

Solaire photovoltaïque

1^{ère} partie: centrales en plein champs ou consomm-acteurs ?

*Conférence –débat organisée par le club électro-solaire
CERN le Globe, GENEVE, 22 Mai 2018*

Alain RICAUD

Comment nous chauffons nous encore en 2018 ?

*L'indépendance
énergétique de la
France n'est que
de 12% ...
et nos bâtiments
reliés par des
cordons
ombilicaux...
dépendent à 80%
d'importations !*



GAZ
Russie, Ukraine,
Norvège,
Algérie...

ELECTRICITE
Uranium : Niger,
Canada, Kazakhstan...

PETROLE
Russie, Norvège,
Arabie Saoudite...

Dans le secteur « **habitat et tertiaire** » nous

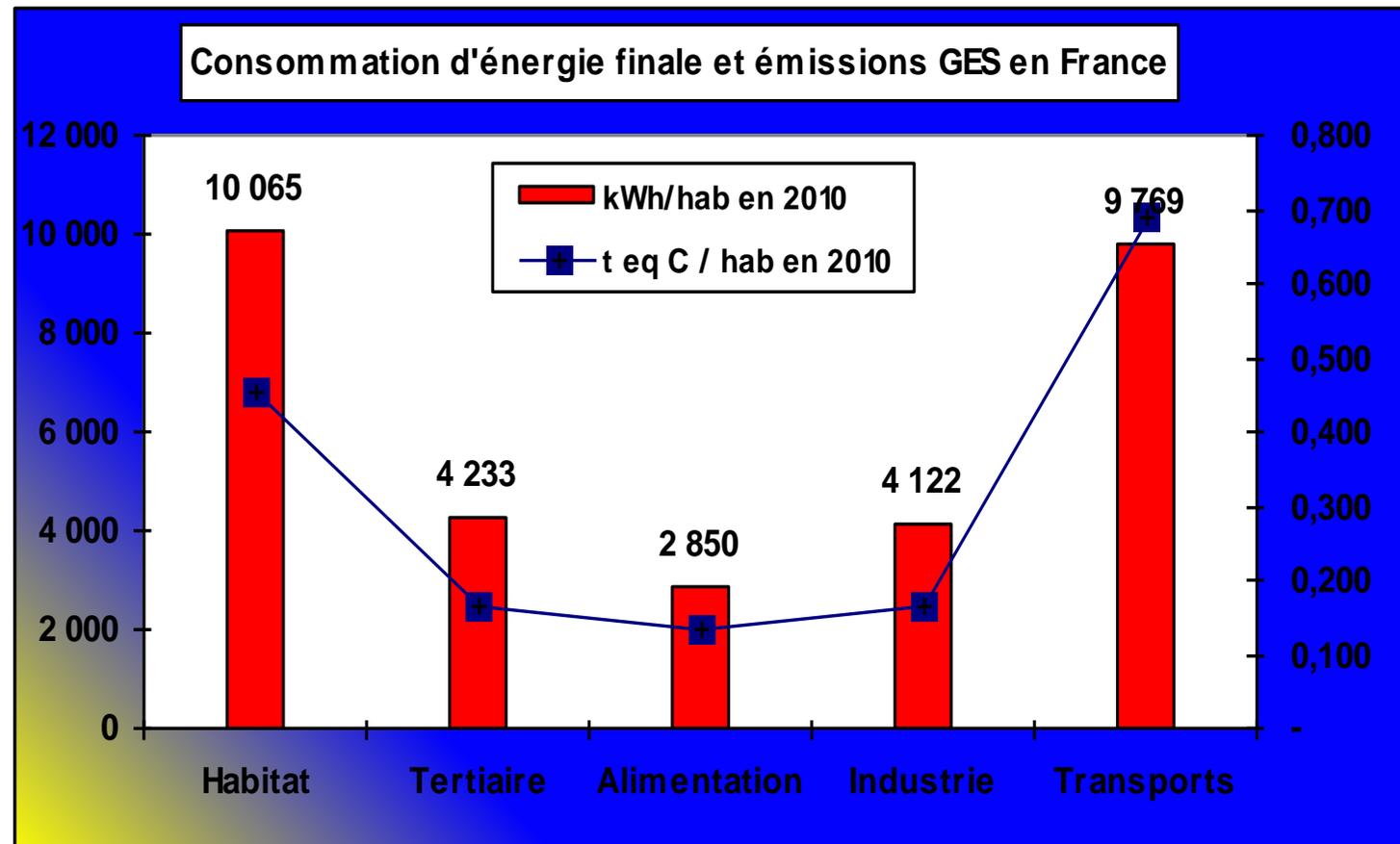
consommons par tête,
environ :

10 000 kWh pour le chauffage
des locaux et l'eau chaude
sanitaire, en diminution

1 800 kWh pour la
climatisation, en
augmentation

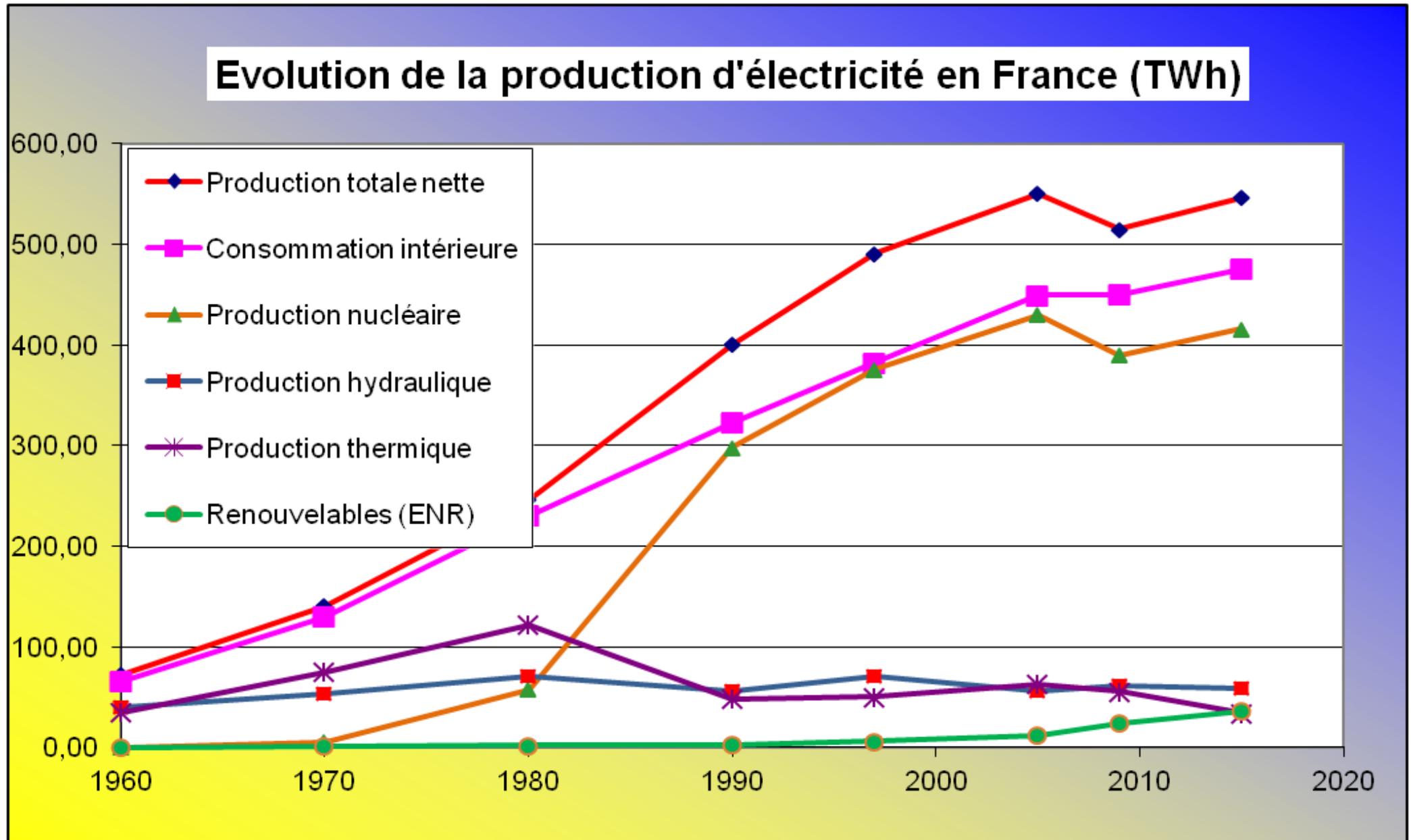
1 000 kWh pour la cuisson
des aliments, stable

1 500 kWh pour les usages
spécifiques de l'électricité
(éclairage,
électroménager,
bureautique, audiovisuel),
en augmentation.



- Au niveau des usages, deux grands postes dominant: la consommation d'énergie pour le **chauffage des locaux (environ 38%)** et les carburants dans les transports (environ 31%).

(Source : Observatoire de l'Énergie)



Production, puissance installée, taux d'utilisation et bilan carbone des sources d'électricité en France en 2015

Source: RTE	Nucléaire	Hydraulique	Thermique	Charbon	Fioul	Gaz	ENR	Bio	Solaire	Eolien
Prod 2015 en TWh										
547	416	59	34,3	8,6	3,2	22,5	36,5	8	7,4	21,1
	76%	11%	6%	2%	1%	4%	7%	1%	1%	4%
Puissance installée (GW)										
129	63,1	25,4	22,3	3	8,4	10,9	18,2	1,7	6,2	10,3
	49%	20%	17%	2%	7%	8%	14%	1%	5%	8%
Taux d'utilisation / facteur de charge (%)										
48%	75%	27%	18%	33%	4%	24%	23%	54%	14%	23%

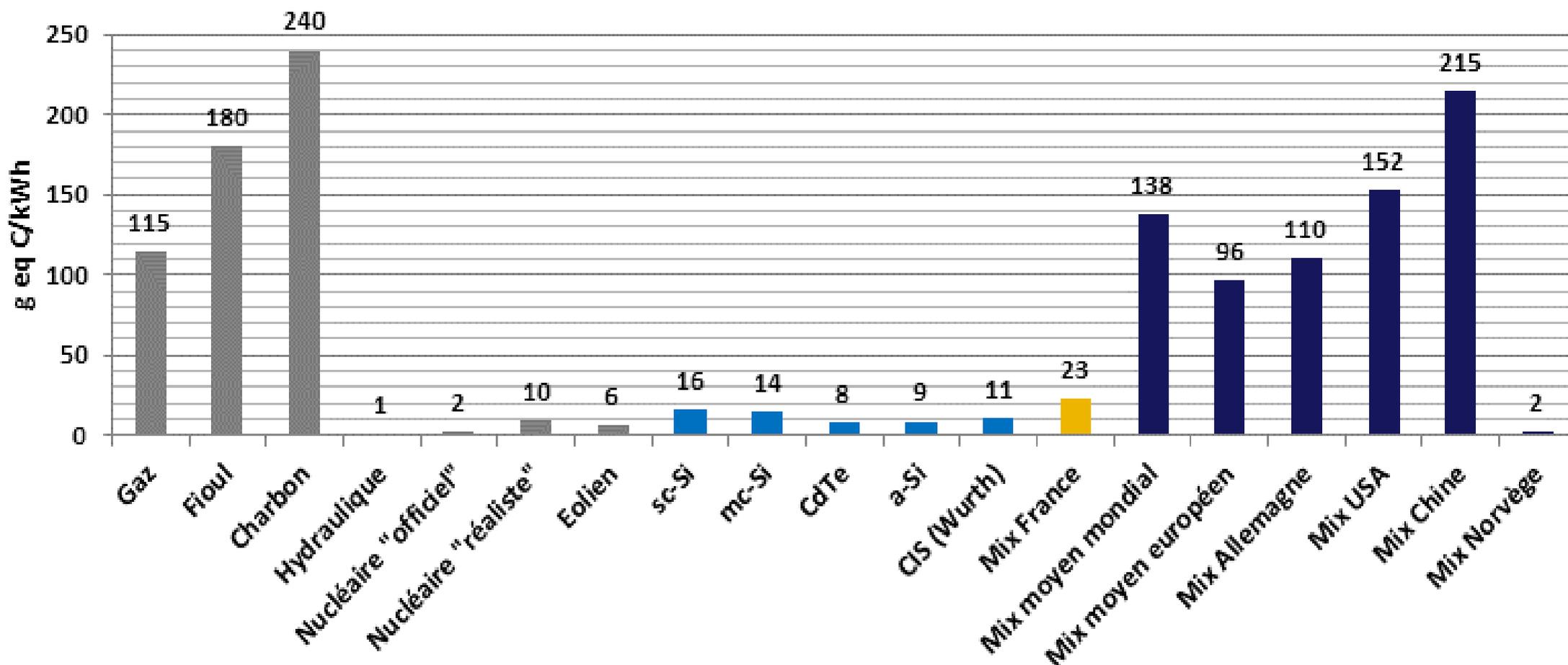
Source Cythelia

Taux d'émission de GES en g eqC/kWh

19	10	1	152	240	180	115	32	115	14	6
Bilan carbone en kt eq C										
10 538	4 160	59	5 228	2 064	576	2 588	1 150	920	104	127

Emissions de GES comparées de différentes sources de production d'électricité (g eq C /kWh) (Source: Cythelia)

Comparaison des Facteurs d'émissions de l'électricité issue de différentes sources
 Hypothèses PV : 1700 kWh/m².an - PR = 0,75 - Vieillessement = -1%/an - Durée de vie = 30 ans



1. La source est bien d'origine nucléaire ; sa durée de vie se compte en milliards d'années et le retraitement des déchets y est intégré, à 150 millions de km de distance...
2. Elle est assez également répartie sur l'ensemble de la planète avec des ratios de gisement allant de 1 à 3 et chacun de nous dispose de la source à sa porte.
3. La conversion de la lumière en électricité est directe : elle ne passe pas par une transformation de Carnot.
4. Elle génère très peu de gaz à effet de serre (50 g eq CO₂ /kWh), moins carboné que l'électricité du réseau français (70 g eq CO₂ /kWh).
5. Les installations sont silencieuses, non polluantes et demandent très peu de maintenance.
6. Les installations sont modulaires.
7. La décroissance des coûts de fabrication des modules suit la loi de Verdoorn des objets industriels : diminution du coût unitaire de 20% chaque fois que double la production cumulée.

1. La source est diluée (50-1000 W/m²)
2. Elle est à la fois périodique et aléatoire
3. Elle ne se stocke pas facilement.
4. Le facteur de charge est faible (1 200 h d'ensoleillement correspondent à un taux d'utilisation de 14%).
5. En dépit des progrès techniques, le rendement photovoltaïque des produits industriels reste encore relativement faibles (12 à 24 %, soit 120 à 240 Wc /m²).
6. Utilisation massive de matériaux élaborés (silicium, verre, aluminium, cuivre, argent, EVA, ...)
7. Empreinte territoriale lorsqu'il n'est pas intégré au bâti.
8. Coût de la Contribution au Service Public de l'Electricité.

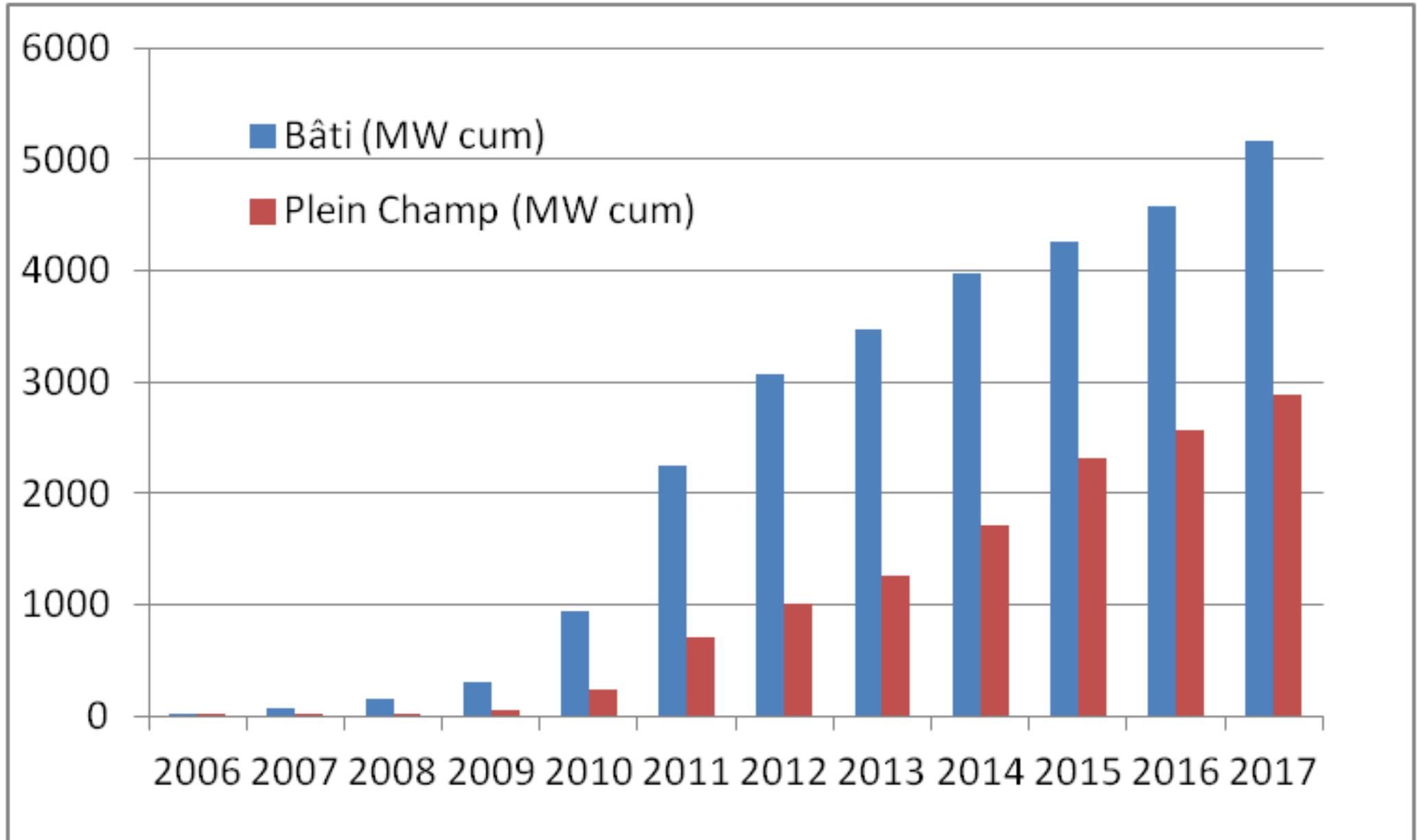
L'énergie solaire photovoltaïque doit se comprendre dans le cadre d'un triple changement de paradigme :

- le passage des énergies « stocks » aux énergies « flux »
- une grande égalité d'accès,
- une proximité démocratique (les consommateurs deviennent en même temps producteurs), donc un potentiel de rupture dans nos comportements consuméristes.

Elle ne devrait pas être une technologie supplémentaire pour construire des centrales électriques, en s'en remettant à un oligopole d'opérateurs.

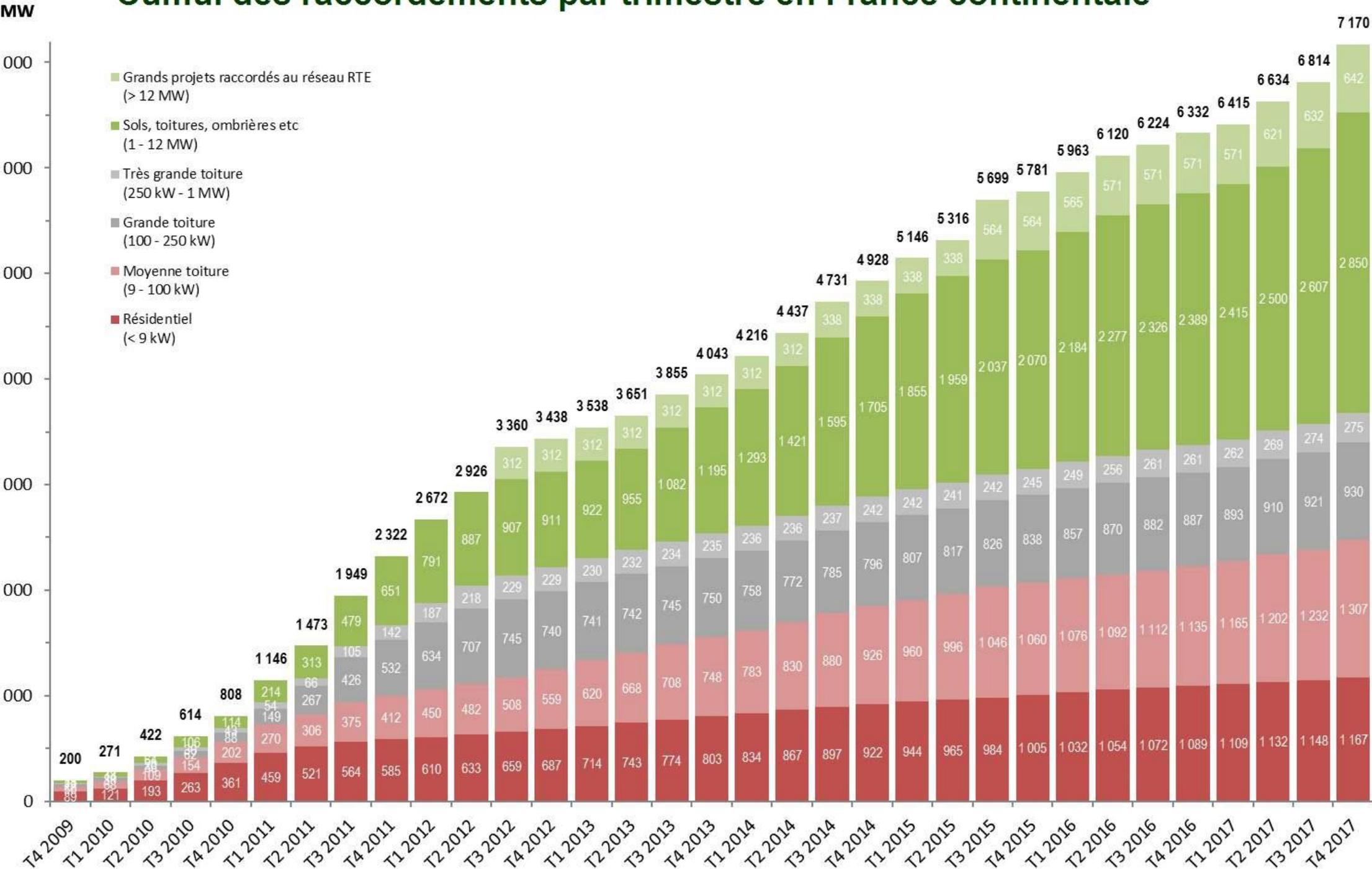
Elle n'est pas source de conflits armés prédateurs de territoires comme c'est le cas pour les énergies fossiles.

Installations PV cumulées en France (MWc)



Répartition française du PV en toiture et au sol

Cumul des raccordements par trimestre en France continentale

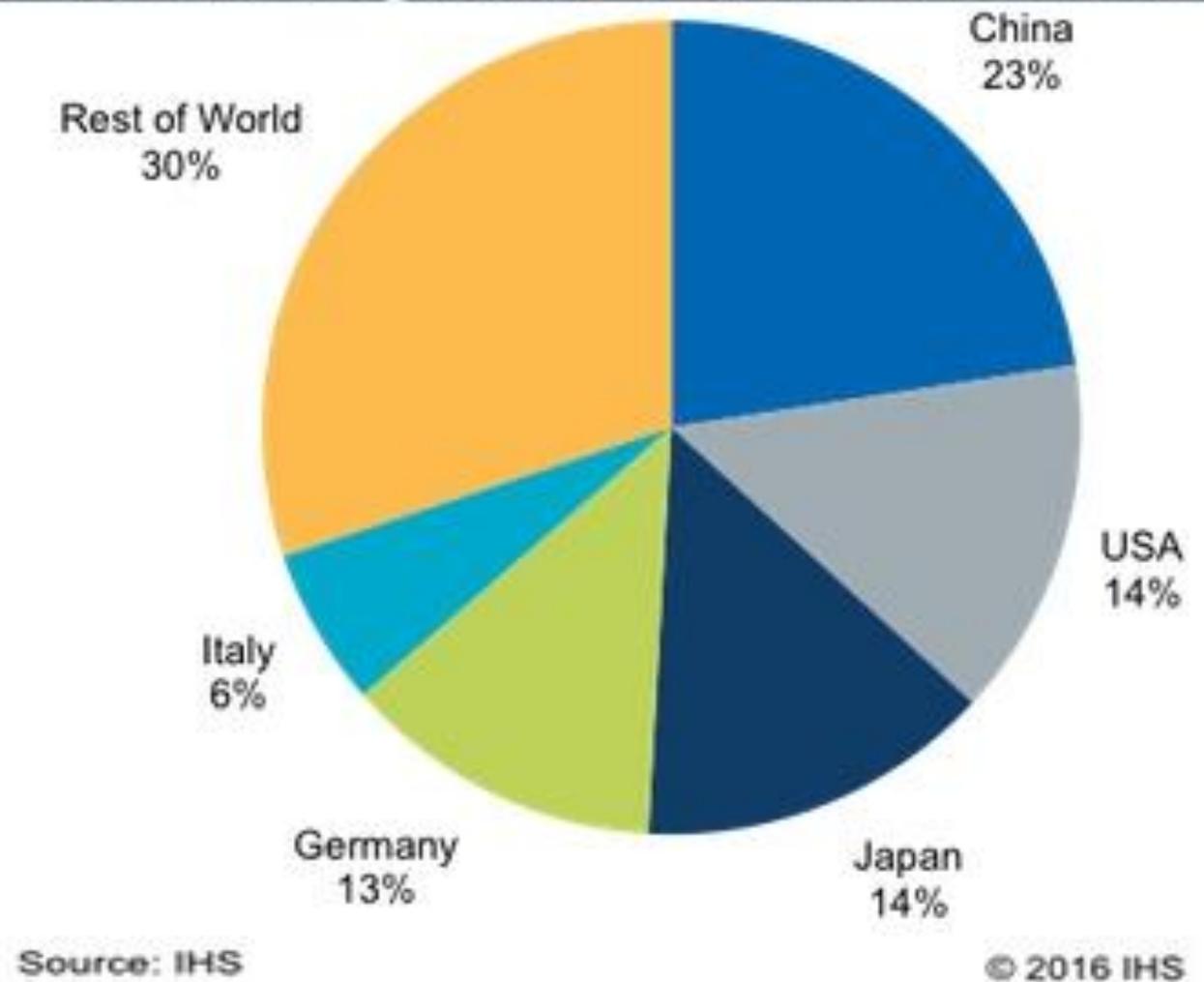


Installations mondiales
cumulées fin 2017:
404 GWc
dont 100 GWc en 2017

Production électrique en
2017: 444 TWh

Prix de vente modules
usine : 0,37 € /Wc

Cumulative global PV installations 2016





*Centrales en
plein Champ.*

La centrale de CESTAS de 300 MWc sur 230 ha (Bordeaux)



Des tentatives pour optimiser l'espace ...



Centrale de Tudela en
Navarre: 400
systèmes de suivi
deux axes montés
sur axe vertical

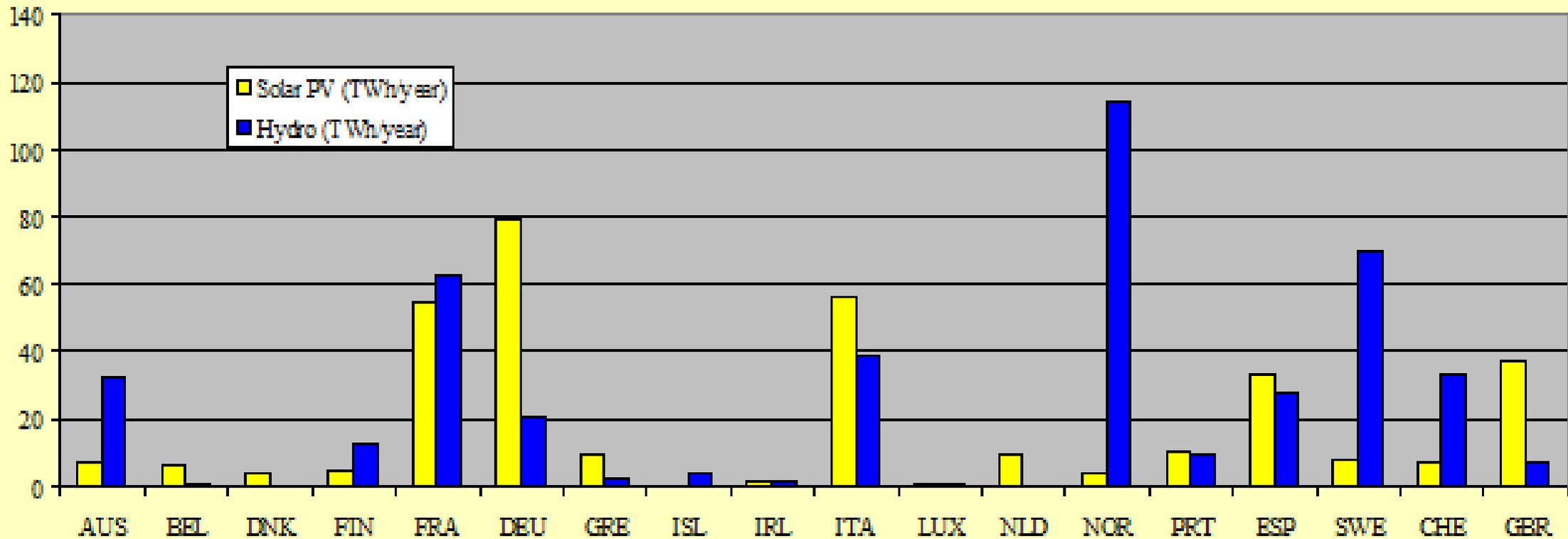


Panneaux surélevés
au-dessus d'une
rizière, Kamisu,
Préfecture
d'Ibaraki, Japon

Potentiel des toitures en Europe (TWh)

Solar potential on roofs in Europe (TWh/year)

Adapted from source: "Photovoltaics in 2010", EC-DG XVII, EPIA-ALTENER, April 1996



Potentiel des toitures existantes si elles étaient équipées de photovoltaïque dans 18 pays d'Europe en TWh /an comparé à leur grande hydraulique (source : " PV in 2010, EC-DG XVII ; EPIA-ALTENER, Avril 96 ")



Exemples d'intégration multifonctionnelle

En façade : mur rideau, allèges, bardage



En pare
soleil



En verrière



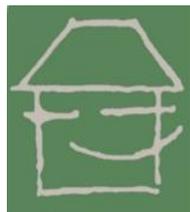


Grenelle de l'environnement :

- La loi du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement rend obligatoire la **RT 2012** (Octobre 2011)



réduction de la consommation d'énergie



optimisation de la conception du bâti



intégration d'énergies renouvelables

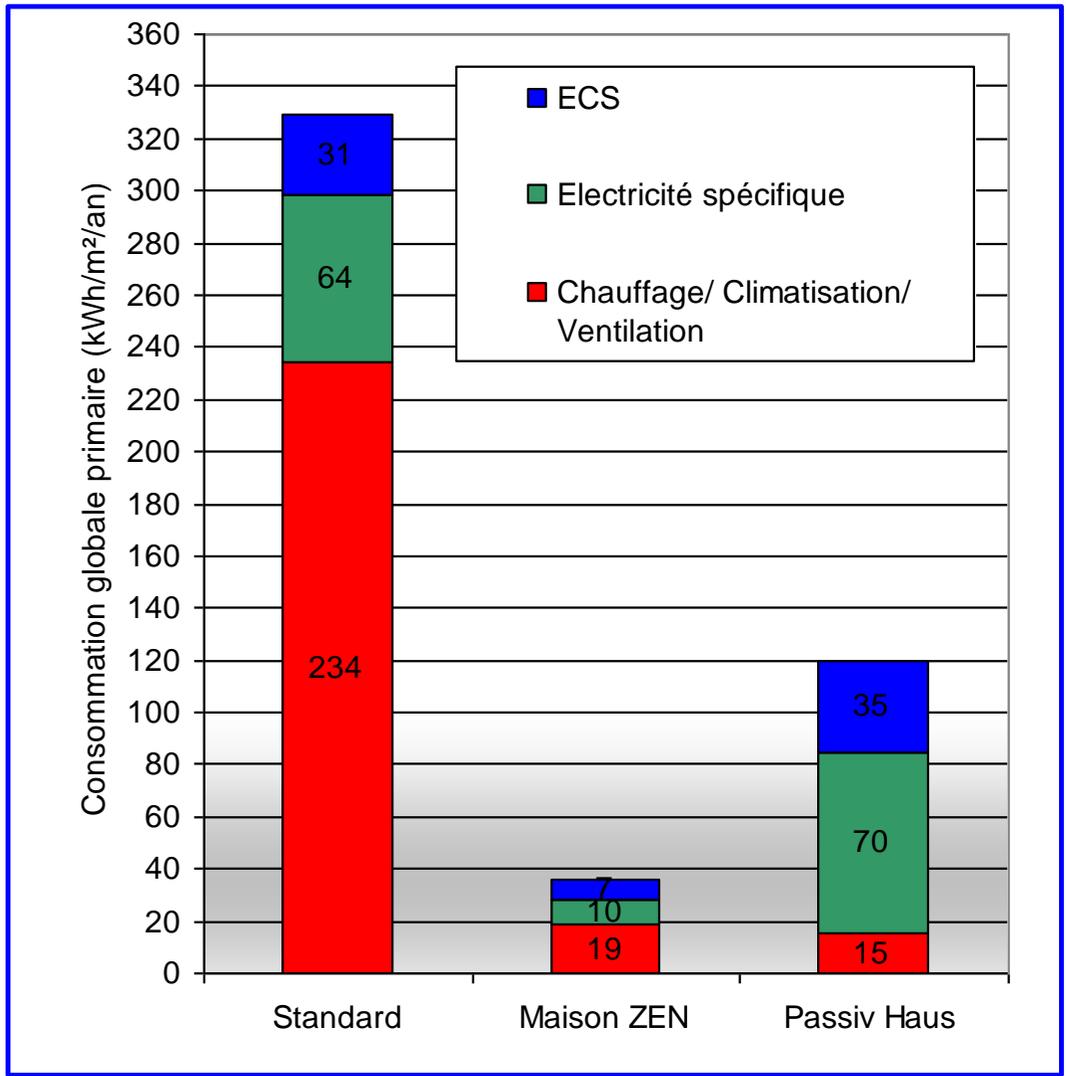
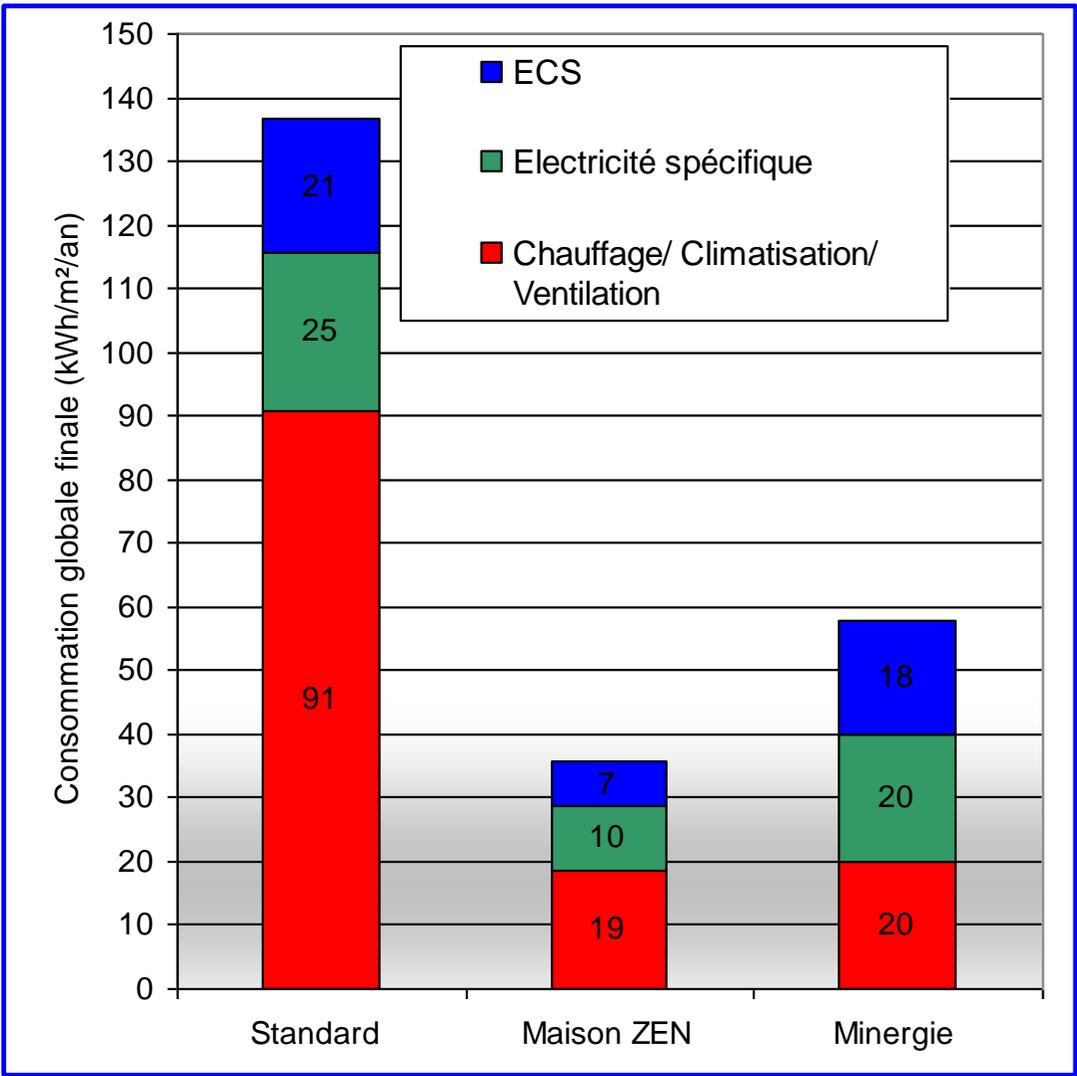
- Et prévoit pour la **RT 2020**
 - Bâtiments à énergie positive **BEPOS** pour toutes les constructions nouvelles



Comparaison construction standard: parpaing, isolation intérieure, double vitrage, chauffage électrique nucléaire.

**Conso énergie finale standard:
137 kWh/m².an (ZEN : 36)**

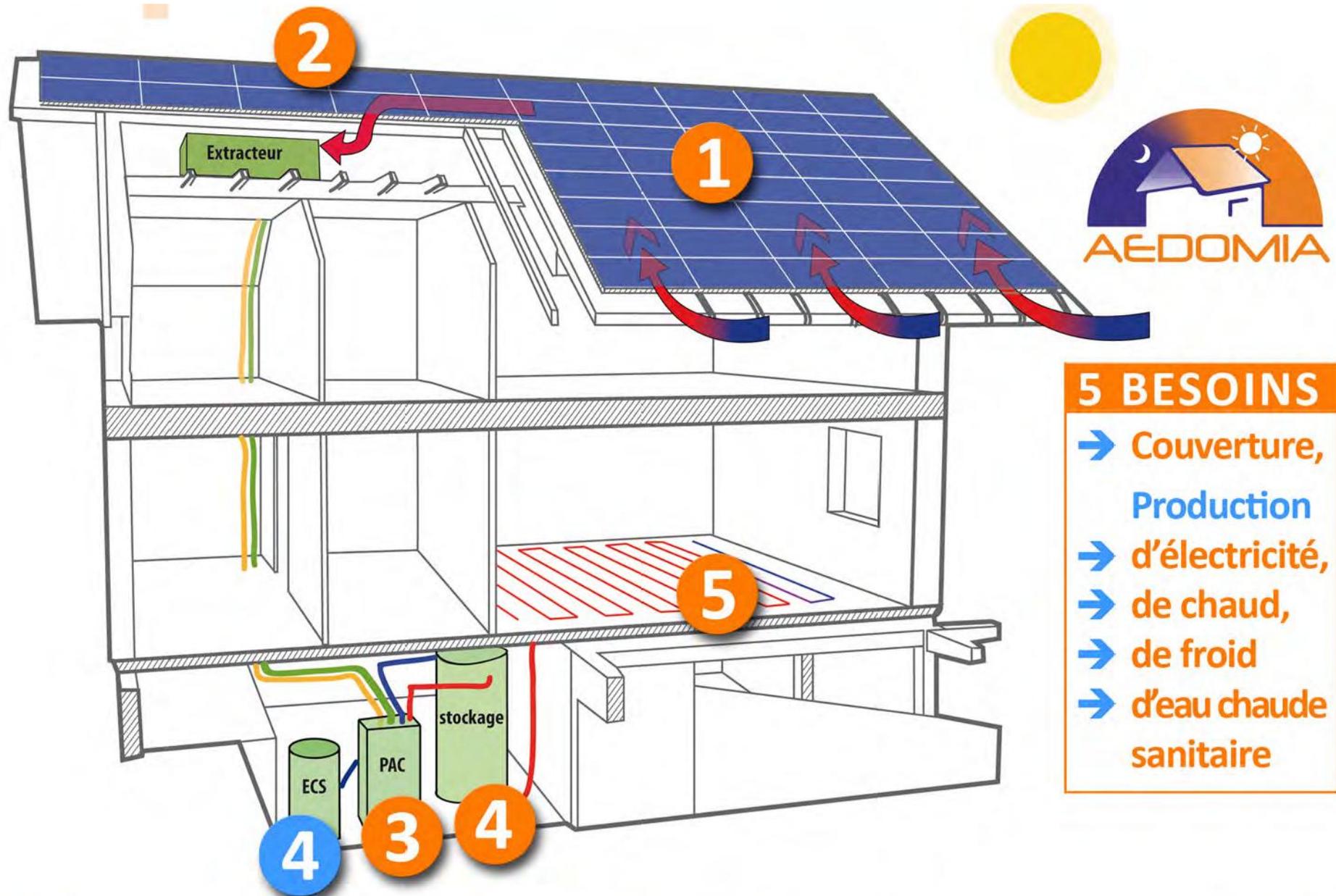
**Conso énergie primaire standard :
329 kWh/m².an (ZEN : 36)**



La Petite Maison ZEN: couches minces CIGS et verrière semi-transparente



La Petite Maison ZEN et le système AEDOMIA



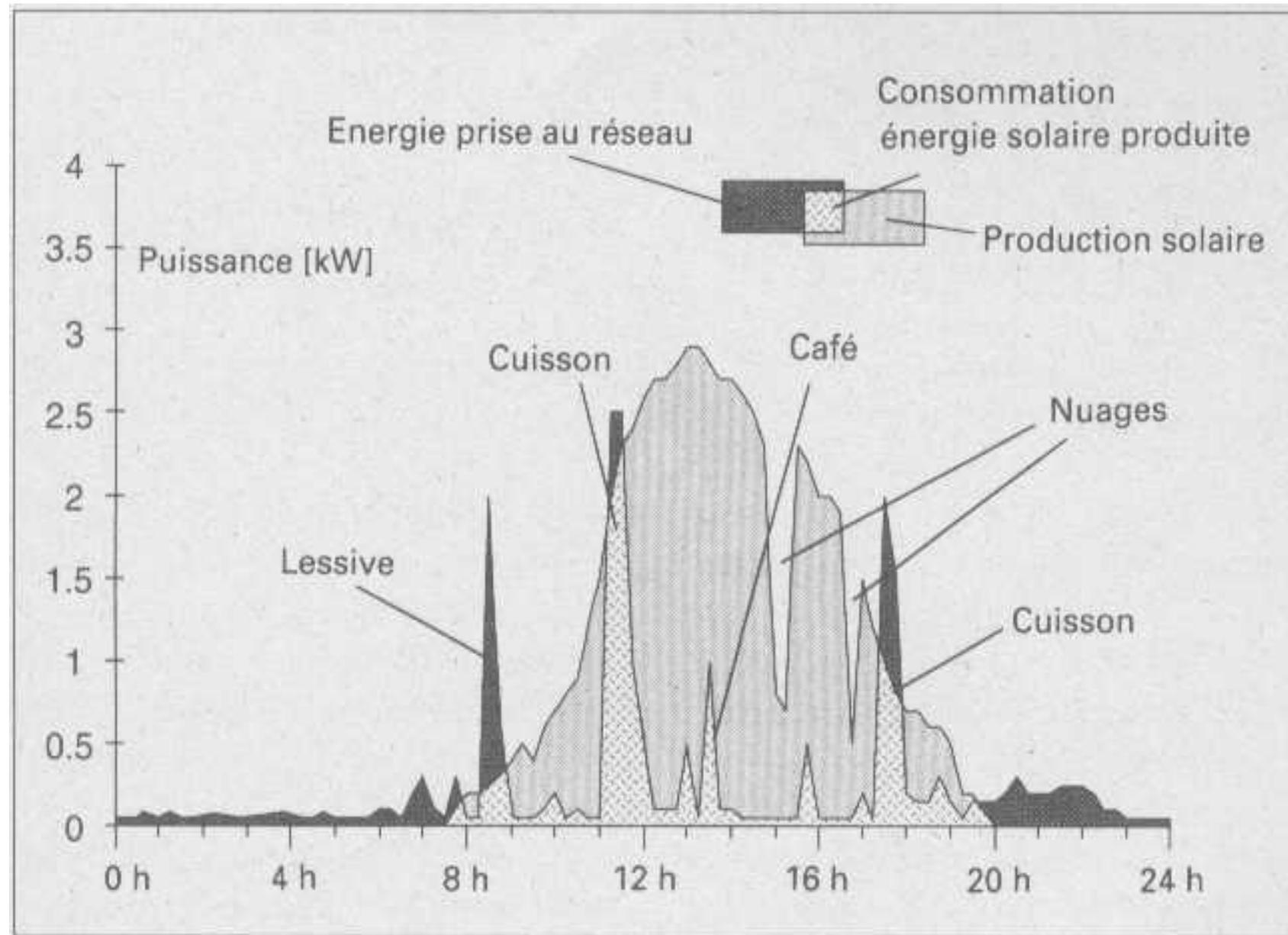


Solaire photovoltaïque

2^{ème} partie: réseaux intelligents et stockage : à quelle échelle ?

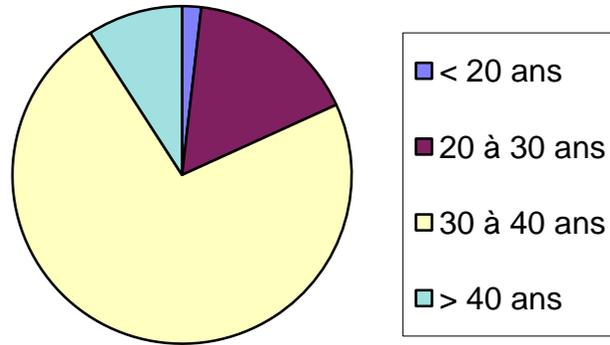
*Conférence –débat organisée par le club électro-solaire
CERN le Globe, GENEVE, 22 Mai 2018*

Alain RICAUD



Par quoi remplacer notre cher nucléaire en 2050 ?

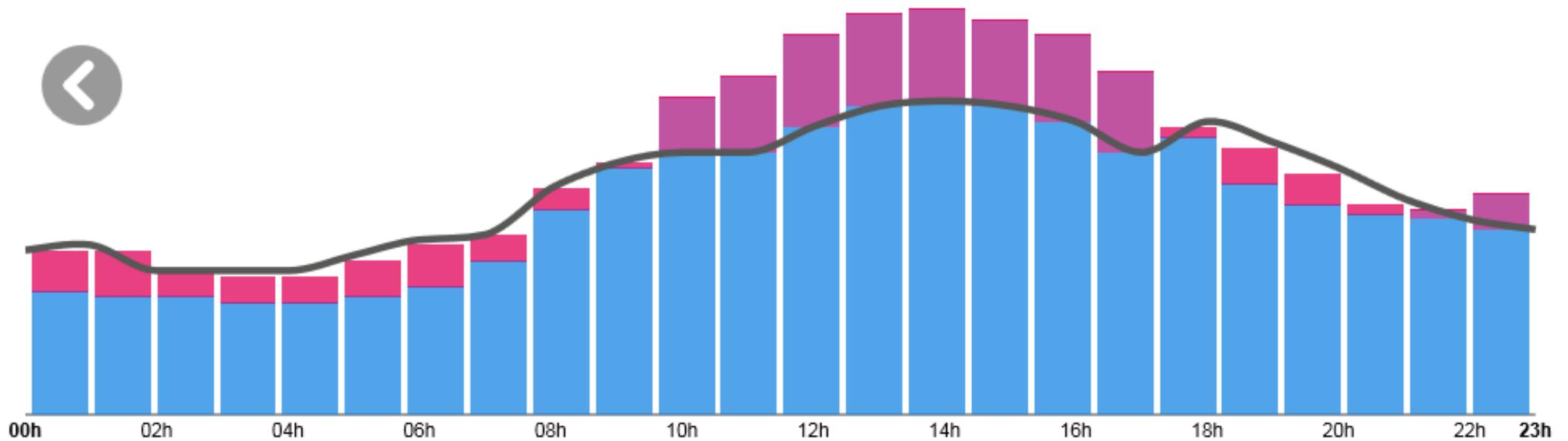
Répartition des réacteurs nucléaires en France selon leur âge en 2018



L'étude de l'ADEME d'un mix électrique 100% renouvelable

Scenario ADEME 100% renouvelable en 2050 <http://mixenr.ademe.fr/>

France 2050	Puissance installée GW	Taux d'utilisation	Production annuelle TWh
Éolien terrestre	96	31%	261
Éolien en mer	10	48%	42
Solaire	63	15%	80
Hydraulique	21	33%	61
Biomasse	4	96%	34
Géothermie	1	15%	1
Énergies marines renouvelables	1	10%	1
Stockage	36		0
TOTAL	232		480



- Pour le chauffage et les transports:
 - La bio masse (bois énergie; méthanisation, bio-carburants)
 - L'hydrogène (34 kWh /kg !)
- Et pour l'électricité :
 - Les stations de transfert par pompage (STEP)
 - Les batteries électro-chimiques
 - L'air comprimé
 - Les systèmes inertiels
 - Electrolyse + Hydrogène + piles à combustible
 - L'interconnexion des grands réseaux

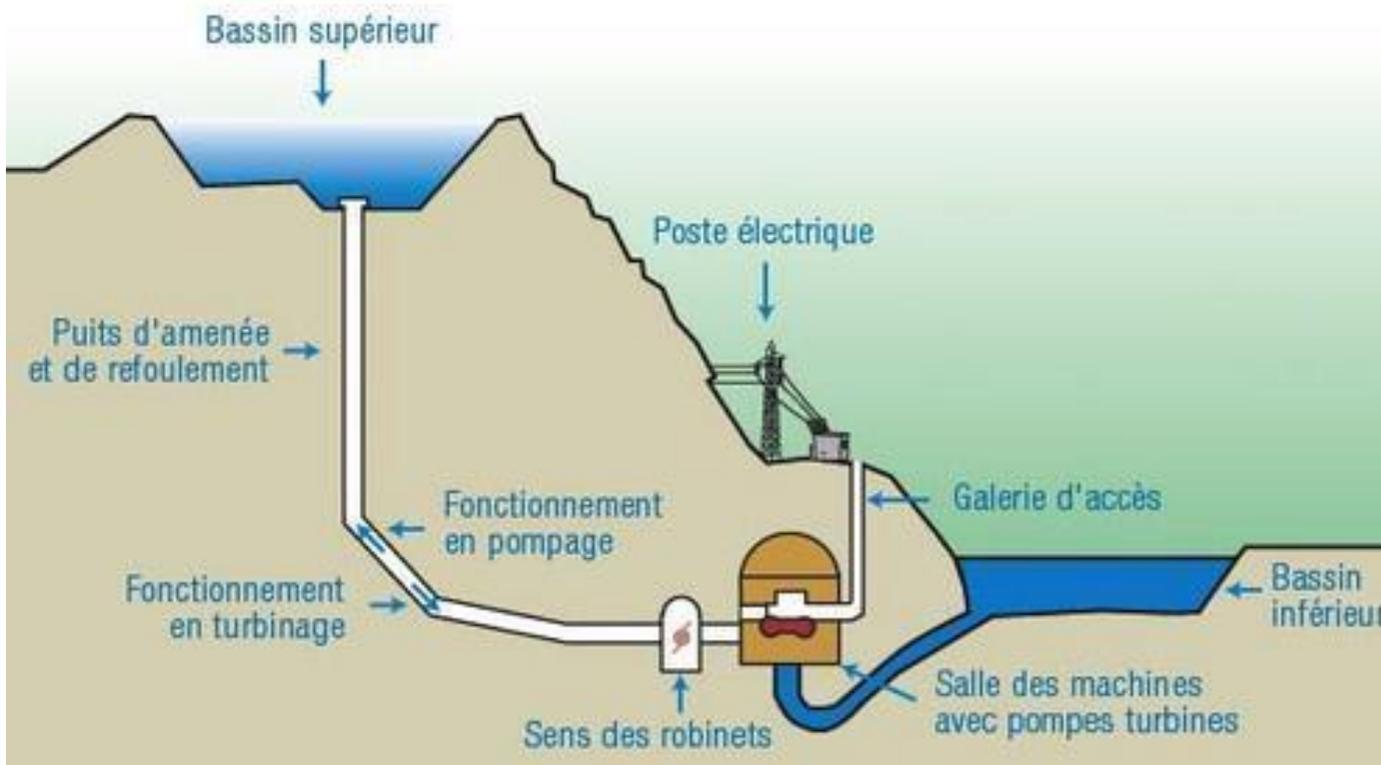
- Avec 5 GW de STEP existantes en France (Grandmaison, Super Bissorte, Montezic...) il n'y aura pas assez pour faire face aux taux de croissance de l'éolien et du solaire d'ici 2030.
- 15 GW de STEP supplémentaires sont encore possible sur le territoire métropolitain, avec notamment plusieurs projets repérés dans les Alpes (Le Clou, le Chambon, ... pour 5 000 MW) et 5 projets en suspens dans les Pyrénées totalisant 2500 MW.
- Le pompage des crues sur la Marne, l'Oise et l'Yonne seraient aussi des opportunités à double usage.

STEP: le chantier du nant de Drance (Valais)



Avec 6 groupes réversibles de 150 MW, à partir de 2019, l'usine souterraine turbinera l'eau de la retenue Vieux-Emosson et la restituera dans le lac d'Emosson.

Production envisagée: 2,5 TWh /an pour 900 MW installés, taux d'utilisation 32% !



27 Mars 2018: le groupe EDF annonce le Plan de stockage électrique avec pour objectif de devenir le leader européen sur le marché des clients particuliers avec sa gamme d'offres d'autoconsommation intégrant des batteries d'ici à 2035.

10 Mai 2018: dans le discours prononcé par Emmanuel Macron lors de la cérémonie de remise du Prix Charlemagne la « transformation énergétique et climatique » de l'Europe figurait au rang des priorités à mettre en œuvre pour relancer la construction européenne, notamment en matière de stockage des énergies renouvelables.

Avantages:

- Energie massique relativement élevée ($> 120 \text{ Wh /kg}$)
- Pas d'effet mémoire
- Faible auto-décharge (5 à 10% / mois)
- Grand nombre de cycles à 80% de décharge
- Tension nominale (3,6 V) extrêmement stable

Inconvénients:

- Coût d'investissement encore élevé ($\sim 250 \text{ € /kWh}$ batterie), compensé par un nombre de cycles important.
- Risques d'incendie ou d'explosions si le contrôle de charge et de température de chaque élément n'est pas correct.
- Disponibilité limitée du Li en Chine et au Pérou

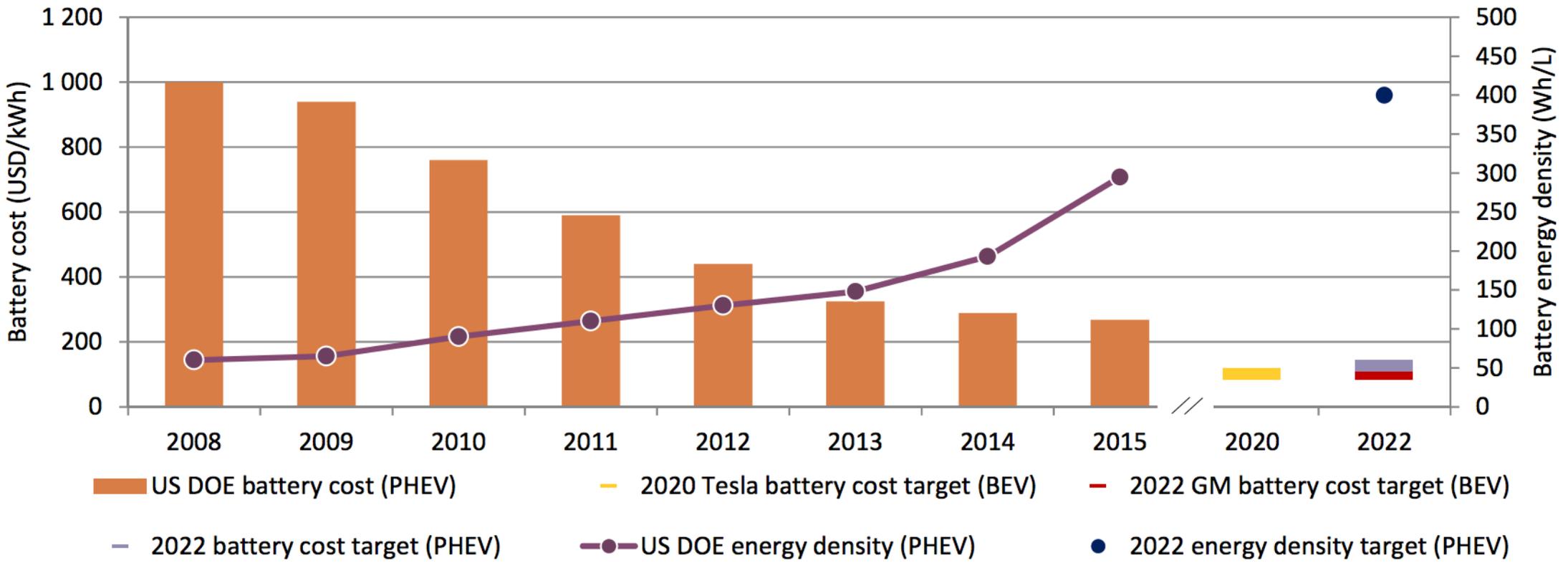
La Gigafactory de Tesla



entrales en plein champs ou consom-acteurs ?

Evolution de la densité et du coût des batteries

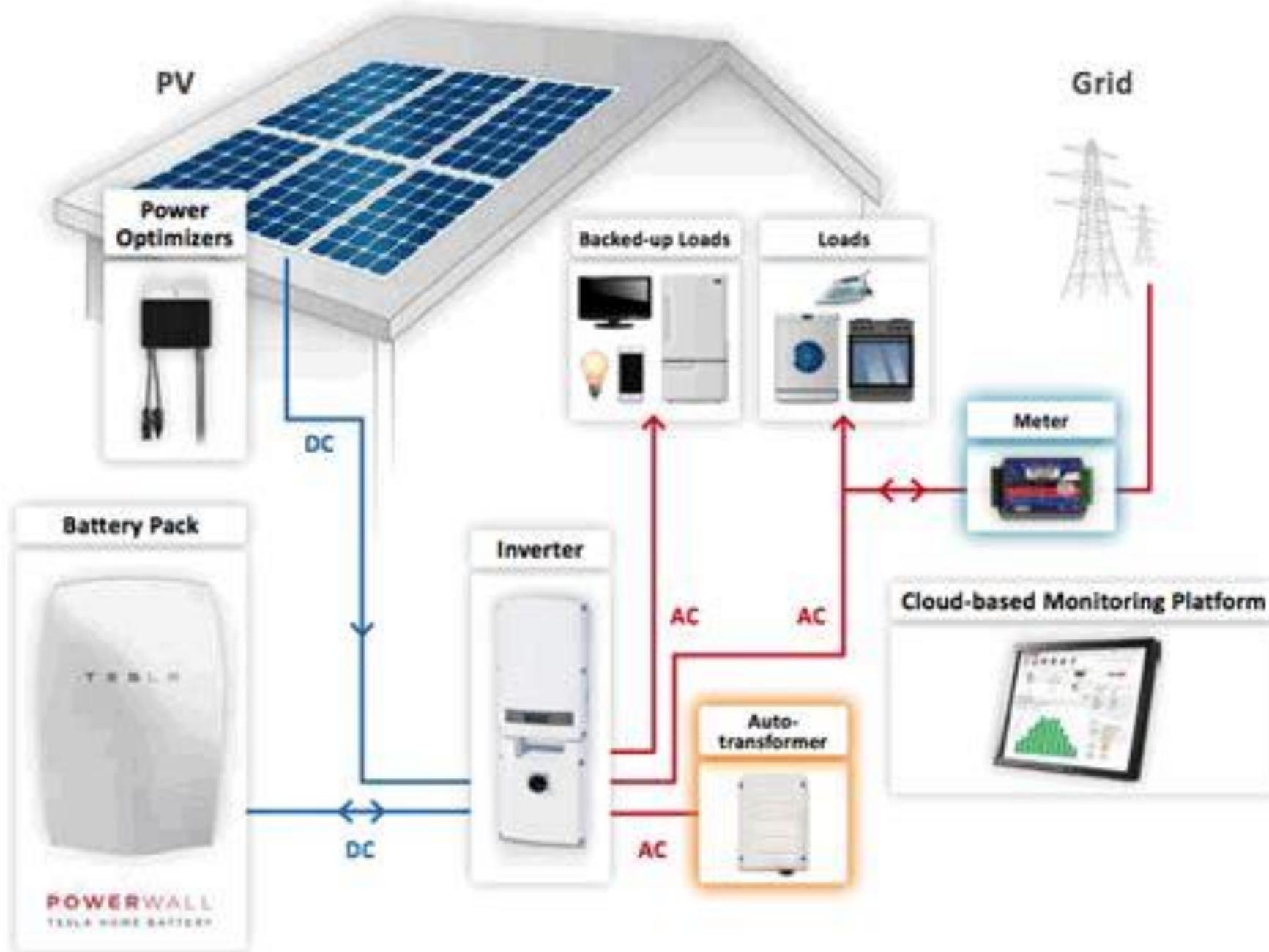
Figure 2 • Evolution of battery energy density and cost



Notes: USD/kWh = United States dollars per kilowatt-hour; Wh/L = watt-hours per litre. PHEV battery cost and energy density data shown here are based on an observed industry-wide trend, include useful energy only, refer to battery packs and suppose an annual battery production of 100 000 units for each manufacturer.

Sources: US DOE (2015 and 2016) for PHEV battery cost and energy density estimates; EV Obsession (2015); and HybridCARS (2015).

Stockage individuel ou par quartier ?





Véhicule électrique : un moyen de stockage solaire mobile ?



En guise de conclusion...





Merci pour votre attention