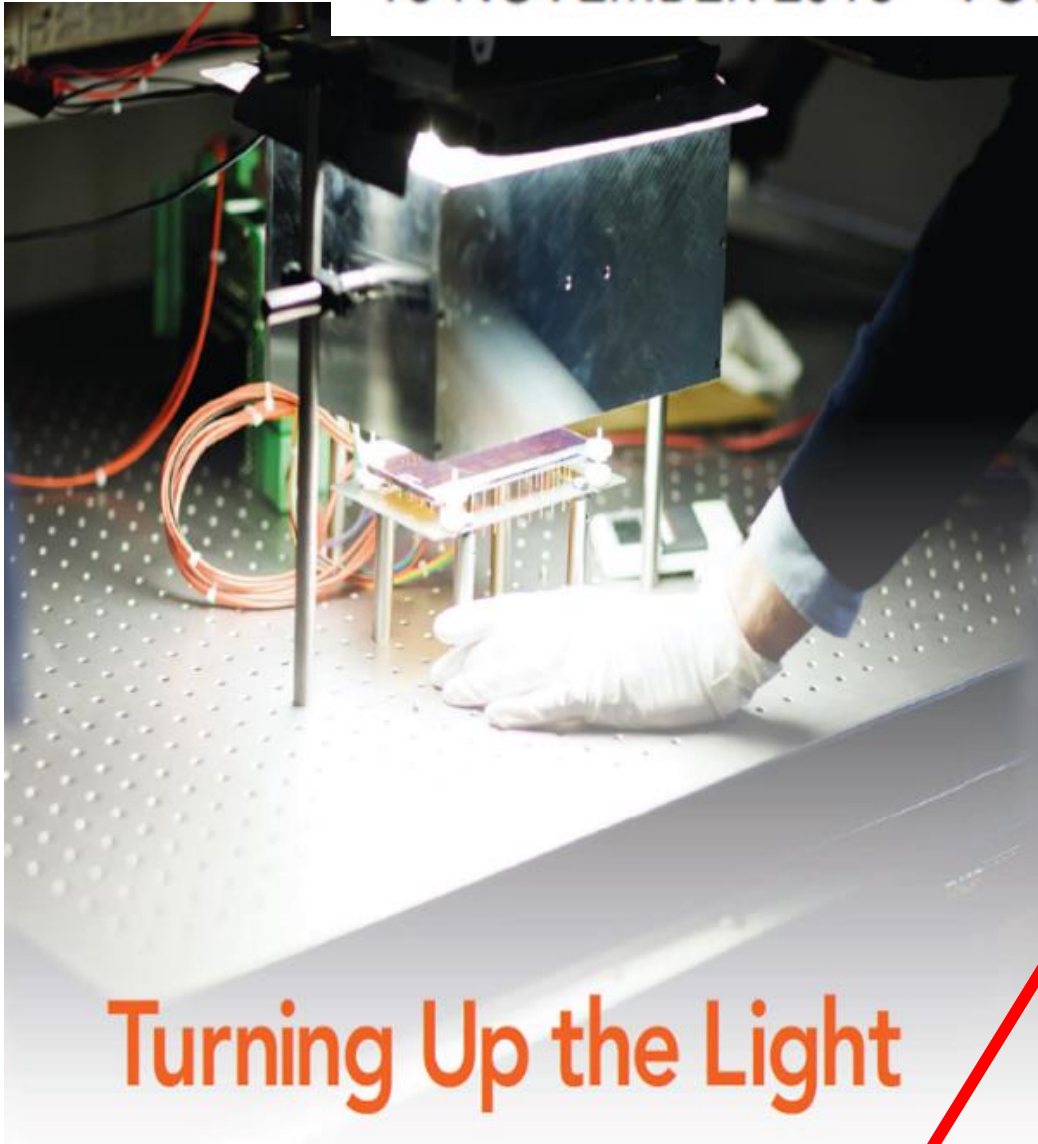
H. Kroto, R. Curl, R. Smalley, prix Nobel 1996
Découverte 1985
Source: futura sciences 2016



H. Hoppe, N. S. Saricifti, Bulk heterojunction solar cells,
Organic photovoltaics, S.S. Sun and N.S. Saricifti,
CRC Press, 2005

Rendement record 18,2%

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?

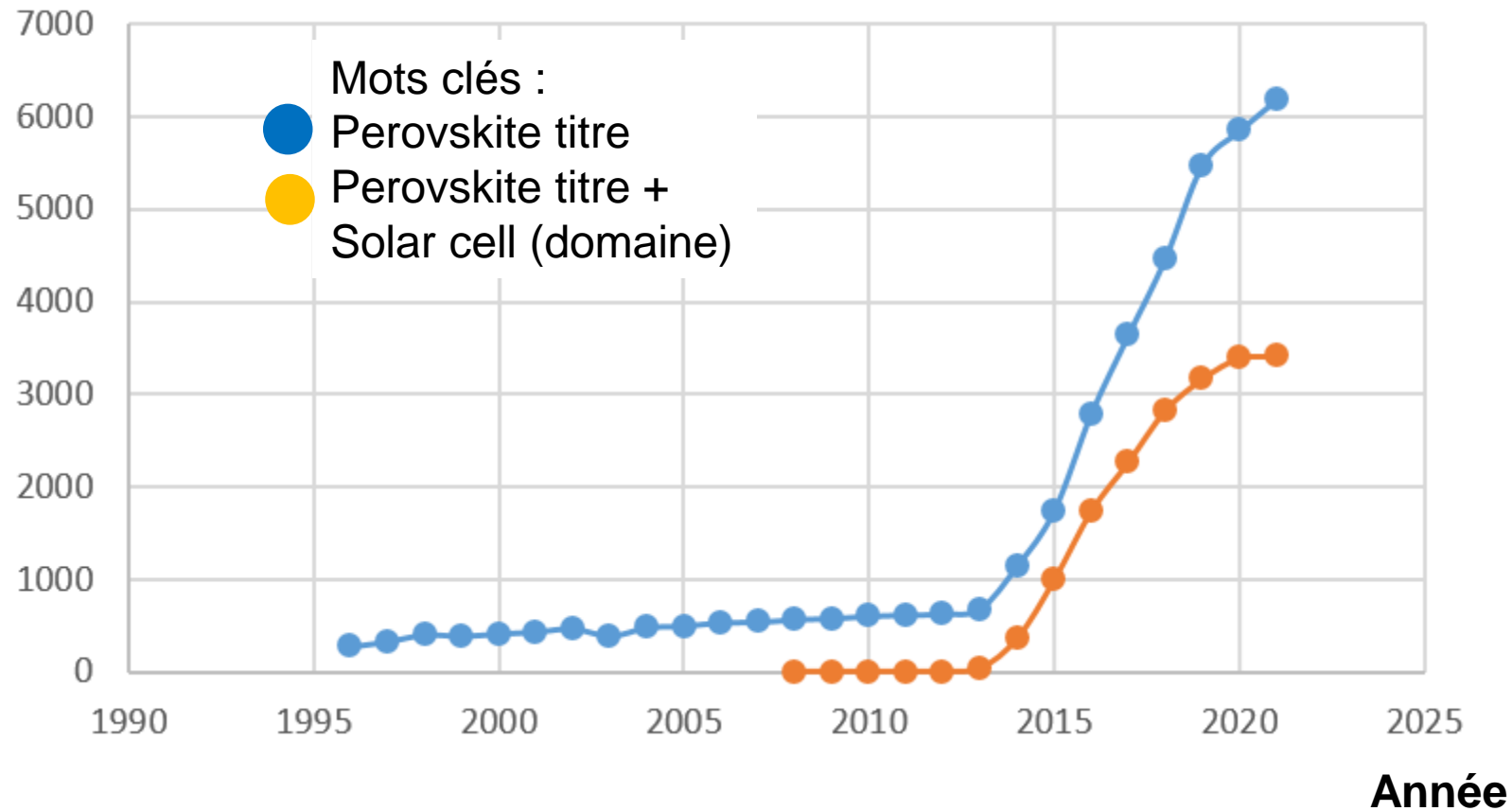
Photovoltaic materials called perovskites work wonders in the lab, but will they shine as commercial technology?

Hype or Hope ?
Espoir ou illusion ?

Etude Bibliométrique

Source : Web of Science /CNRS
15 janvier 2022

Nombre d'articles publiés par an

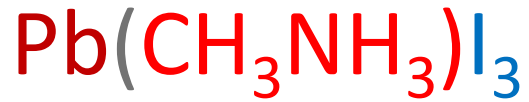




Tsutomu Miyasaka

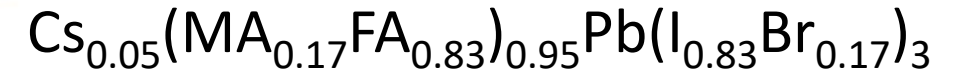
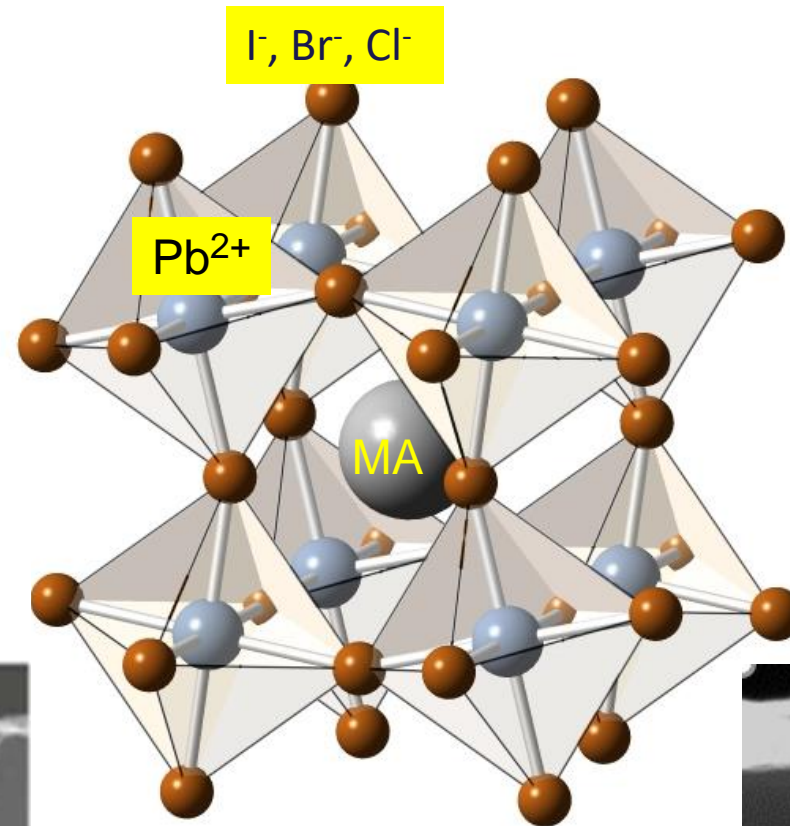
2021 : 25,2 %

2009 : 3,8 %



MA : $CH_3NH_3^+$

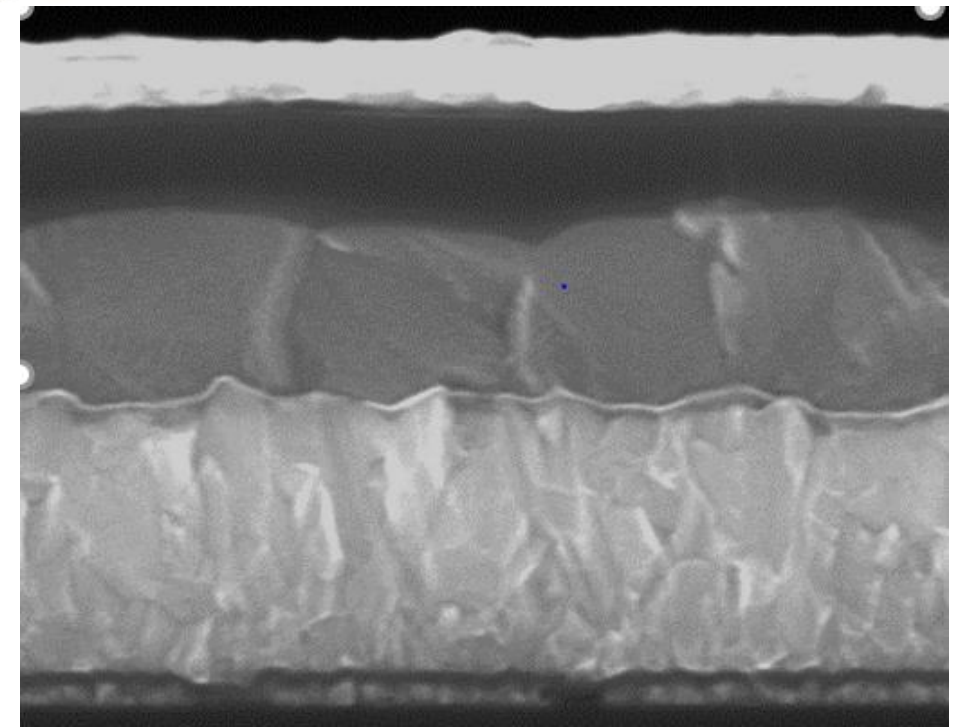
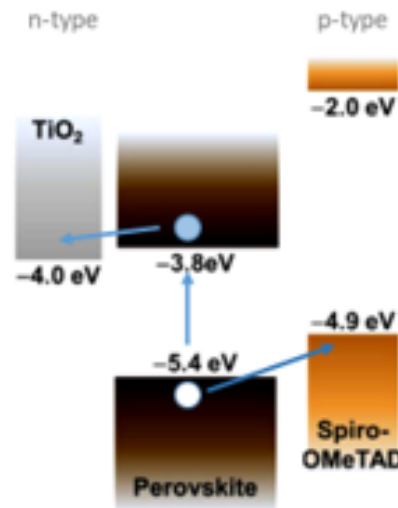
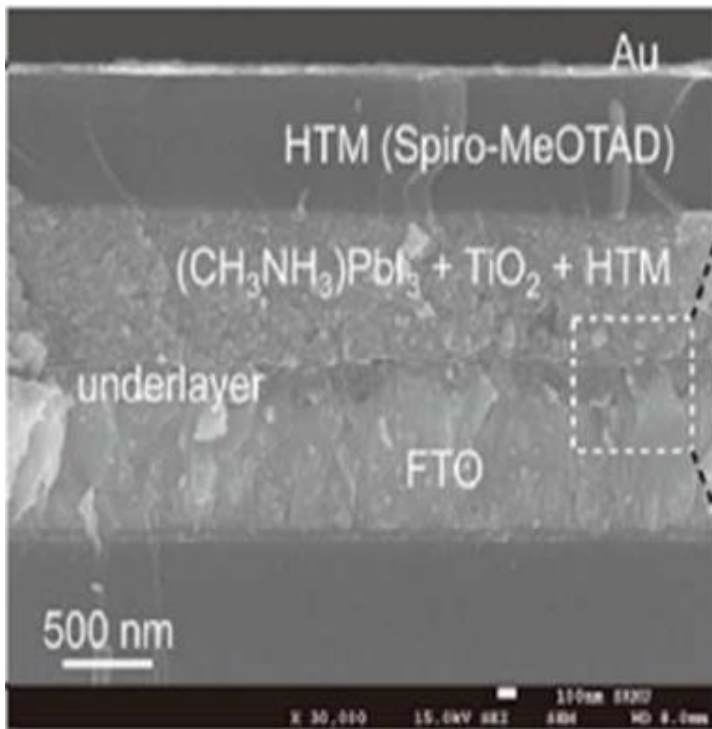
« MAPbI₃ » : $MAPbI_3$



MA → FA : $HC(NH_2)_2^+ \rightarrow Cs^+, Rb^+$,

I → Br

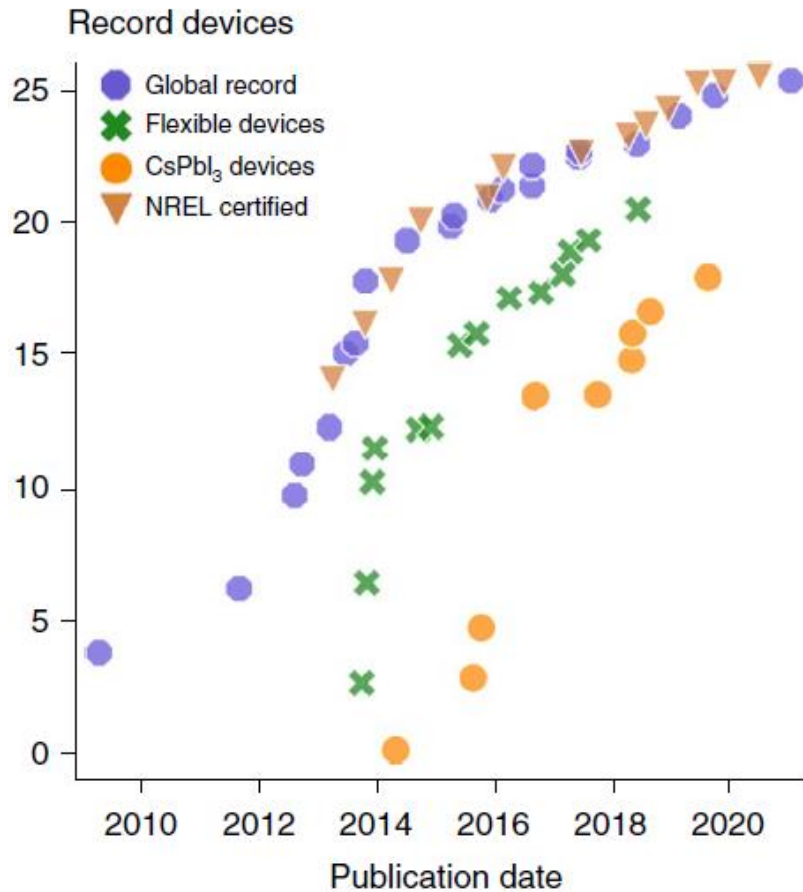
Pb → Sn





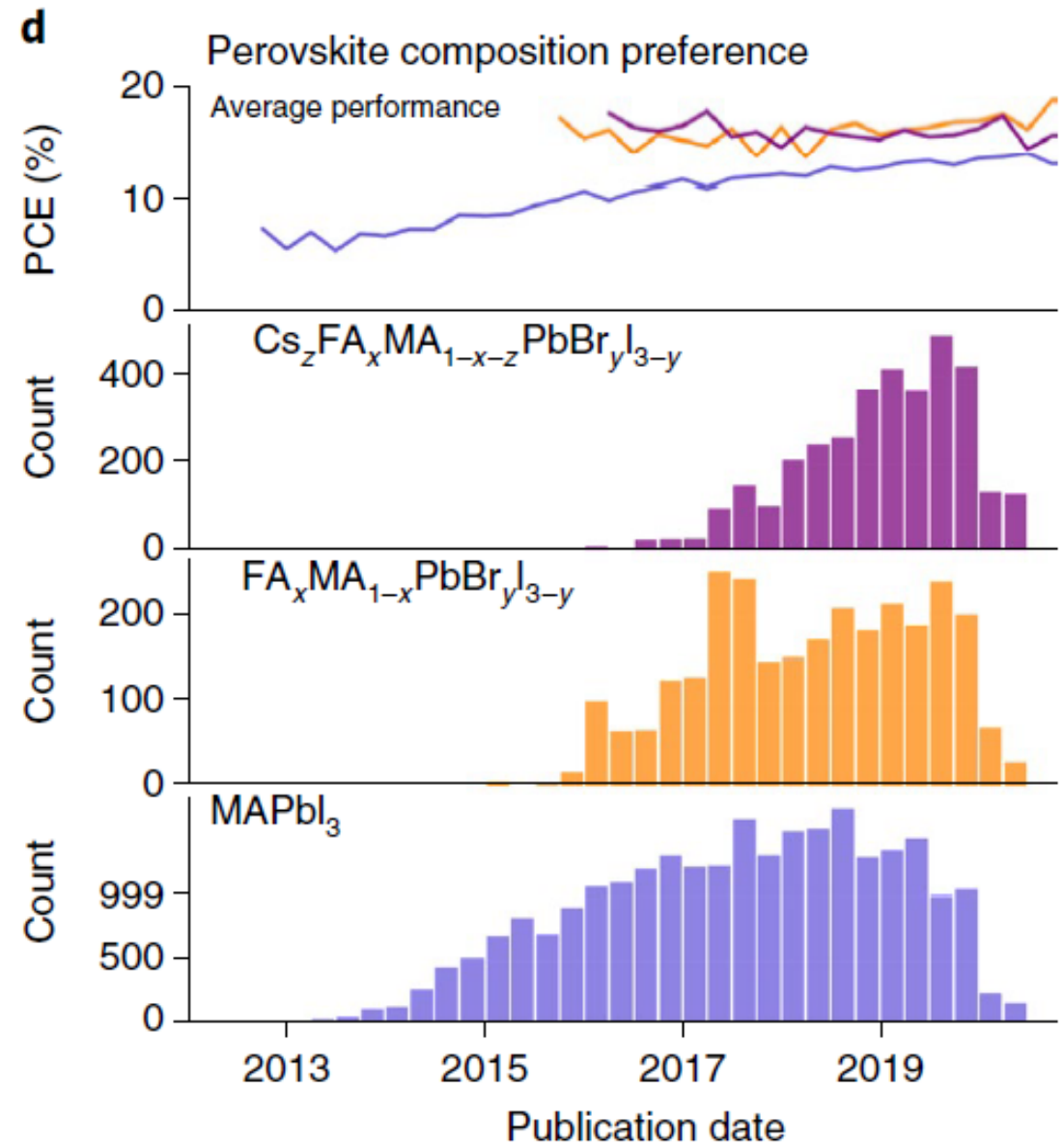
OPEN

An open-access database and analysis tool for perovskite solar cells based on the FAIR data principles



96 co-auteurs

Daniel Lincot , Collège de France, 20-1-2022



Un nouvel Horizon

la photoélectrochimie pour la conversion directe en composés chimiques : Interface Photovoltaïque -Biologie

