



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

Chaire Innovation technologique
Liliane Bettencourt 2021-2022

Énergie solaire photovoltaïque et transition énergétique



Fondation
Bettencourt
Schueller

Reconnue d'utilité publique depuis 1987

Mercredi 9 Mars 2022

De la cellule au système

Daniel LINCOT

Architecture, fiabilité et évolution des systèmes
photovoltaïques

Anne MIGAN-DUBOIS

daniel.lincot@cnrs.fr



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

Chaire Innovation technologique
Liliane Bettencourt 2021-2022
Énergie solaire photovoltaïque et transition énergétique



Mercredi 9 Mars 2022

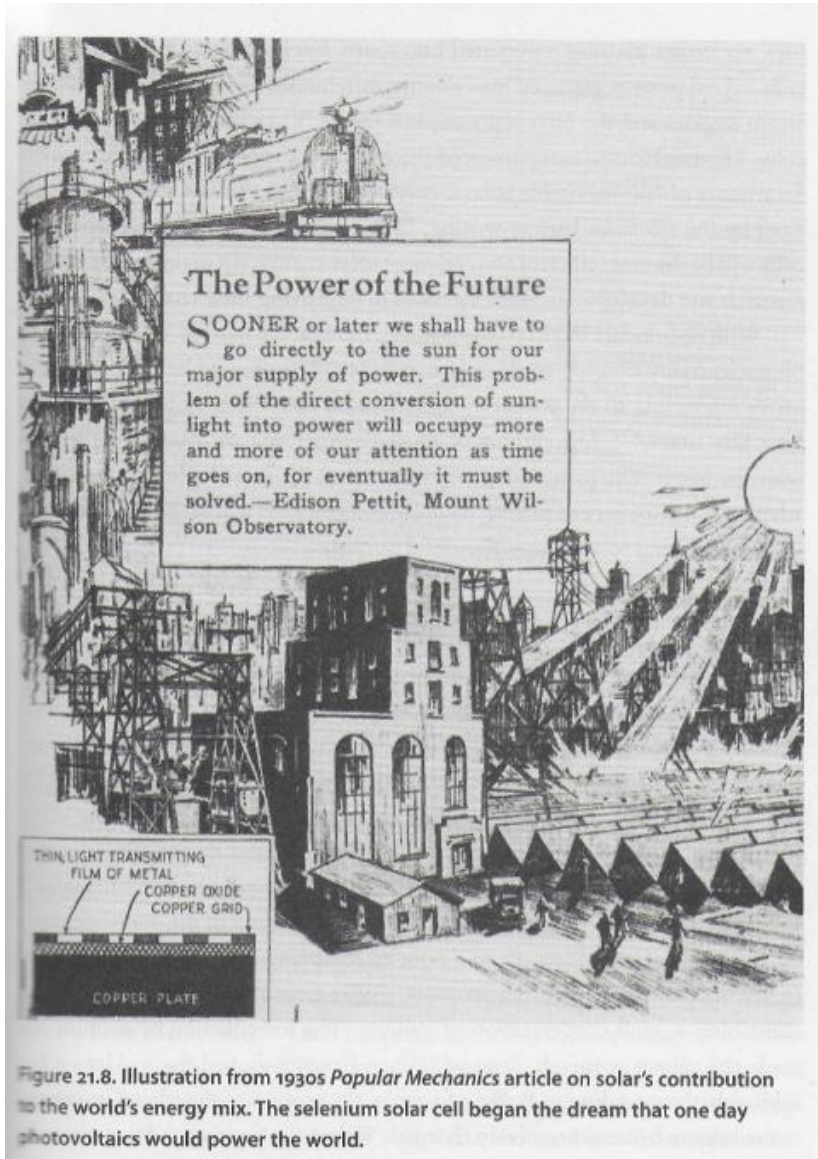
De la cellule au système

Daniel LINCOT



daniel.lincot@cnrs.fr

1930



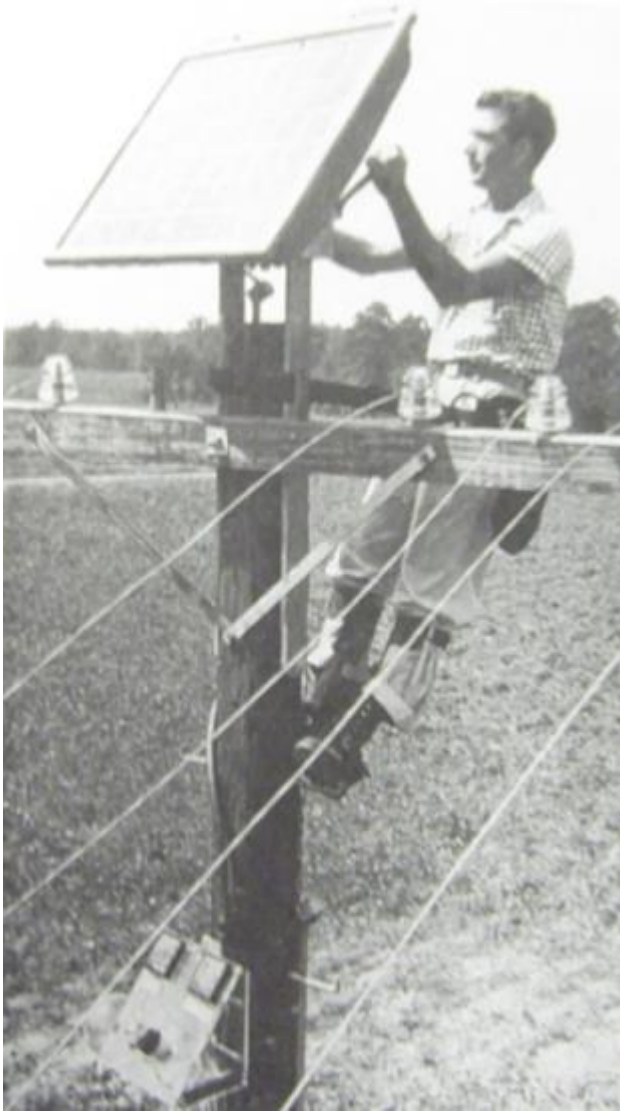
1954



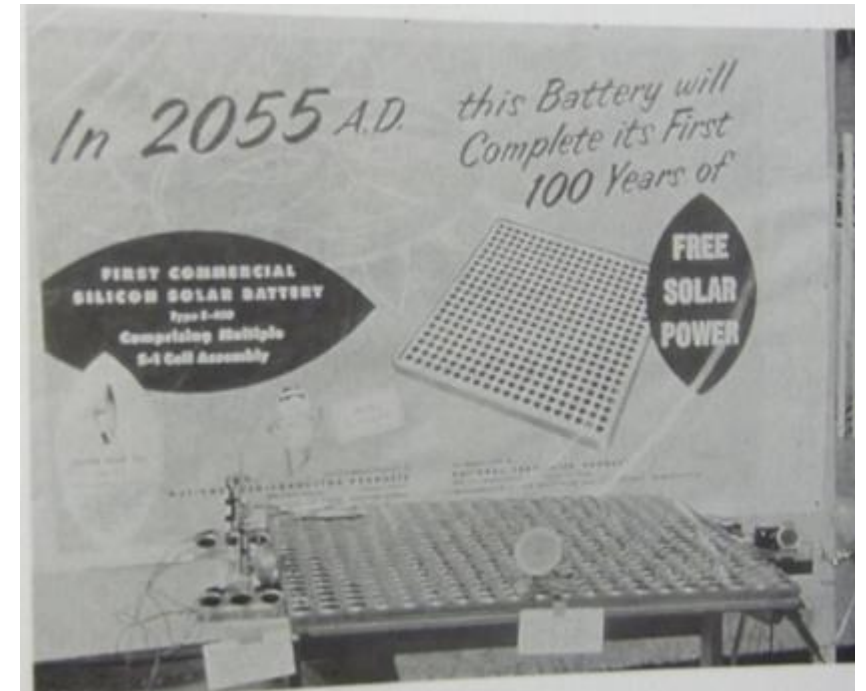
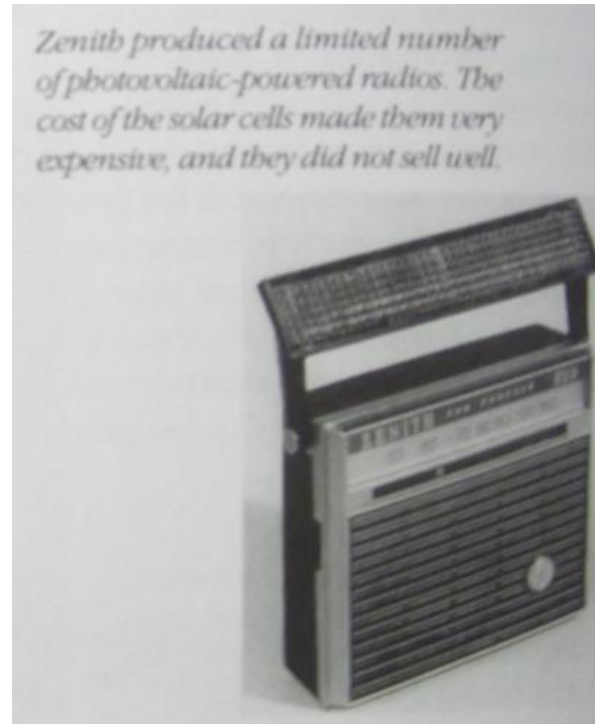
G. Pearson, D. Chapin, C. Fuller

Source: Let it shine, John Perlin (2013)

**1958 - Premier satellite alimenté par des cellules photovoltaïques
Vanguard, USA, 1958**



Déjà une vision systèmes



Applications spatiales

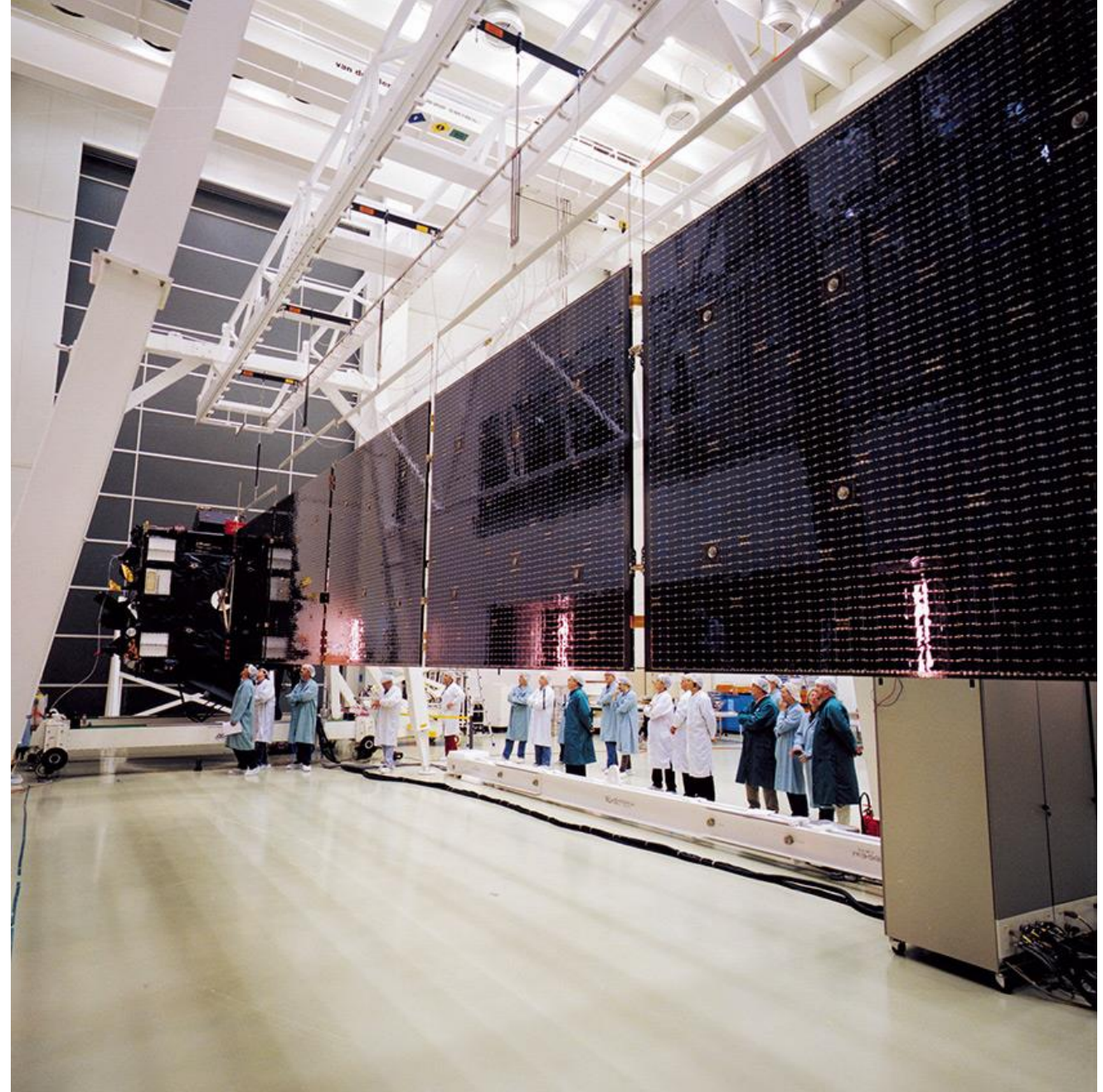
12-11-2014 : Philae se pose sur Tchouri



Les panneaux solaires de Rosetta (2002)

Source CNES

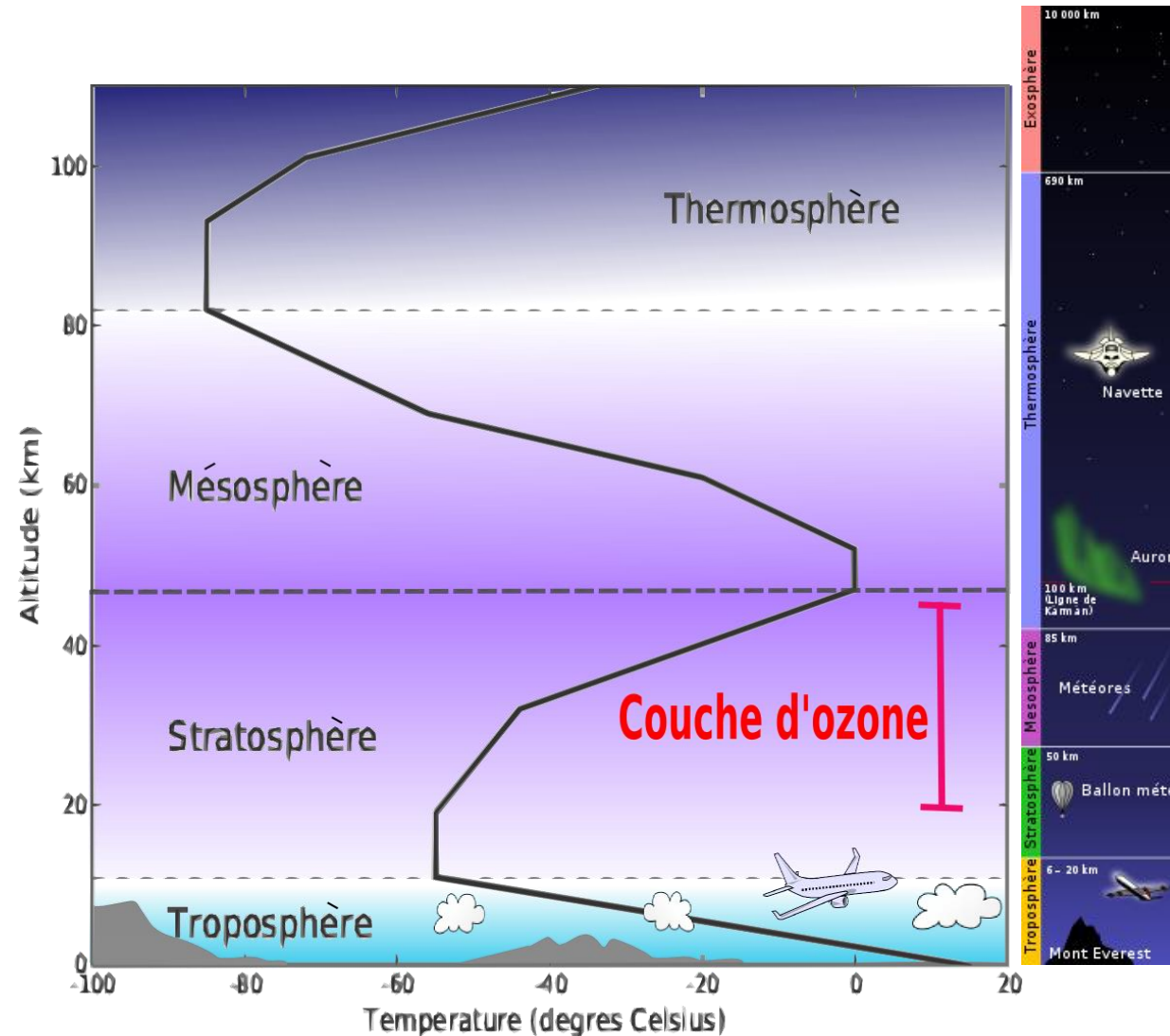
Two enormous solar panel 'wings' extend from the other sides. These wings, each 32 square metres in area, have a total span of about 32 metres tip to tip.



Conditions particulières :

Variations extrêmes de température

Bombardement de particules de hautes énergies





Flexible Solar Array

Mechanical Structure Module

- Up to ~ 70 kW
- Modular and Flexible
- Compact storage

Blanket

- Flexible
- Lightweight
- Thin

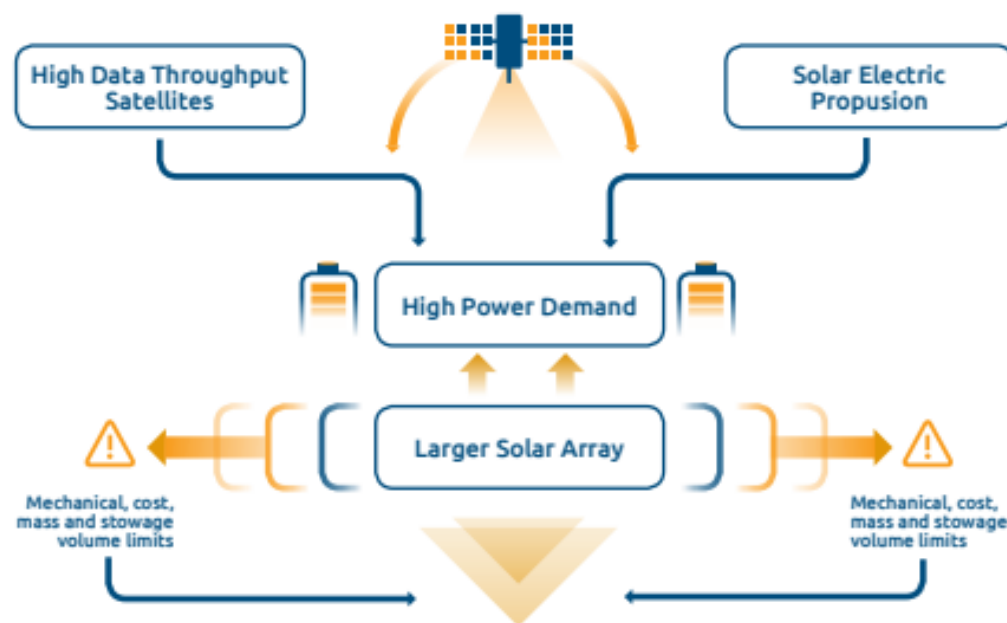
PhotoVoltaic Array (PVA)

- Printed harness
- New fabrication process
- Radiation and high voltage protection

Solar Cell

- High performance / cost ratio
- High power density
- Thinner and flexible

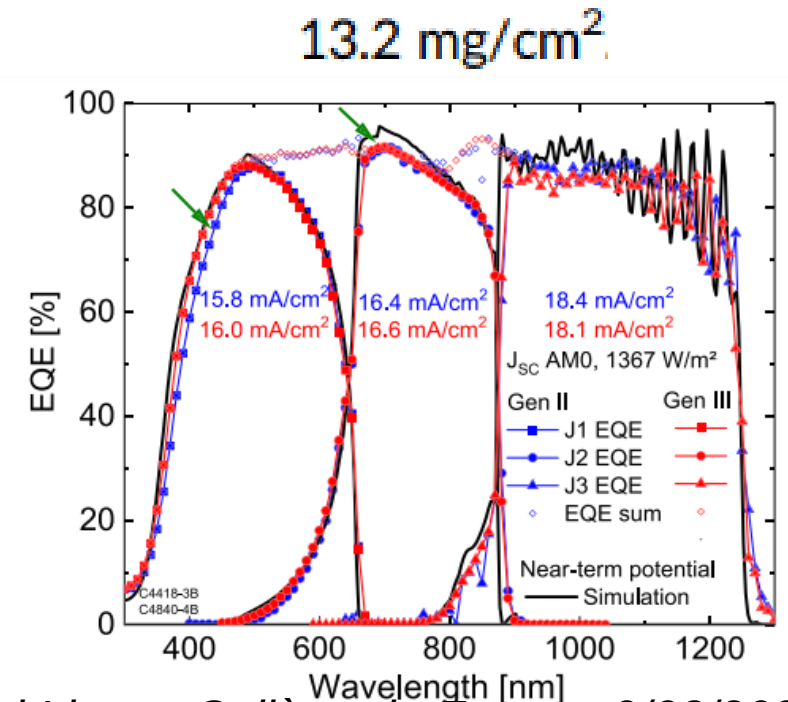
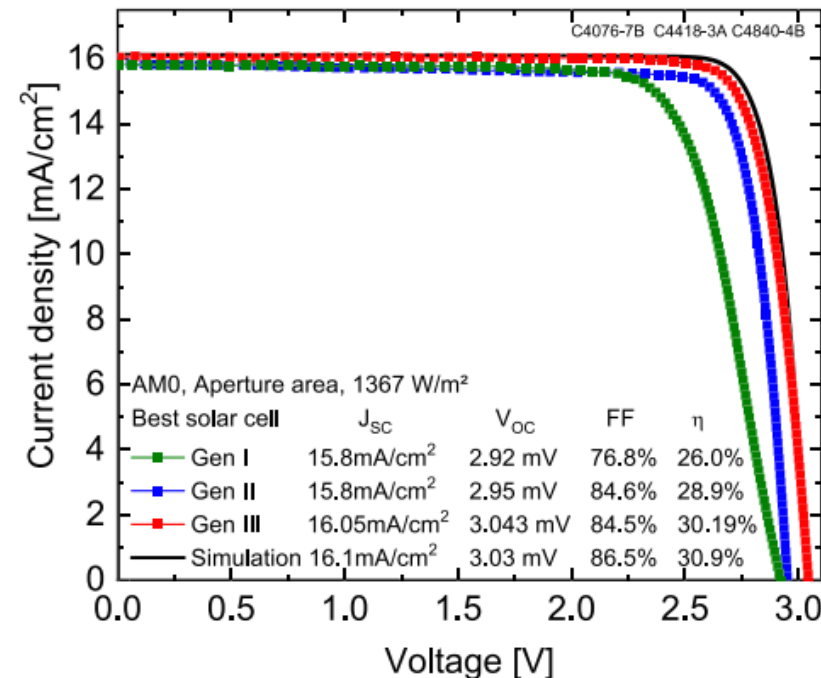
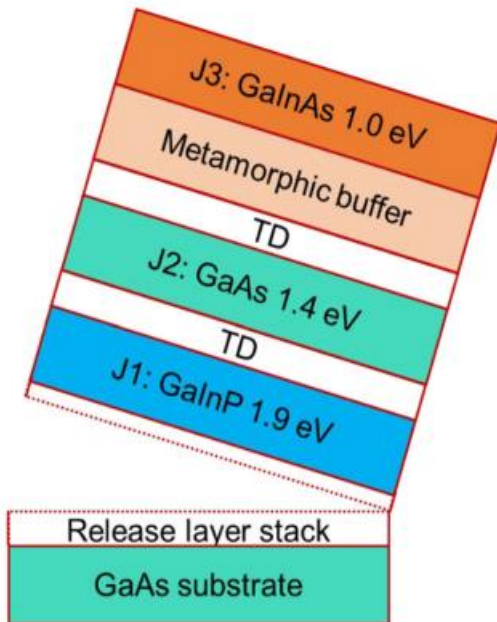
The Alfama Concept



- European ELO IMM 3J cells development, manufacturing and testing
- 2 PVA prototypes proof of concept will be manufactured and tested
- 1 deployment structure for large flexible SA

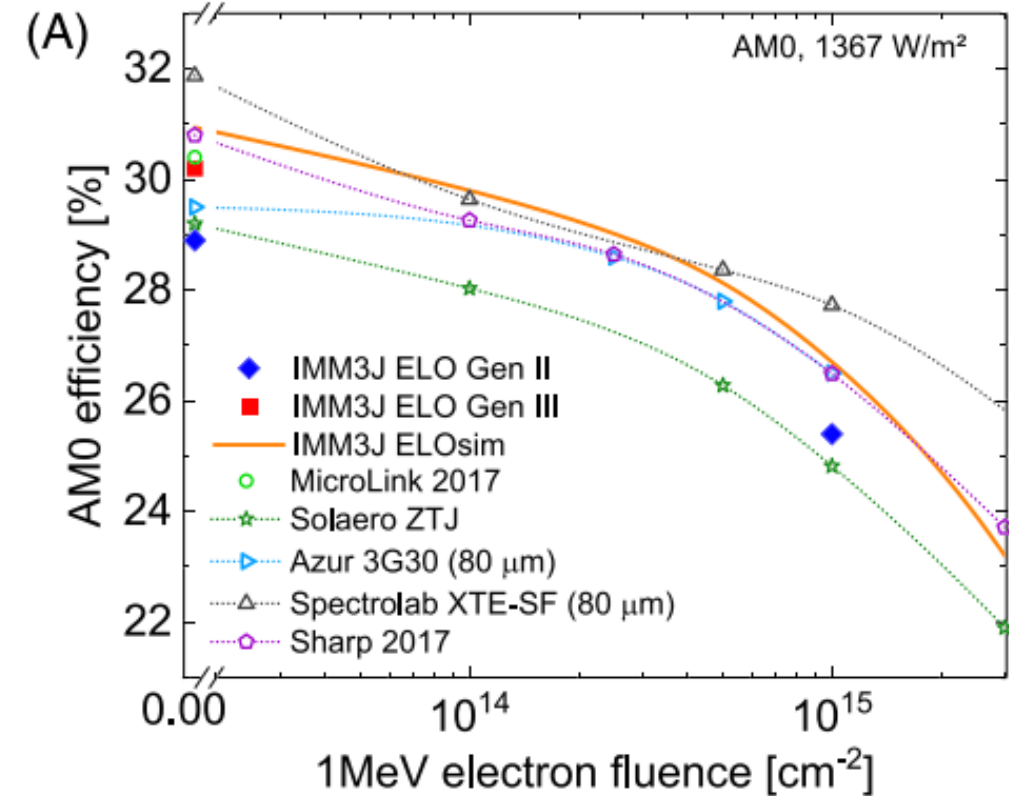
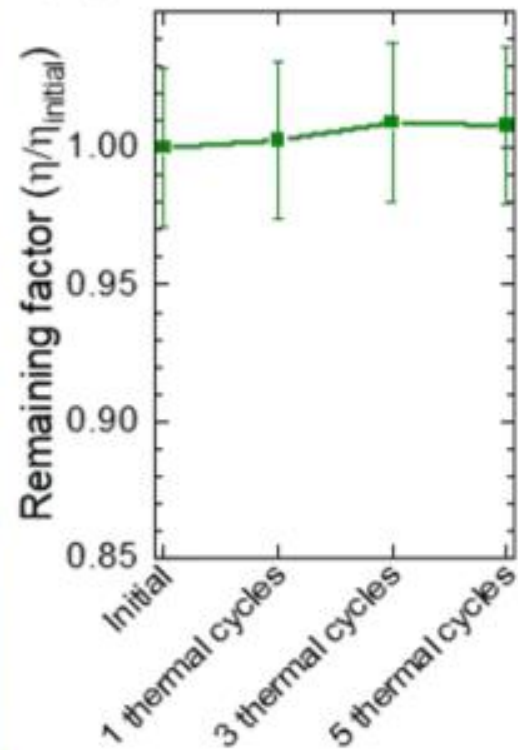
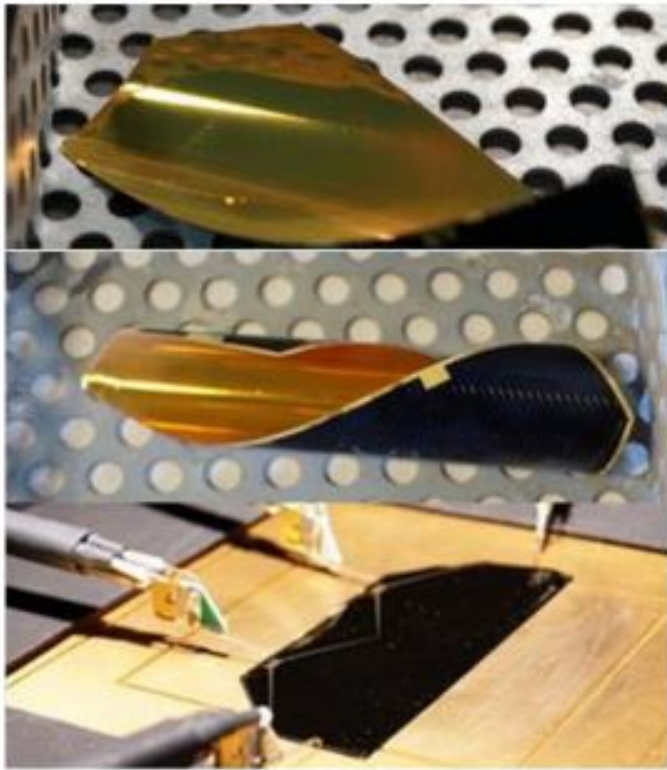
Improvements in ultra-light and flexible epitaxial lift-off GaInP/GaAs/GaInAs solar cells for space applications

Jonas Schön^{1,2}  | Gunther M. M. W. Bissels³ | Peter Mulder³ |
Rosalinda H. van Leest³ | Natasha Gruginskie³ | Elias Vlieg³  | David Chojniak¹ |
David Lackner¹



Daniel Lincot, Collège de France, 9/03/2022

Des tests très durs



- Variations extrêmes de température
 - 5 fois --Trempage dans l'azote liquide et ensuite 25°C
- Bombardement de particules de hautes énergies
 - Électrons (1 MeV) jusqu'à 10¹⁵ cm⁻²

Rendement initial : 30,15 %
Rendement final : 25,4% (88%)

3 W/g (BOL) au lieu de 1W/g pour cellules spatiales standard (sur Ge)



Roll-Out Solar Array (ROSA) - flexible material containing photovoltaic cells - ISS experiment (2017)

<https://www.youtube.com/watch?v=FQlboXl0dIA>



Daniel Lincot, Collège de France, 9/03/2022



Technologie
couches minces CIGS
Modules 17% de rendement



Exemple précurseur de systèmes déployables en rouleaux

<https://www.youtube.com/watch?v=LBWB79NWcJ4>

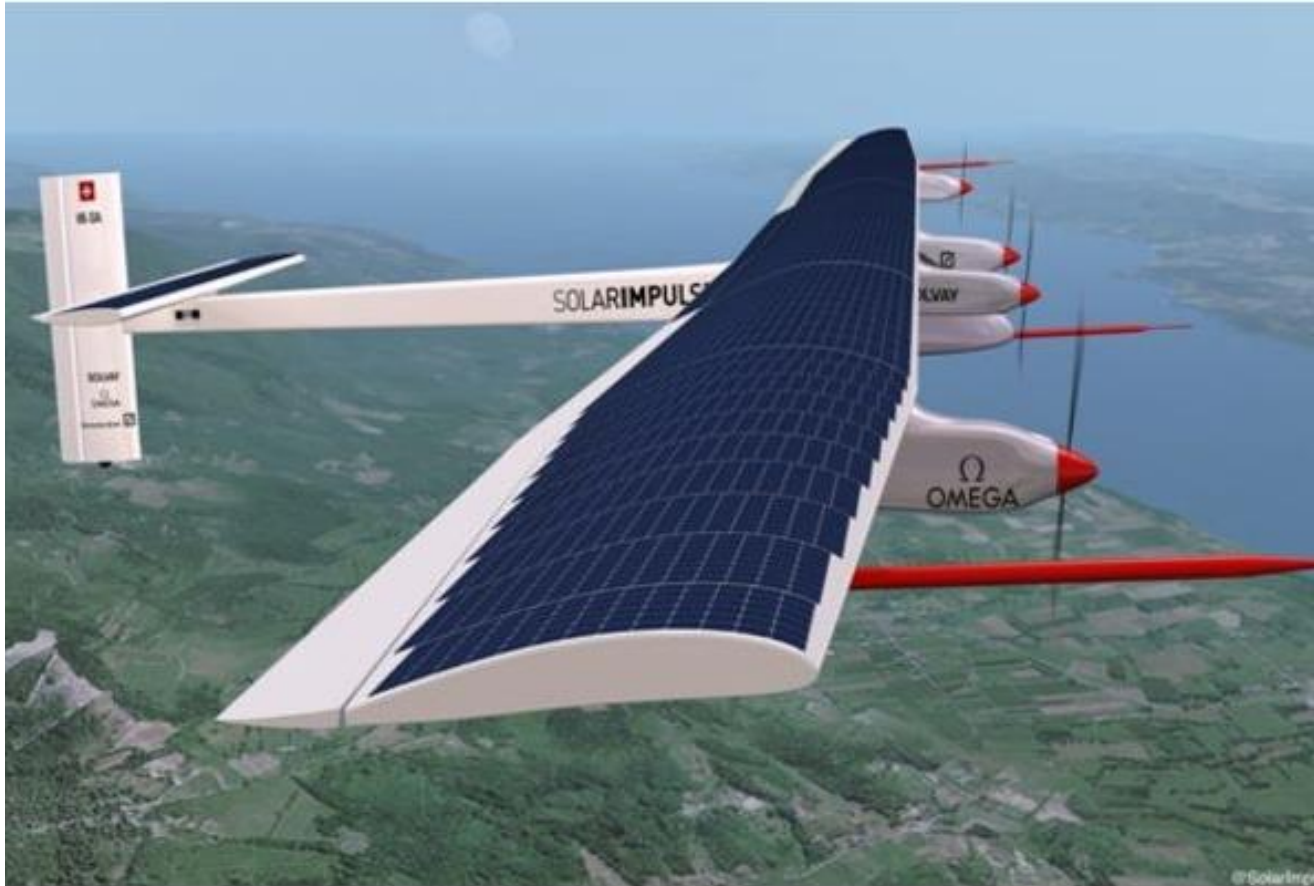
Rapid Roll Solar Panels (2017)



Daniel Lincot, Collège de France, 9/03/2022

Photovoltaïque aérien

Solar Impulse : quand le rêve réveille l'innovation



L'aventure du Solar Impulse représente un vrai défi technologique et industriel. En tentant ce pari fou de faire voler un avion à la seule force du soleil, Bertrand Piccard renoue avec les grands défis que savaient se lancer les industriels au siècle dernier. Et nous rappelle que toute innovation, avant de devenir un produit, a d'abord pris une forme onirique.

Solar Impulse (tour du monde 2016)

Envergure: 72 m
Masse : 2300 kg
Vitesse : 62 km/h
Moteurs électriques : 30 kW
Batteries : Li-Ion,
260 Wh/kg en 2015
400 kg soit 100 kWh
Température : -40°C à 8500 m

Cellules photovoltaïque
silicium (166 microns) :
17248
Rendement 22,7%
Surface totale : 270 m²
Puissance totale : 54 kW
environ (pour 20% de
rendement)



28 juin 2015 18:03 GMT	3 juillet 2015 15:54 GMT	 Nagoya, Japon	 Hawaï, É.-U.	7 212 km	117 h 52 min	61,19 km/h	André Borschberg
21 avril 2016 16:15 GMT ²⁴ [source insuffisante]	24 avril 2016 06:44 GMT	 Honolulu, Hawaï, É.-U.	 San Francisco ²⁵ [source insuffisante], Californie, É.-U.	4 707 km	62 h 29 min	75 km/h	Bertrand Piccard

https://fr.wikipedia.org/wiki/Solar_Impulse

<https://www.industrie-techno.com/article/solar-impulse-toutes-les-technos-de-l-avion-solaire-qui-va-faire-le-tour-du-monde.36937>

Les systèmes terrestres centralisés

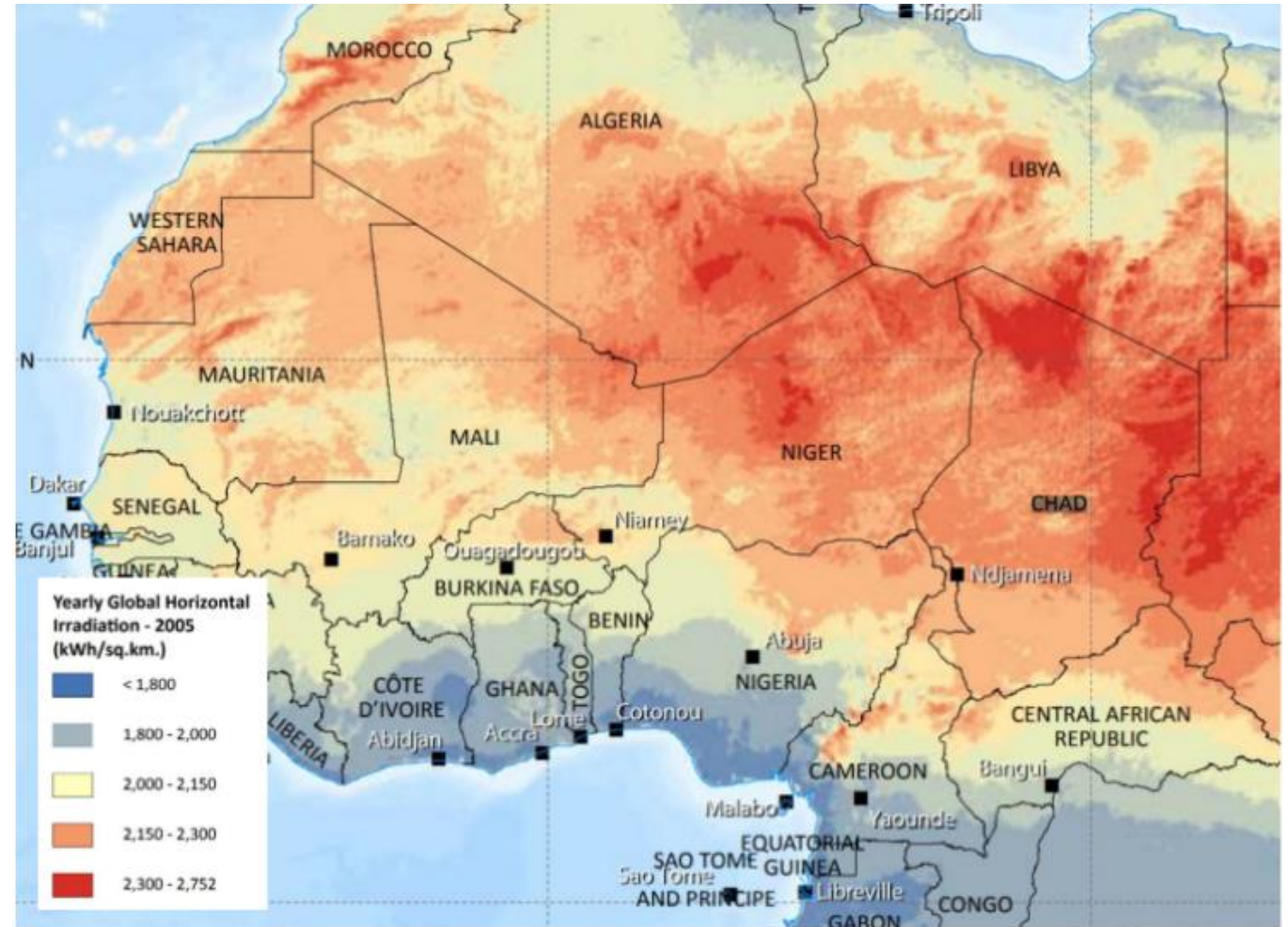
AFRIQUE

La BAD investit 379,6 millions de dollars dans le projet à grande échelle « Desert to Power »

La BAD accorde un financement de 379,6 millions de dollars aux pays du G5 Sahel dans le cadre du programme « Desert to Power » qui vise à exploiter le potentiel solaire de la région en y développant 10 GW d'installations à grande échelle d'ici 2030.

MARS 7, 2022 MARIE BEYER

Selon la Banque africaine de développement, le taux d'accès à l'électricité en Afrique est passé de 42 % en 2015 à 54 % en 2019 et vingt millions d'Africains ont pu être raccordés entre 2014 et 2018.



<https://www.pv-magazine.fr/2022/03/07/la-bad-investit-3796-millions-de-dollars-dans-le-projet-a-grande-echelle-desert-to-power/>

Projet NOOR (Maroc) : Ouarzazate (580 MW) + phase II



i Réalisation d'une centrale solaire de production d'électricité d'une puissance 85 MWc dans le cadre du projet Noor à Laayoune.

⚡ 85 MW

📍 Laâyoune

👤 MASEN

AMERIQUE : L'exemple du Chili

A. Ortega et al. / Renewable Energy 35 (2010) 2514–2524



Copiapo

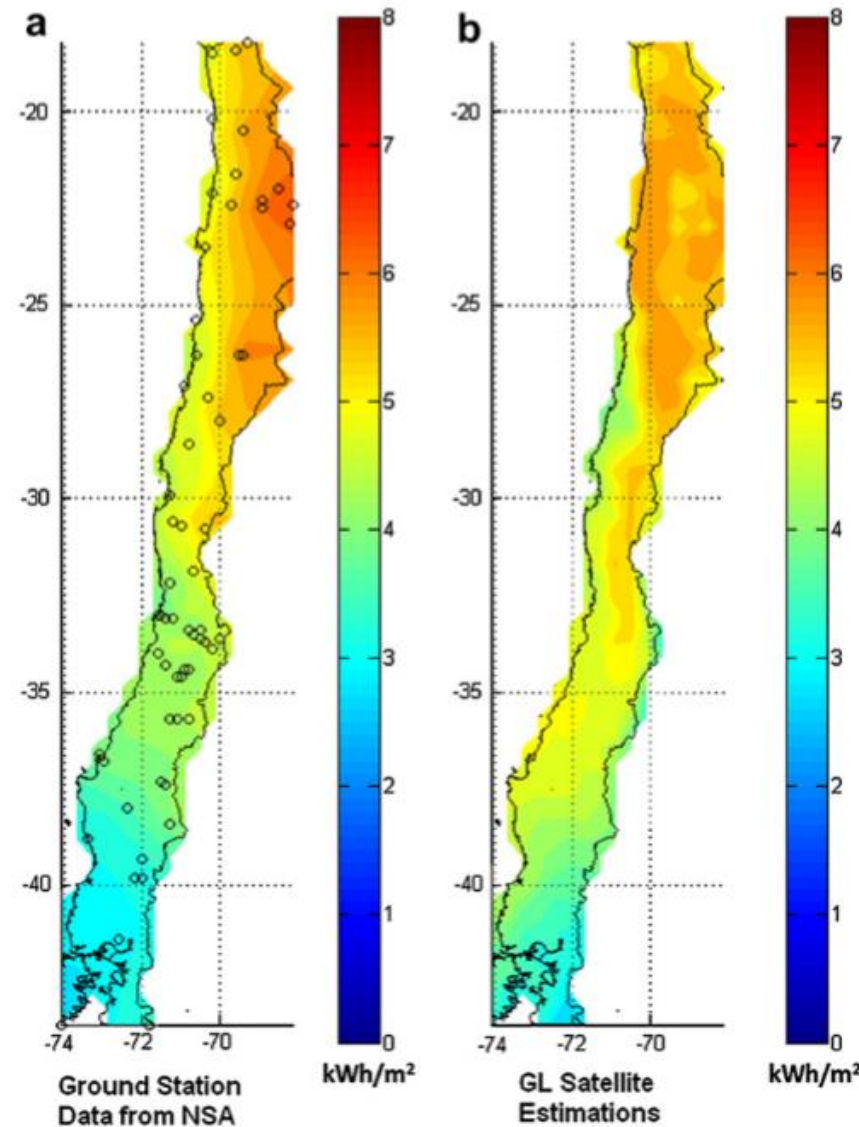


Fig. 8. yearly mean solar radiation in Chile from (a) National Solarimetric Archive data, and (b) GL Satellite-derived estimations.

Avril 2018

Désert d'Atacama : Copiapo



Mission CNRS , Congrès Energie solaire, remerciements : Professeur Humberto Gomez (UCV)

Daniel Lincot, Collège de France, 9/03/2022



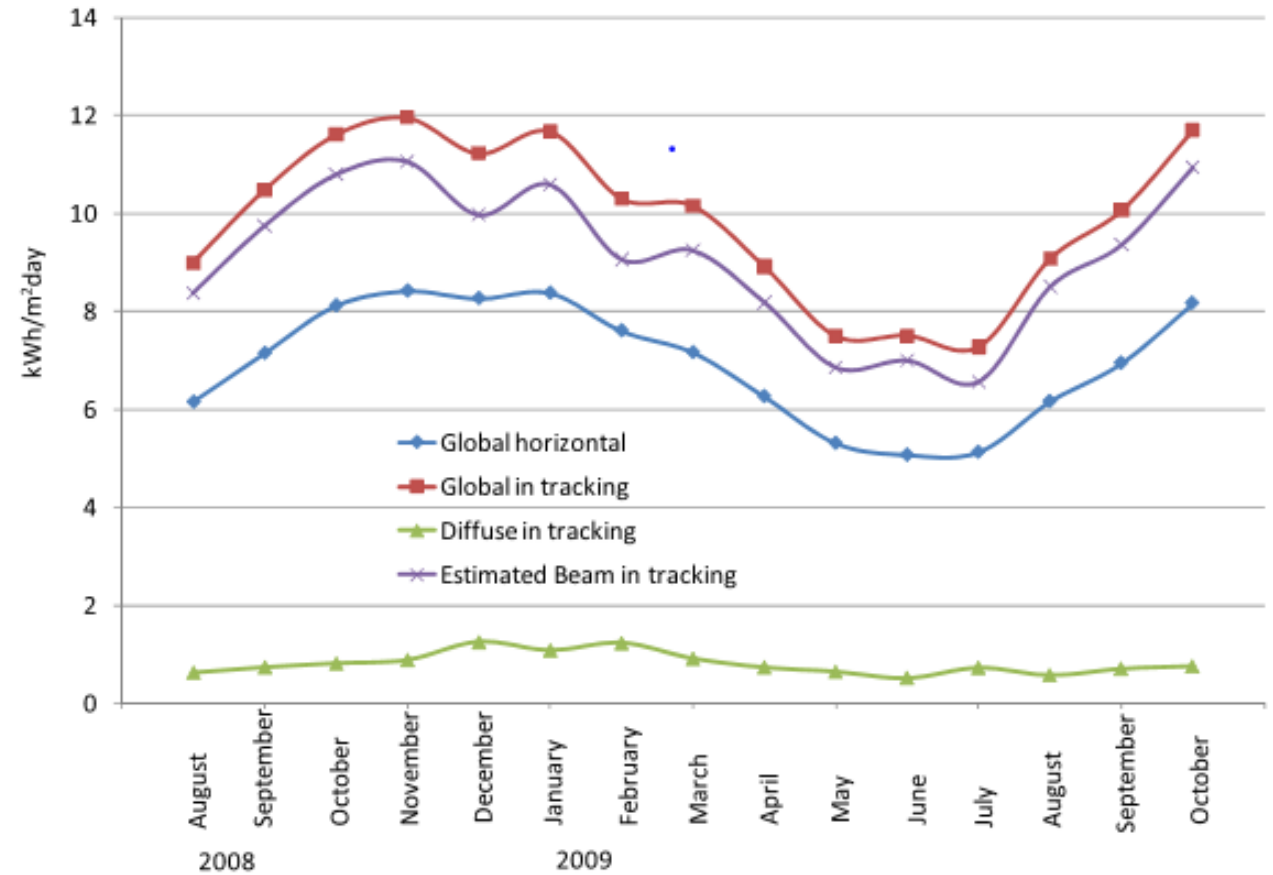
Daniel Lincot, Collège de France, 9/03/2022



The state of solar energy resource assessment in Chile

Alberto Ortega^a, Rodrigo Escobar^{a,*}, Sergio Colle^b, Samuel Luna de Abreu^c

Renewable Energy 35 (2010) 2514–2524

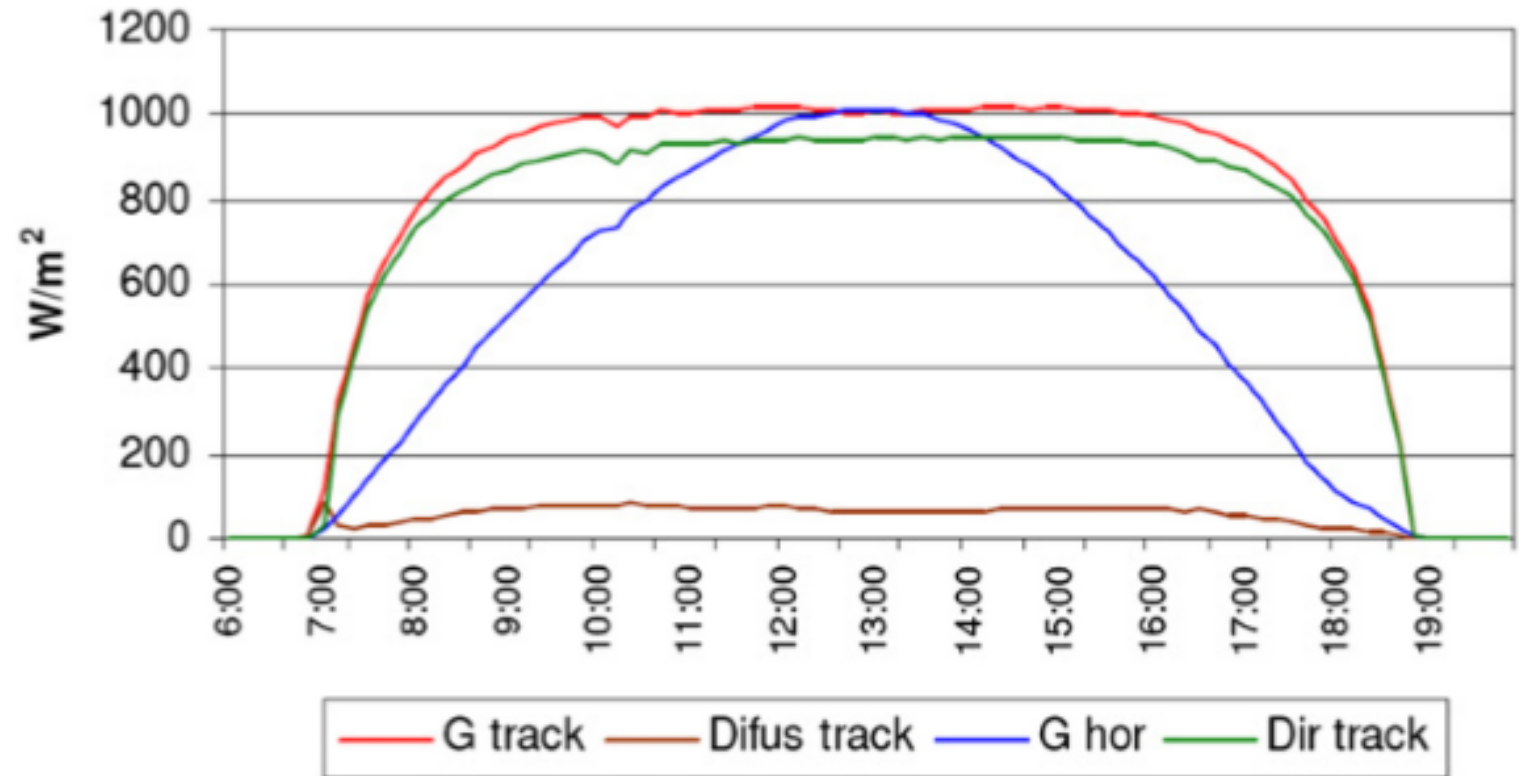




The state of solar energy resource assessment in Chile

Alberto Ortega^a, Rodrigo Escobar^{a,*}, Sergio Colle^b, Samuel Luna de Abreu^c

Renewable Energy 35 (2010) 2514–2524



FOCUS sur un Système en opération

PV Luz del Norte

Propietario: Parque Solar Fotovoltaico Luz del Norte S.p.A (100% First Solar)

RUT: 76.319.477-9

Ubicación: Llano de Varas, 66 km Noreste de Copiapó.

Interconnection: Power line 1x220kV to Carrera Pinto 220 kV substation (SIC Norte)

COD: 24/02/2016

Capacidad Instalada: 141,04 MWac

Energía (P90): 401,3 GWh/año

Factor de Planta: 34%



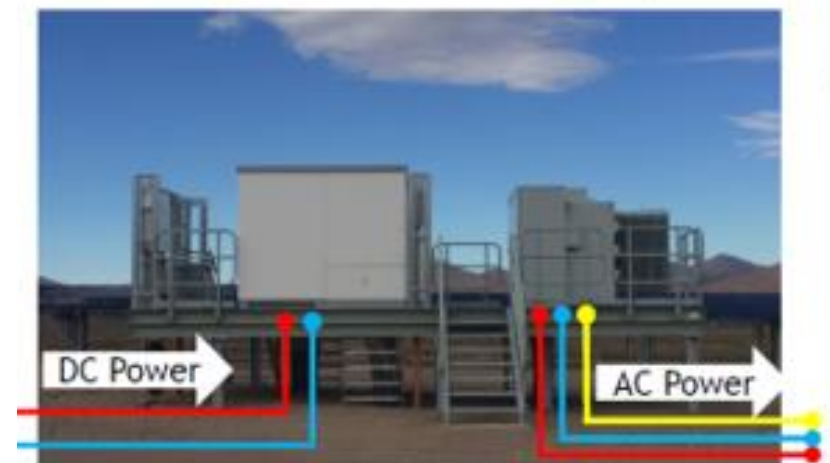
478 hectáreas

1.506.720 módulos capa fina CdTe





Power Conversion Station (PCS)



Inversores:

1000 DC to 360 Vac

2 x SMA 880 kVA

Set Point = 820 kW

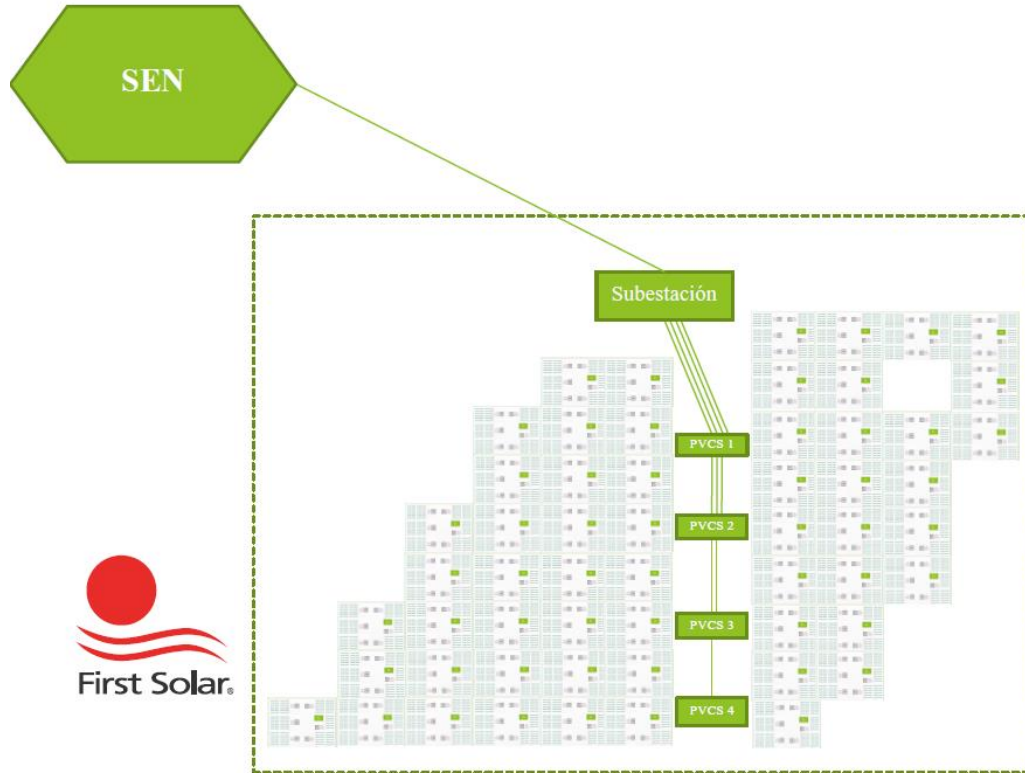
Transformadores:

1,6 MVA

360/23000 V

Création d'un réseau

PV Luz del Norte



Puissance : 140 MW

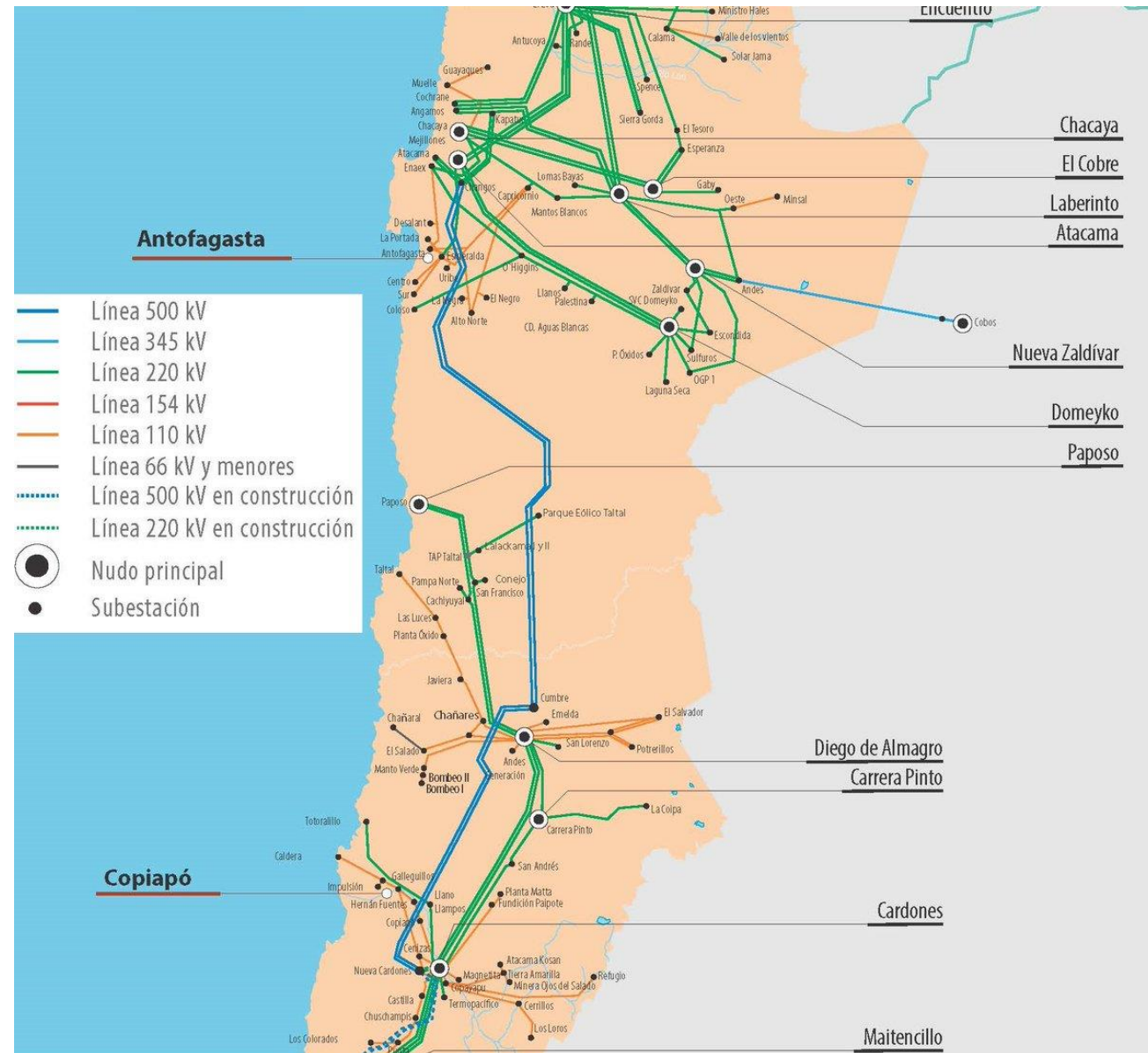
Temps de réponse : 100 ms → stabilisation réseau

Injection AC : 220 000 V

Prévu :

Batterie de stockage

Production d'hydrogène



500 km

Chili central : Santiago, Valparaíso...

Asie : Des systèmes géants



China targets to install 450 GW of solar and wind in Gobi desert

- China plans to build solar and wind power plants with a capacity of 450 GW in the Gobi Desert and other desert regions
- China aims to increase the country's installed wind and solar capacity to at least 1,200 GW by 2030.

ACCUEIL > PLANÈTE

Australie : La plus grande centrale solaire au monde pourrait bientôt voir le jour

ENERGIE Construite sur un ancien terrain d'élevage de 12.000 hectares, l'infrastructure d'une capacité de 10 gigawatts pourrait commencer à produire de l'électricité en 2026

20 Minutes avec agence | ⌚ Publié le 23/10/20 à 14h26 — Mis à jour le 23/10/20 à 14h26

12 milliards d'euros

Les travaux devraient débuter en 2023 et la production d'électricité trois ans plus tard.

Exportation à Singapour

L'exportation de l'énergie générée est quant à elle prévue pour 2027. Les responsables de cet équipement d'une capacité de 10 gigawatts destinent en effet deux tiers de leur production à l'alimentation en électricité de Singapour.

Développement des interconnexions longues distances



<https://www.zureli.com/singapore-regional-solar-energy-hub-might-just-happen/>

2022

L'heure des Giga systèmes PV + Batteries

Site de 120 km²
à Powell Creek

14 GW prévu
Batterie 33 GWh



4 décembre 2020



Ce système, basé à Geelong, au sud-ouest de Melbourne, aura une capacité de **450 mégawatts-heure** et jouera un rôle important dans la transition de l'Australie vers une production d'électricité à partir du charbon vers les énergies renouvelables. **Batterie de 300 MW**

<https://les-smartgrids.fr/tesla-et-le-francais-neonen-vont-installer-une-nouvelle-mega-batterie-en-australie/>

L'hydrogène entre dans la danse

2021

Projet « HyDeal Ambition »

Porteur: Thierry Lepercq
30 industriels

- 3,6 millions de tonnes d'hydrogène vert en Europe chaque année à l'horizon 2030
- 95 GW solaire Espagne/Portugal à 15 euros/MWh (unités de 500 MW à 1 GW)
- 780 km² : 30 km x 30 km
- Production par électrolyse locale
- 67 GW d'électrolyseurs

2021



Inauguration du plus grand électrolyseur PEM au monde pour la production d'hydrogène décarboné
Au Québec, **20 MW, 8,2 tonnes/jour**

4 janvier 2022



RÉSEAUX HYDROGÈNE

Le réseau gazier européen est prêt pour l'hydrogène

04.01.2022 - JEAN-LUC PONCIN



Regroupés au sein de [Ready4H2](#), quatre-vingt-dix distributeurs de gaz de seize pays européens ont publié en décembre un état des lieux de la potentielle conversion de leurs réseaux de distribution au transport d'hydrogène. L'information clé qui en ressort : 96 % des canalisations de distribution de gaz européennes alimentant 67 millions de foyers, d'entreprises et de sites industriels, sont prêtes.

<https://www.h2-mobile.fr/actus/reseau-gazier-europeen-pret-hydrogene/>

février 2022



Lancement de Hydeal Espagne

9,5 GW PV-7,4 GW électrolyseurs

→ Equivalent de 5 % des importations de gaz naturel de l'Espagne et permettra d'éviter chaque année l'équivalent de 4 % des émissions actuelles de CO₂.

Et de nombreuses autres initiatives

8 mars 2022

L'USINE NOUVELLE



A quelques kilomètres de son site d'hydrogène à Port-Jérôme en Seine-Maritime, Air Liquide prévoit d'ouvrir en 2025 un des plus grands sites au monde de production d'hydrogène renouvelable

- engagement de 190 millions d'euros de l'Etat pour soutenir ce projet d'Air Liquide de construire un électrolyseur de 200 MW à l'horizon 2025. Eviter 250 000 tonnes d'émissions de CO₂ par an, 8 milliards d'euros d'investissement
- Technologie PEM

De l'hydrogène à l'ammoniac et autres dérivés Stockage et décarbonation de l'industrie (acier)



Scatec and ACME to develop
500 MW solar power plant for
ammonia production in Oman

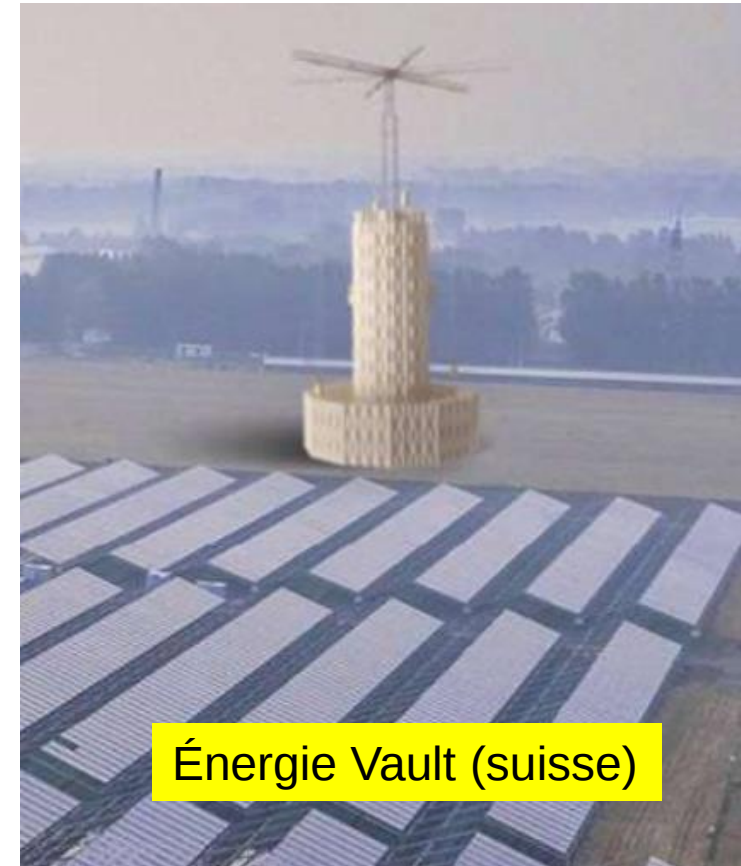
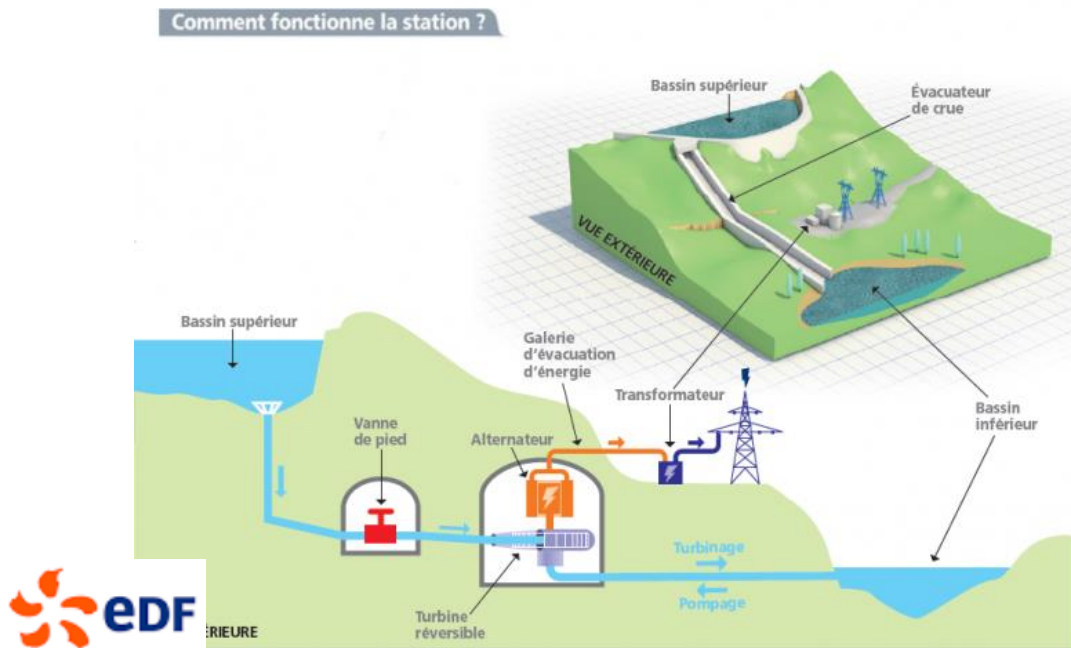
Norway's Scatec ASA and India's ACME Group have formed a 50/50 joint venture to develop a **300 MW electrolysis capacity plant to produce »green« ammonia in Oman**. The necessary power will be supplied by a **500 MW PV power plant**. According to the companies, 100,000 metric tons of ammonia will be produced annually initially, with **1.2 million metric tons planned at the final stage**. The site is planned to be the special economic zone of the port city of Duqm.

Autres systèmes

- Autres batteries : zinc-air, liquides (redox flow)
- Le stockage mécanique :
 - Stations de turbinage et de pompage (STEP)

→ Stockage par volant d'inertie

→ Stockage par élévation de blocs de béton



Énergie Vault (suisse)

Processus fondamental : Constitution de nouveaux systèmes par association de sous-systèmes initialement indépendants



A,B, C développés indépendamment pour des fonctionnalités/applications spécifiques

On prend le meilleur de A, de B et de C et on les réunit

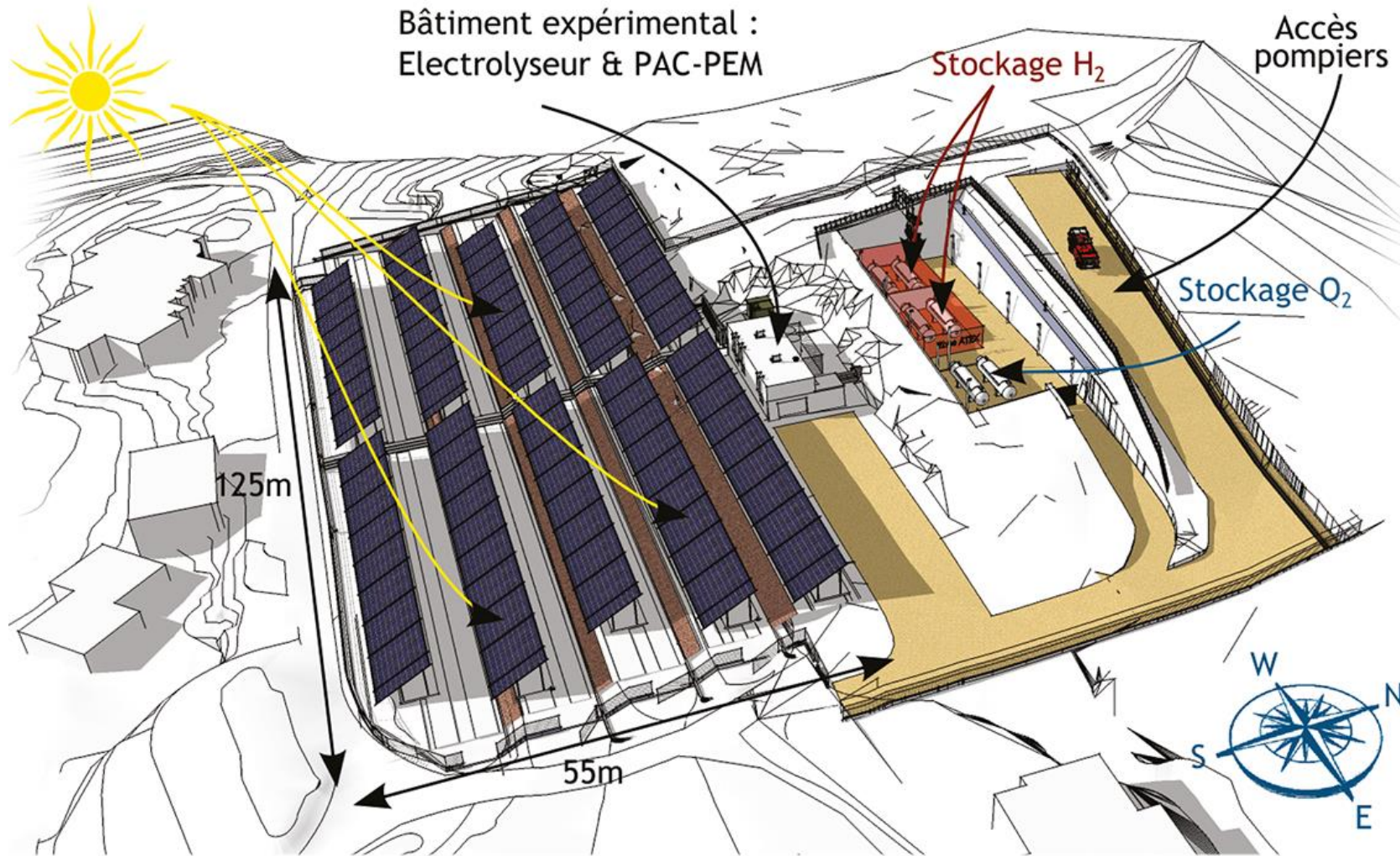
Première génération de D : réduction des coûts, risques moindres

Optimisation de D par développements spécifiques de A, B et C

A,B et C deviennent partie intégrantes de D avec création d'interfaces spécifiques

Exemples : PV+ MPPT*+ Onduleur/ batterie/électrolyseur

2012 Plateforme MYRTE à Ajaccio (Vignola), Université de Corse, CNRS, AREVA, CEA



PV (560 kW/3700 m²)



électrolyse de l'eau

H_2 , O_2



pile à combustible

Electricité



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Energy Economics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eneeco



Are coupled renewable-battery power plants more valuable than independently sited installations?

Will Gorman^{*}, Cristina Crespo Montañés, Andrew Mills, James Hyungkwan Kim, Dev Millstein, Ryan Wiser

Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road, MS 90-4000, Berkeley, CA 94720, USA

Coupling battery storage to renewable plants is increasingly common in the United States, where a third of proposed solar capacity now includes battery storage. Adding batteries to renewable plants increases the average value of energy sold, can reduce energy losses to curtailment, and is incentivized through the investment tax credit. Additionally, coupling renewables with batteries saves on permitting, planning, and construction costs compared to developing the projects separately

Comparaison des technologies

Different methods of hydrogen production [1,27,28,45,60–67].

Method	Source	Principle	Advantage	Disadvantage	Maturity	Efficiency
Steam Methane Reformation (SMR)	Fossil	Two step endothermic reaction between hydrocarbon (methane, natural gas, naphtha) and steam in presence of catalyst to yield H ₂ and carbon oxides	High efficiency and low operation cost Higher quality H ₂ (99.99% pure) is obtained	High CO ₂ production - 7.05 kg CO ₂ /kg H ₂	Commercial	74–85%
Electrolysis	Electricity from renewables, water	When a direct current is passed through electrodes in water, the chemical bonds are broken into hydrogen and oxygen	No greenhouse gas emissions Oxygen produced can have further applications	Higher energy demand for the process	Commercial	50–70%
Photo Electrolysis	Water	A hybrid electrolysis cell is used with photo-electrodes that absorb the photonic energy and drive the electrolysis process.	The required electrical energy is reduced because of the photonic radiation	Life time of the equipment is low as water corrodes the electrolyte	Early development	18% in laboratory

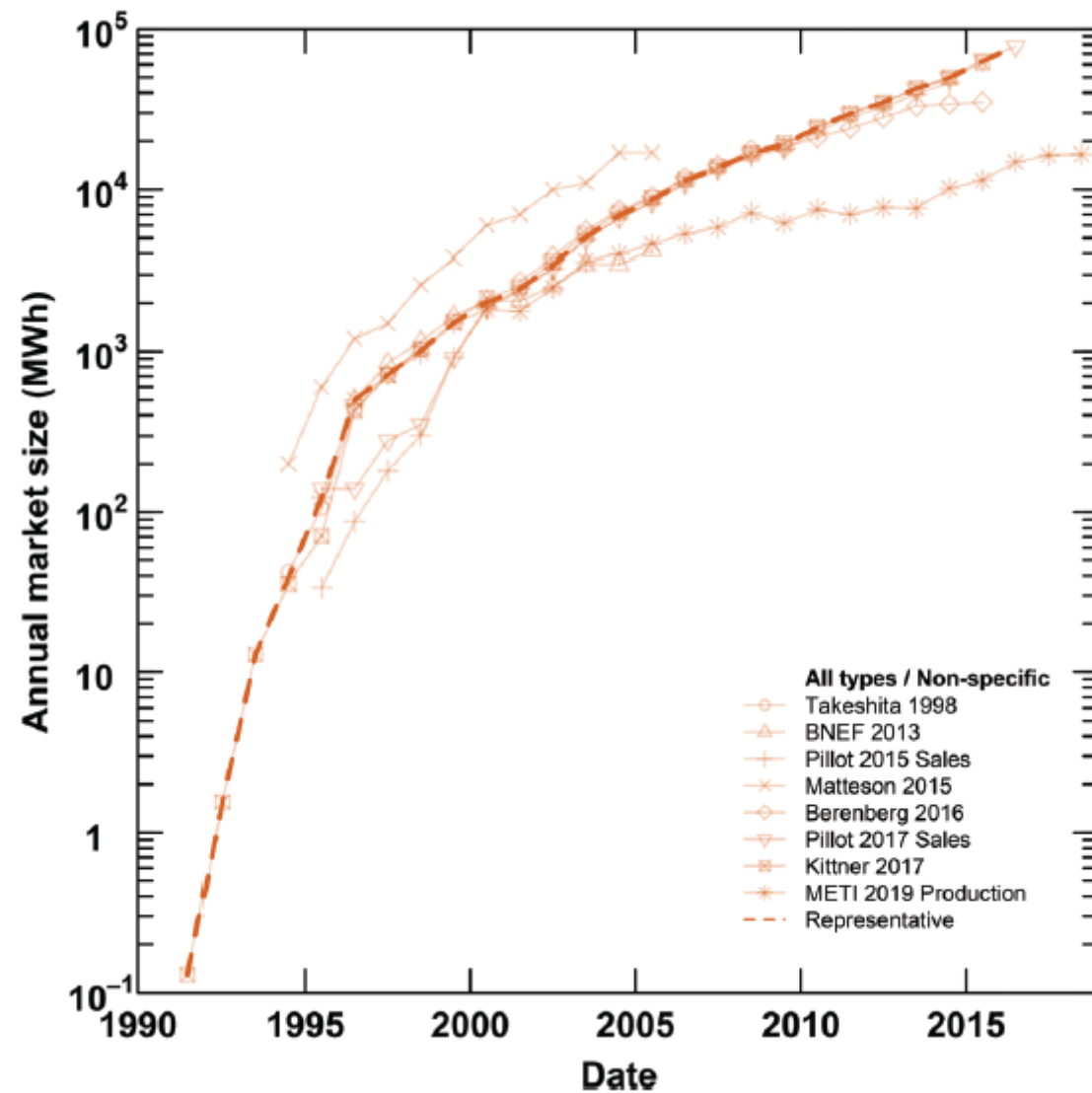
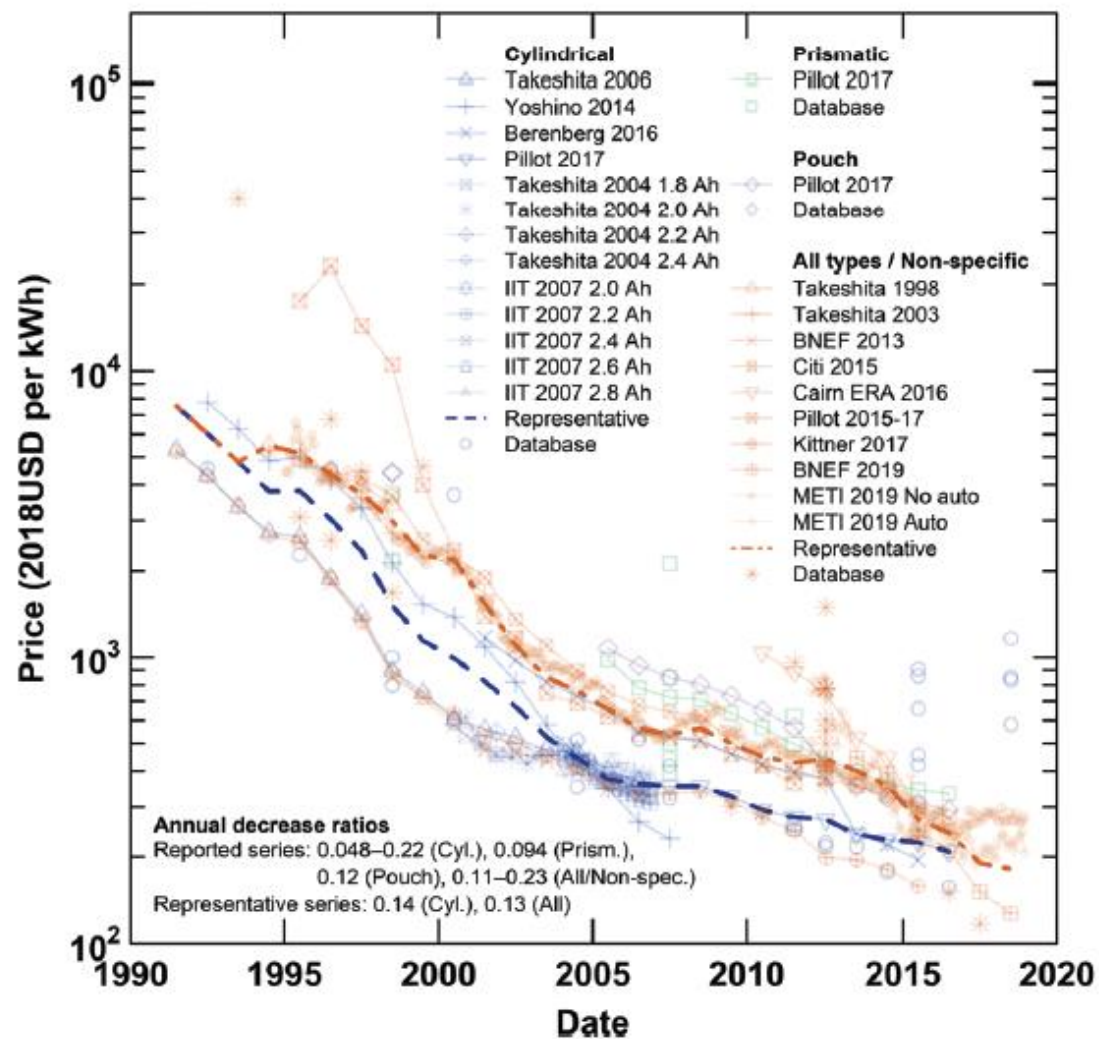
Les synergies avec les autres composantes du système : exemple du stockage électrochimique

Re-examining rates of lithium-ion battery
technology improvement and cost decline†

Cite this: DOI: 10.1039/d0ee02681f

Micah S. Ziegler^a and Jessica E. Trancik^{a,b}Received 19th August 2020,
Accepted 7th December 2020

DOI: 10.1039/d0ee02681f



ANALYSIS

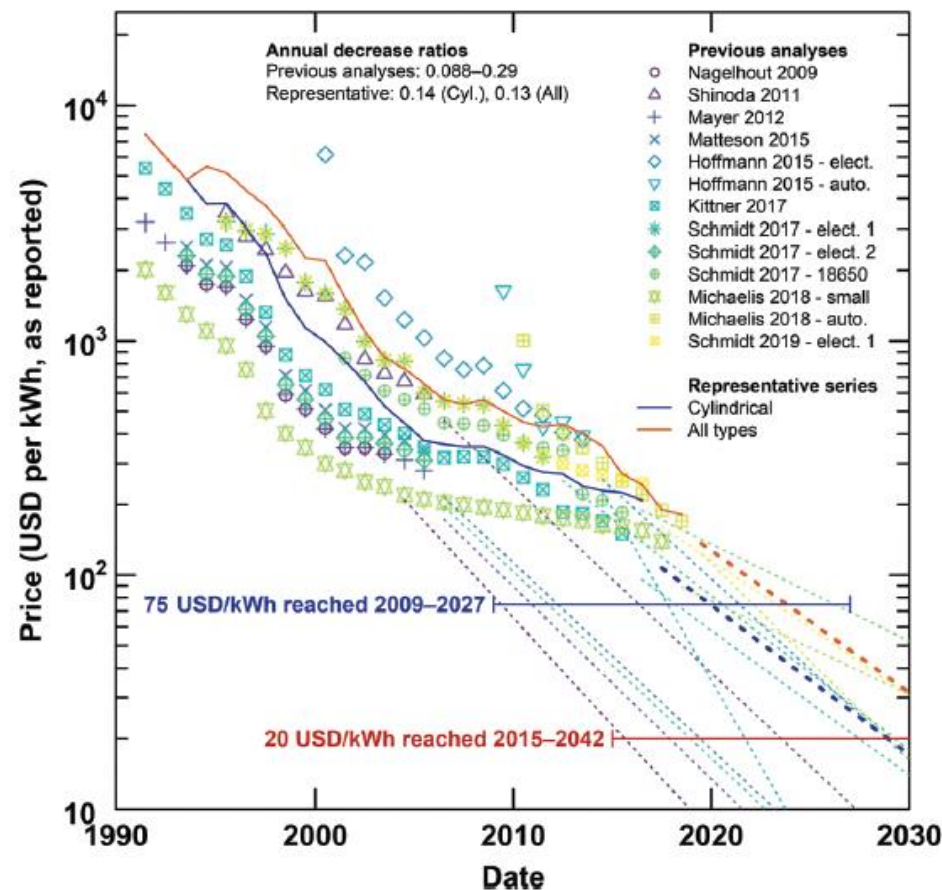
[View Article Online](#)
[View Journal](#)



Cite this: DOI: 10.1039/d0ee02681f

Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline†

Micah S. Ziegler^{ab} and Jessika E. Trancik^{ab}



REVIEW

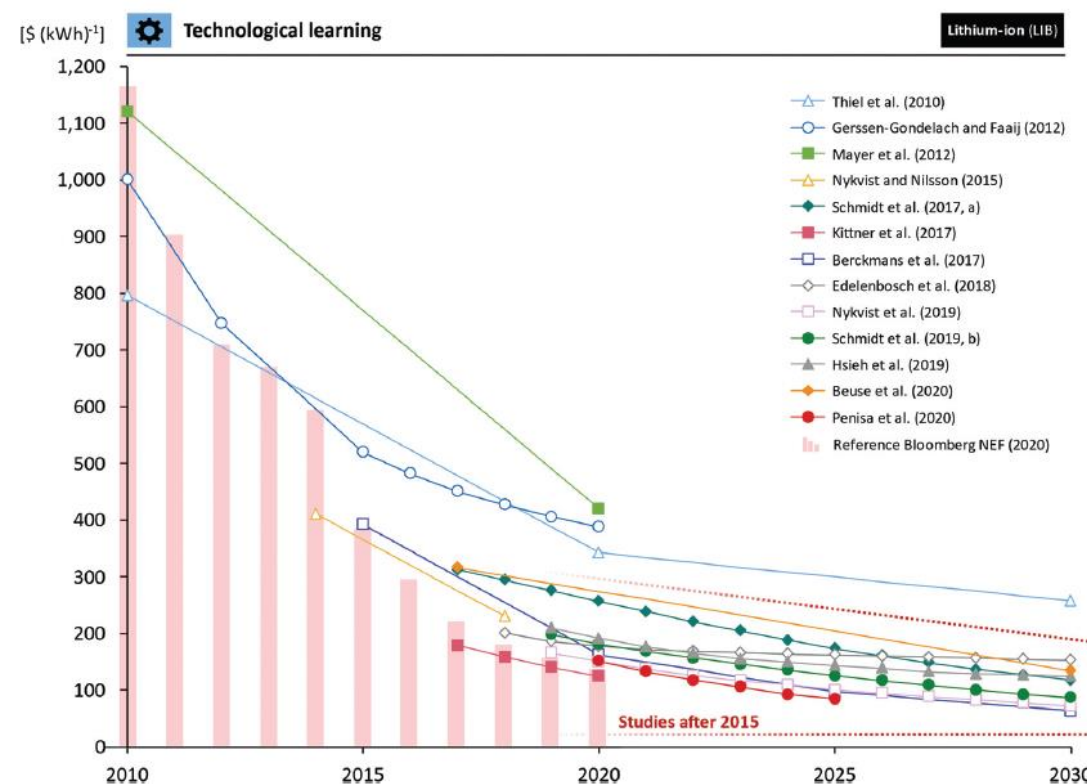
[View Article Online](#)
[View Journal](#)



Cite this: DOI: 10.1039/d1ee01530c

Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050†

Lukas Mauler,^{ab} Fabian Duffner,^{ab} Wolfgang G. Zeier^{cd} and Jens Leker^{ad}



1000 \$/kWh en 2010 → 100 \$/kWh 2020 → 70 \$/ kWh en 2050
Daniel Lincot, Collège de France, 9/03/2022

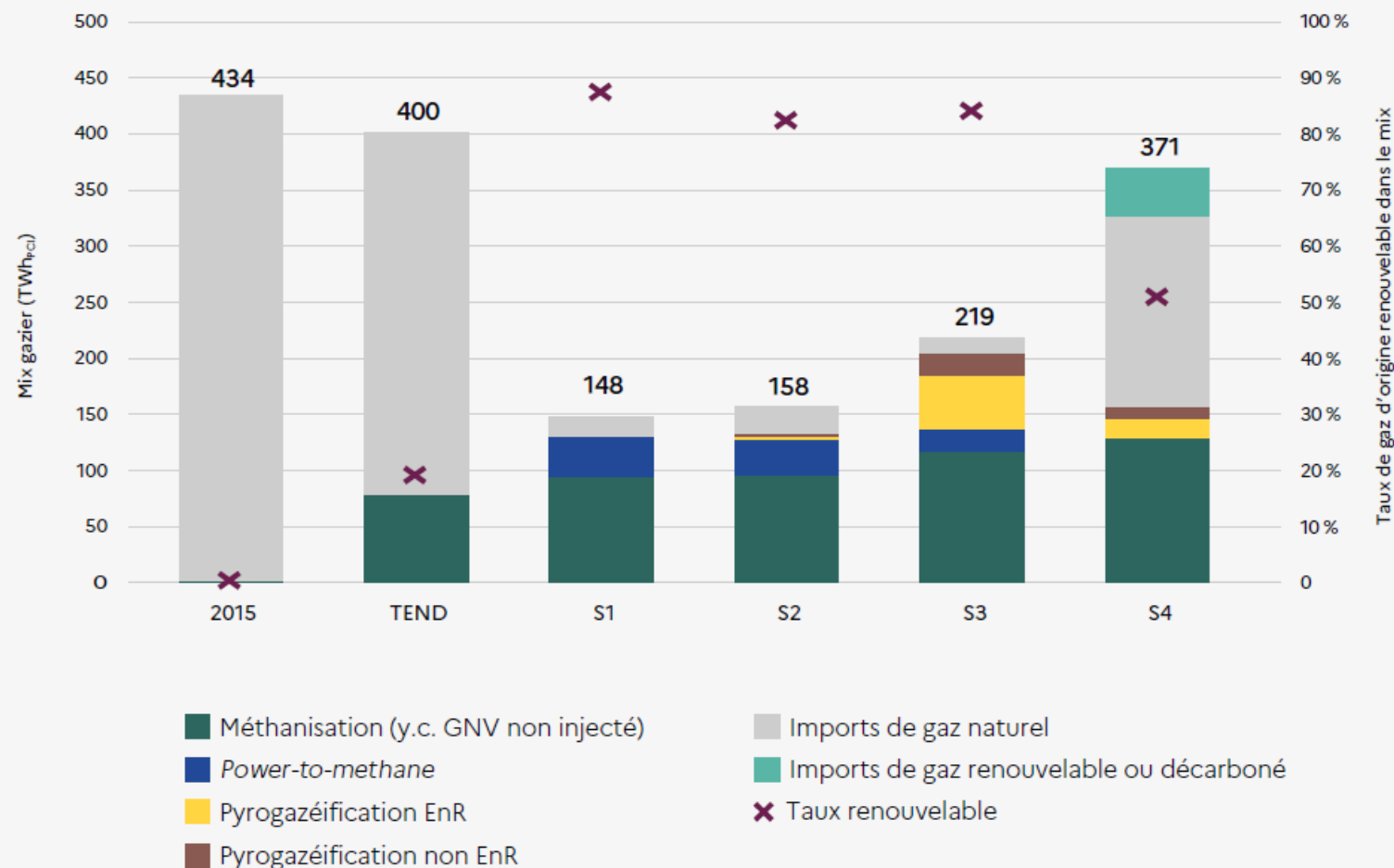
Demain la substitution du gaz fossile par de l'hydrogène ou méthane renouvelable ?



**TRANSITION(S)
2050**
CHOISIR MAINTENANT
AGIR POUR LE CLIMAT

**4 SCÉNARIOS
POUR ATTEINDRE
LA NEUTRALITÉ
CARBONE**

Graphique 17 Mix gazier en 2015 et en 2050 pour les cinq scénarios ADEME (référence et variante gaz haut)

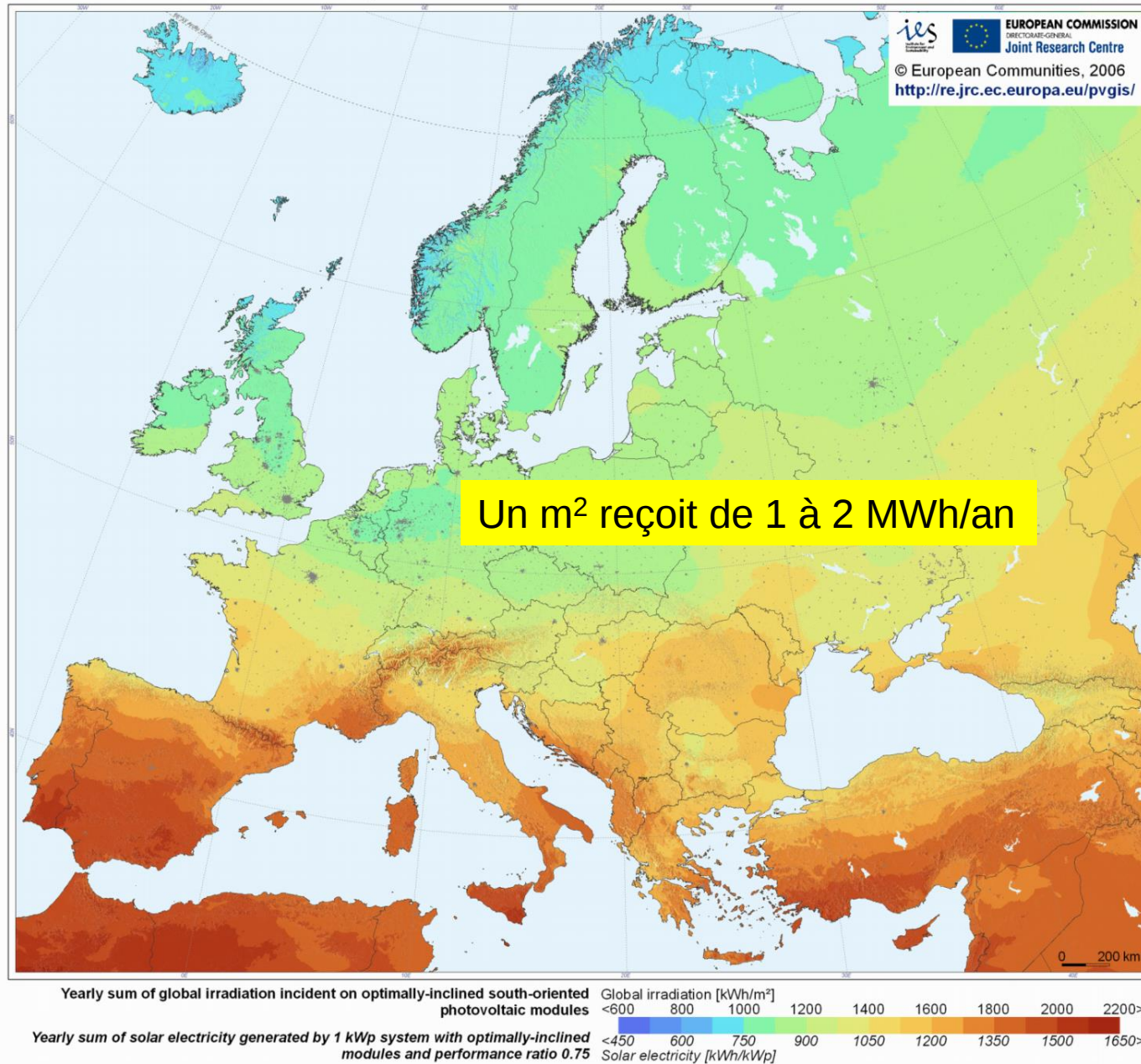


Une composante essentielle Le photovoltaïque décentralisé

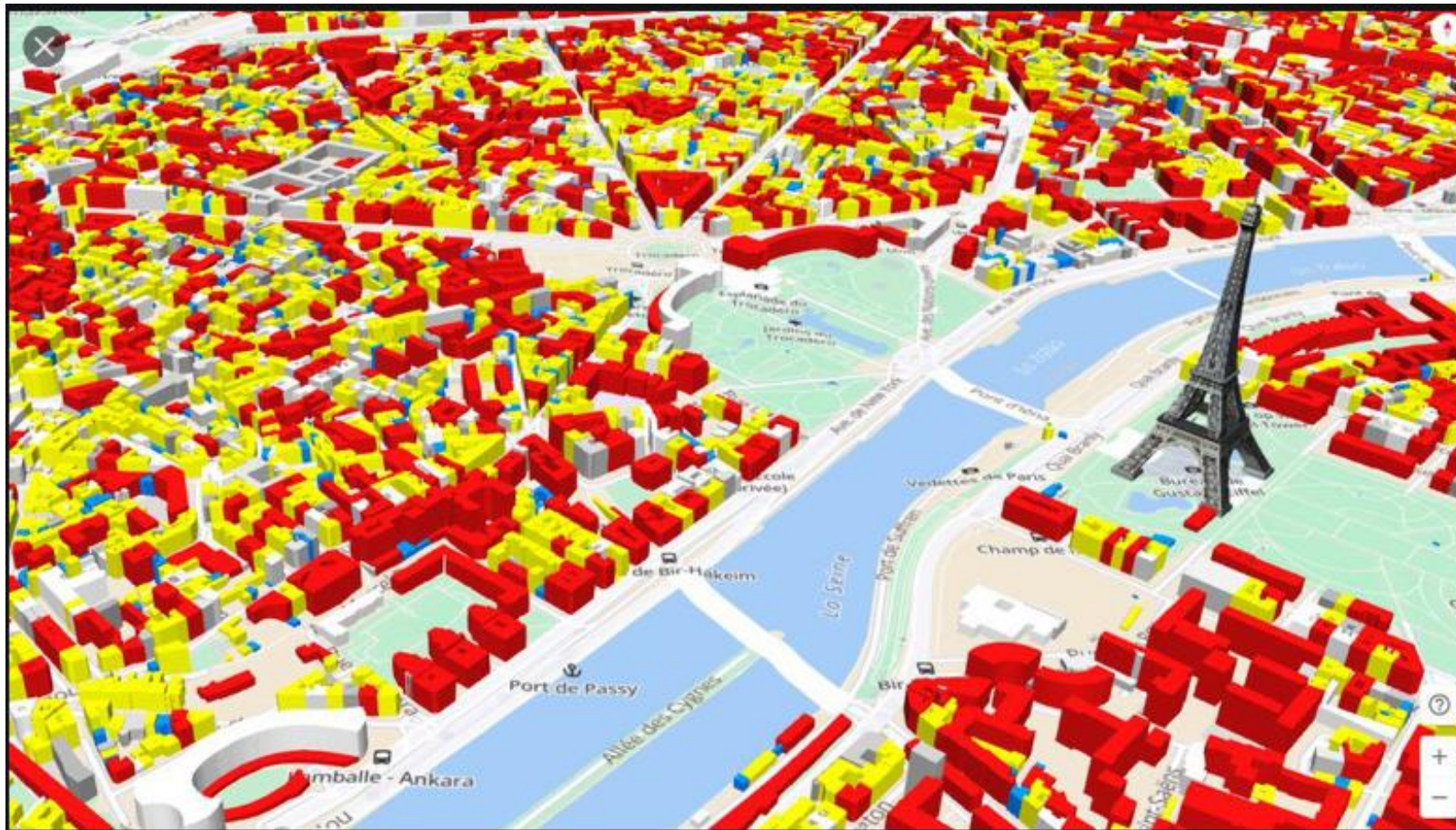
« Les petits ruisseaux font les grandes rivières »

La ressource

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Le potentiel urbain



Photovoltaïque intégré au bâtiment (BIPV)

Maisons individuelles, habitat collectif, hangars, toitures industrielles et commerciales



Concet intégré (Tesla)

10 m² → 15 kW (15% rendement)
→ 12 MWh-20 MWh
Consommation électrique annuelle d'un foyer
En France (hors chauffage) : 5 MWh
→ Autoconsommation possible
→ Potentiel utilisable supplémentaire :
→ Chauffage
→ Voiture électrique @ 10 000 km/a → 1,7 MWh



Tuile solaire
IMERYS

Bâtiments à énergie positive

<https://www.solaragentur.ch/>



31° Prix Solaire Suisse
31. Schweizer Solarpreis
Norman Foster Solar Award
PlusEnergieBau®-Solarpreis
Europäischer Solarpreis
La meilleure architecture solaire suisse
Die beste Schweizer Solar-Architektur

2021



30° Prix Solaire Suisse
30. Schweizer Solarpreis
Norman Foster Solar Award
PlusEnergieBau®-Solarpreis
Europäischer Solarpreis
La meilleure architecture solaire suisse
Die beste Schweizer Solar-Architektur

2020



29° Prix Solaire Suisse
29. Schweizer Solarpreis
Norman Foster Solar Award
PlusEnergieBau®-Solarpreis
Europäischer Solarpreis
La meilleure architecture solaire suisse
Die beste Schweizer Solar-Architektur

2019



PLUSENERGIEBAU-GEBÄUDESTUDIE 2019
PARISER KLIMAABKOMMEN: UMSETZBAR BIS 2045
SCHWEIZ EMITTIERT 90% WENIGER CO₂-EMISSIONEN
CHF 175 MRD. EINSPARUNGEN/EINNAHMEN BIS 2045

Die PlusEnergieBau(PEB)-Gebäudestudie 2019 erstellte die Solar Agentur Schweiz zusammen mit der Haute École d'Architecture de Genève, der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), der Université de Genève und der Université Paris C. Das solare Gebäudeenergie- und Minergie-P-Effizienzpotential wird aufgrund von Art. 5 Abs. 2 der Bundesverfassung (BV, Grundsatz der Verhältnismässigkeit) erstmals mit amtlich geeichten Geräten erfasst und ausgewertet.

In vier Energieszenarien A bis D wird aufgezeigt wie die Schweiz mit zwei einfachen Gebäudemassnahmen bis 2030 das Teilziel und bis 2045 das Pariser Klimaabkommen mit 90% weniger CO₂-Emissionen umsetzen kann. Statt wie in den letzten 25 Jahren über CHF 170 Mrd. für fossil-nukleare Energieimporte ins Ausland zu überweisen, erbringen Inlandinvestitionen in Gebäude CHF 175 Mrd. Einsparungen/Einnahmen innert 25 Jahren. Dafür sind keine neuen Abgaben – aber die konsequente Anwendung von Art. 5 Abs. 2 BV – notwendig.

Genève/Zürich, August 2019 (KURZFASSUNG)

233%-PlusEnergie-Verteilzentrum, 6035 Perlen/LU

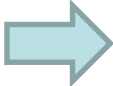
Toiture de 45 000 m² → capacité PV de 6,4MW → consommation après rénovation 3,15 GWh/an

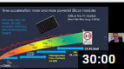
→ **production solaire 7,33 GWh/an**

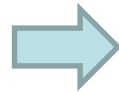
Daniel Lincot, Collège de France, 9/03/2022

Document vidéo complémentaire : présentation de Christophe Ballif, Symposium Edmond Becquerel (2020)

<https://www.ipvf.fr/fr/symposium-edmond-becquerel/>



15		Joachim Luther - Le Prix Becquerel Becquerel Day Testimonies 14:33
16		Henry Snaith - The advent of Perovskite solar cells (version française) Becquerel Day Testimonies 27:24
17		Christophe Ballif - Photovoltaic applications today and tomorrow, from industry to artworks (VF) Becquerel Day Testimonies 30:00
18		Gaetan Masson - Panorama général du déploiement du photovoltaïque Becquerel Day Testimonies 21:49
19		Xavier Daval - L'industrie photovoltaïque en France en 2020 Becquerel Day Testimonies 20:04
20		Richard Loyer - L'industrie photovoltaïque en France en 2020 Becquerel Day Testimonies 23:18



<https://www.youtube.com/watch?v=cTRtoXp76gs&list=PL5UqkzFNKba9Emr9vb6SHIY0OEZIMI00n&index=17>

Photovoltaïque routier



Concept Allemagne



Réalisation France (société Colas)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Route_solaire

Photovoltaïque et transport (VIPV)



PVPS

State-of-the-Art and Expected Benefits of PV-Powered Vehicles 2021

Report IEA-PVPS T17-01 : 2021



Fig. 1.1-1 A car proof of concept - Lightyear one [1]



Fig. 1.1-2 A car prototype - Sion from Sonomotors [2]



Fig. 1.1-3 A commercial car - Prius IV from Toyota [3]



Fig. 1.1-4 A camper van prototype: E-home from Dethleffs [4]



Fig. 1.1-5 A train proof of concept - "TER rayon vert" [5]



Fig. 1.1-6 A coach proof of concept - Starter from Fact Concept Car [6]



Fig. 1.1-7 A truck prototype - Optifuel Lab 2 from Renault Truck [7]



Fig. 1.1-8 A kit for commercial refrigerated trucks - S-Series from TSSC [8]



Fig. 1.1-9 A boat proof of concept - Tûranor form PlanetSolar [9]



Fig. 1.1-10 A drone prototype from Atlantik Solar [10]



Fig. 1.1-11 A plane proof of concept - Solar Impulse [11]



Fig. 1.1-12 A plane prototype – Eraole [12]



Fig. 1.1-13 A spatial vehicle prototype: Stratobus [13]

Agrivoltaïque



INRAE
au sia
les rencontres

Les serres photovoltaïques : Des synergies vraies entre production agricole et production électrique

2 mars 2022 / 14h00 - 15h30

Christine Poncet & Hicham Fatnassi

**UMR Institut Sophia Agrobiotech
INRAE - CNRS - Université Côte d'Azur**

INRAE x **SIA2022**



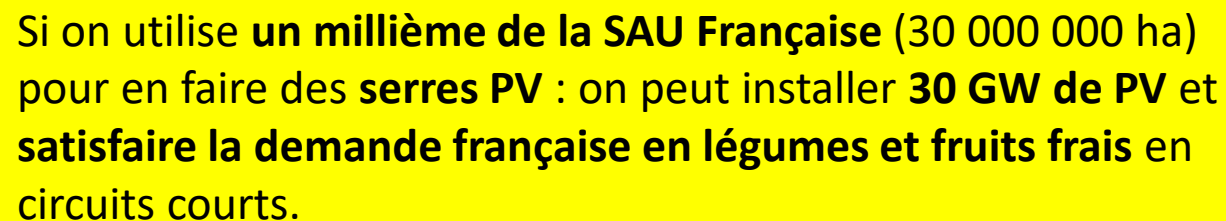
1930 Antibes (06)
Surface Serres 2000 ha



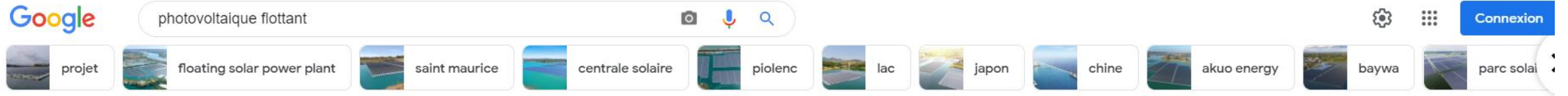
2021 Châteaurenard (13)
Serre PV dynamique 1 ha

2021 Berre l'Etang (13)
Serre PV asymétrique 2,9 ha





Photovoltaïque flottant



Plateforme solaire flottante sur le Lac des T...
poralu.com



Les tendances du marché – PV flottant...
thesmartere.de



Bienvenue au premier parc solaire flottant du m...
intelligible.fr



La Chine se pose en superpuissance v...
inspiration.news



Le solaire PV flottant a le vent en poupe - L'E...
lechodusolaire.fr



La première centrale solaire flottante de Fr...
parismatch.com



<https://www.lafranceagricole.fr/ra/lowres/Publie/FA/p...>
lafranceagricole.fr



La Chine mise aussi sur le photovoltaï...
connaissancedesenergies.org



Système solaire photovolt...
nrgisland.com



L'avenir du solaire est-il dans le flottant ?
theconversation.com



SEYCHELLES : premiers panneaux solaires flottants d'...
afrik21.africa



Solaire flottant – marché de niche ou vérita...
pv-magazine.fr



Sur canal

Développement très rapide du photovoltaïque flottant

→ aujourd'hui OnShore

→ Demain OffShore (eaux internationales)

→ production d'hydrogène à grande échelle



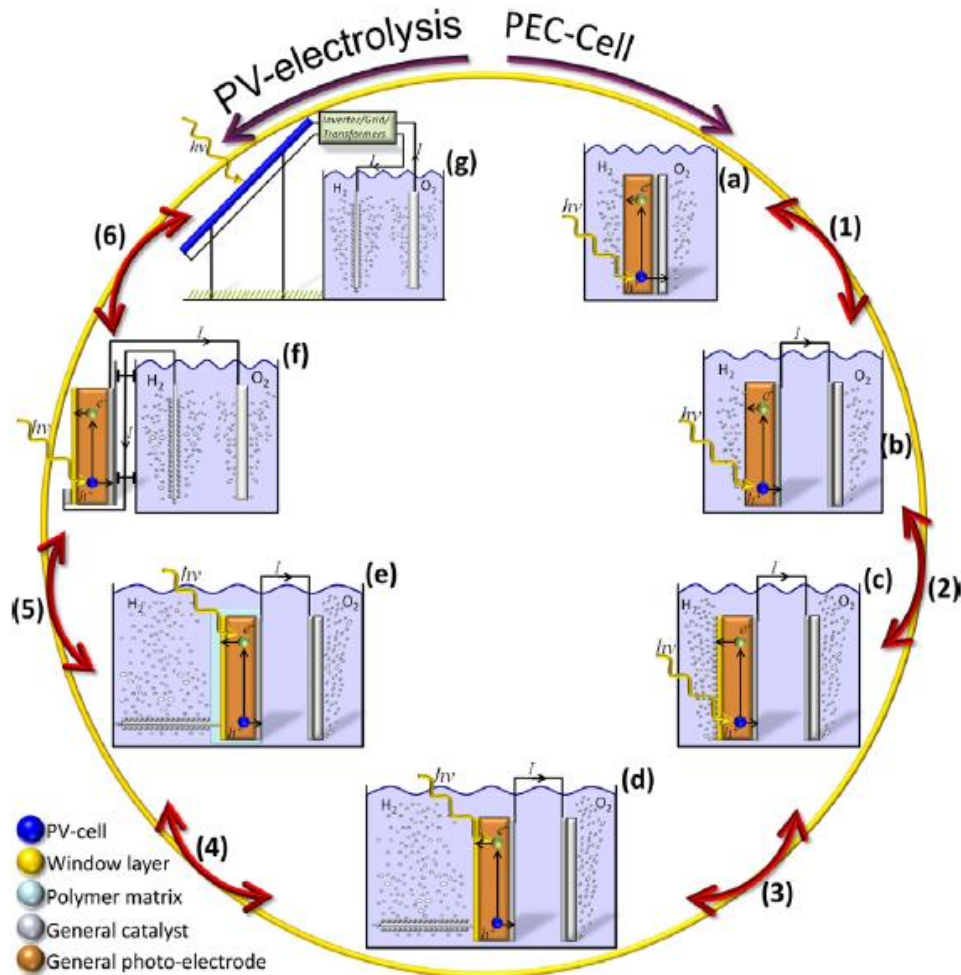
Mer du nord

Directions futures

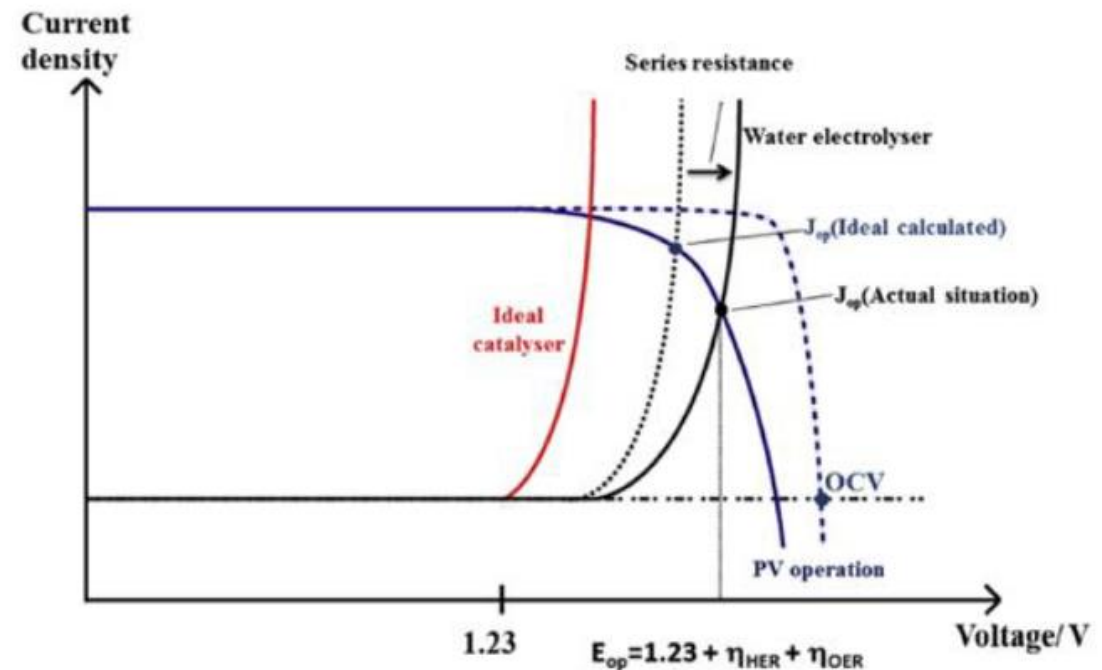
- Systèmes intégrés multi-échelle (du mW au GW) :
 - PV + Stockage électrochimique + autoconsommation/réseau
 - PV + production hydrogène + conversion CO₂
 - Installations distribuées : habitat à énergie positive (isolation thermique + PV) + réseaux énergétiques
 - maison + quartier + régions à énergie positive
- Systèmes saisonniers ? : PV déployable + production hydrogène locale « quand (où) il fait beau »*
 - « Photovoltaïque everywhere »

• Voir aussi, émission radio : <https://www.franceinter.fr/emissions/les-savanturiers/les-savanturiers-28-fevrier-2015>

The artificial leaf



T.J. Jacobsson, V. Fjällström, M. Edoff, T. Edvinsson, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 134 (2015) 185–193



P.D. Nguyen, T.M. Duong, P.D. Tran, *Journal of Science: Advanced Materials and Devices* 2 (2017) 399–417

Merci pour votre attention

Et la contribution de centaines de passionné(e)s, qui construisent depuis des décennies, dans les écoles ou leurs garages, des vélos, solaires, des voitures solaires, des systèmes autonomes... Véritables précurseurs des systèmes d'aujourd'hui et de demain



**1980 : le
« Gossamer
Penguin » décolle
de Californie avec
la pilote Janice
Brown aux
commandes**

Transparents annexes

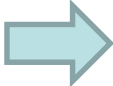


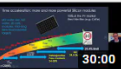
Christophe Ballif
Video Symposium Becquerel (2020)
Voir transparent suivant

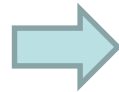
Voir la dernière partie
Pour les systèmes
architecturaux (BIPV)

Document vidéo complémentaire : présentation de Christophe Ballif, Symposium Edmond Becquerel (2020)

<https://www.ipvf.fr/fr/symposium-edmond-becquerel/>



15		Joachim Luther - Le Prix Becquerel Becquerel Day Testimonies 14:33
16		Henry Snaith - The advent of Perovskite solar cells (version française) Becquerel Day Testimonies 27:24
17		Christophe Ballif - Photovoltaic applications today and tomorrow, from industry to artworks (VF) Becquerel Day Testimonies 30:00
18		Gaetan Masson - Panorama général du déploiement du photovoltaïque Becquerel Day Testimonies 21:49
19		Xavier Daval - L'industrie photovoltaïque en France en 2020 Becquerel Day Testimonies 20:04
20		Richard Loyer - L'industrie photovoltaïque en France en 2020 Becquerel Day Testimonies 23:18



<https://www.youtube.com/watch?v=cTRtoXp76gs&list=PL5UqkzFNKba9Emr9vb6SHIY0OEZIMI00n&index=17>