

Les Energies Renouvelables

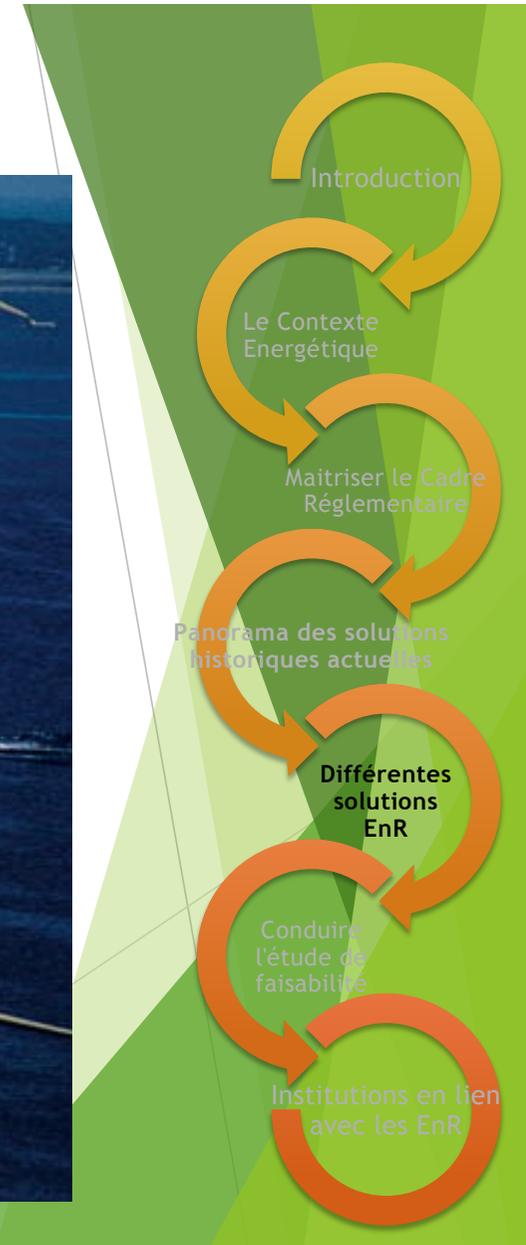
Michel FREMONT
CAN-OUEST et

SCIC IDEE - Bureau d'études en coopérative

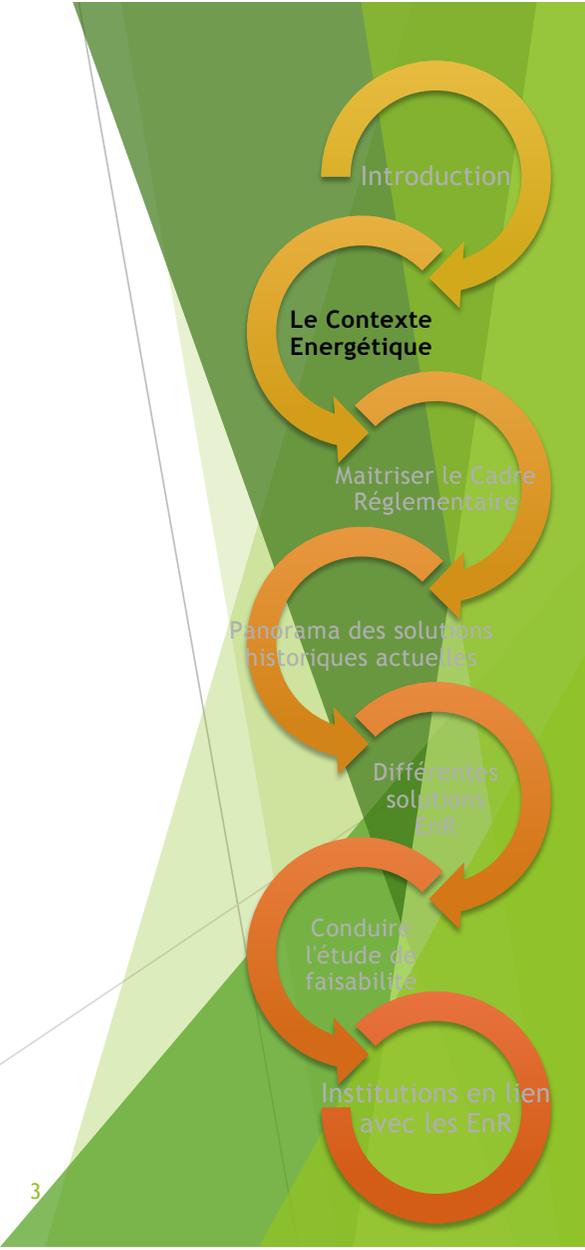
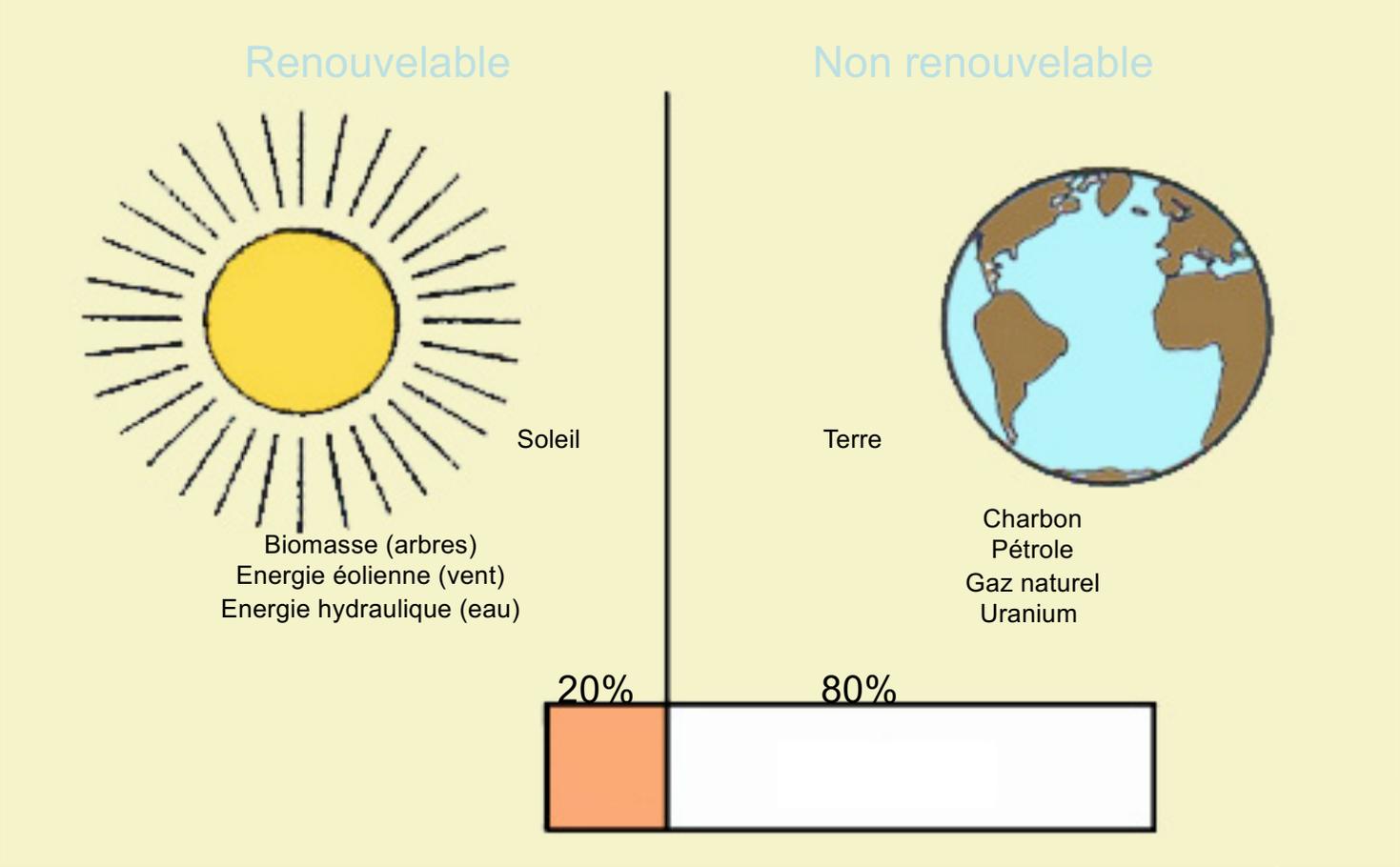
IDEE - Initiatives pour le Développement de l'Efficacité Energétique

www.ideo-energies.fr

Eléments de contexte



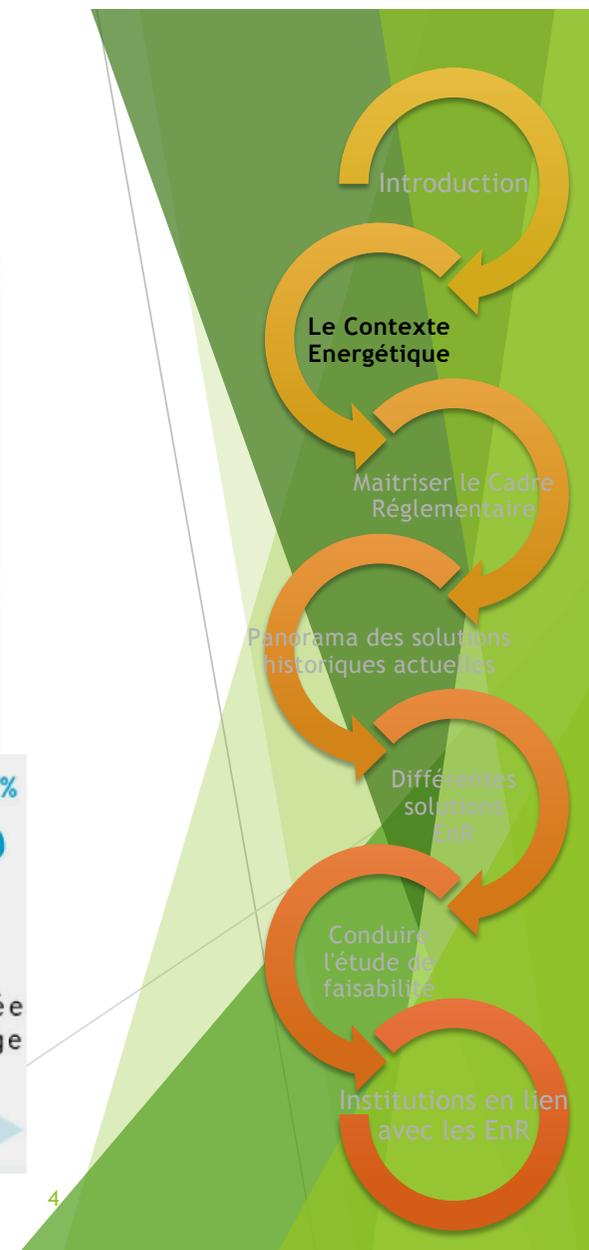
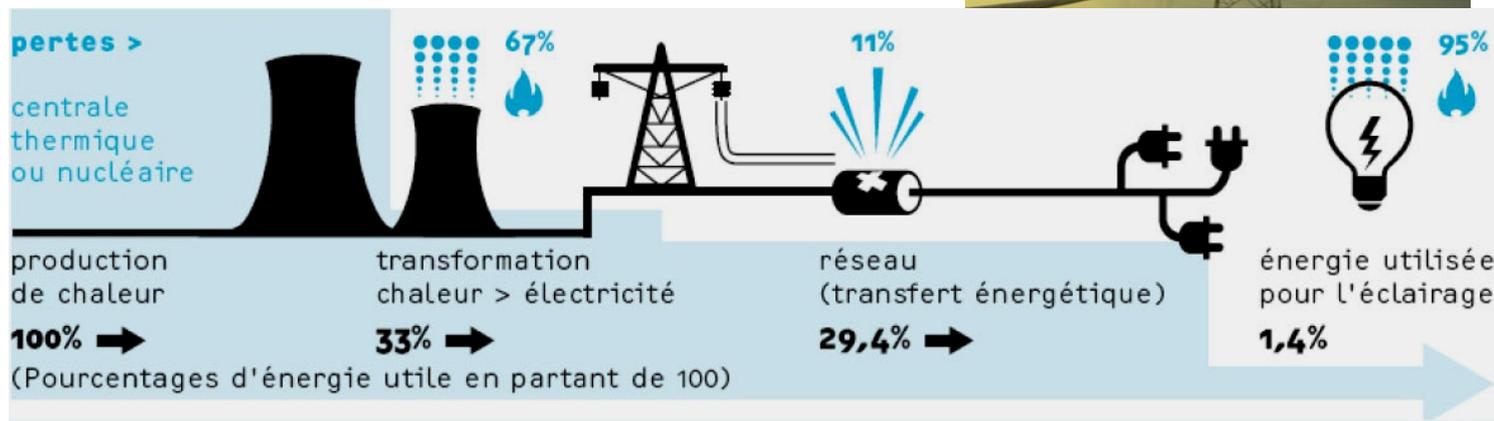
Consommation mondiale d'énergie :



ENERGIE PRIMAIRE

1 kWh d'énergie finale = 3 kWh d'énergie primaire (2,58 RT 2005/2012)

- ▶ En 2018, la consommation française d'énergie primaire a été de 252 Millions de tep alors que la consommation d'énergie finale atteignait seulement 158 Mtep.
- ▶ 93,5 Mtep ont été perdues dans la transformation et le transport de l'énergie entre son prélèvement dans la nature et sa mise à disposition des consommateurs.



Usage de l'énergie - généralités

Ressources primaires
(non corrigées des variations climatiques)

Charbon
8,7

P + DS : 0,1
I : 8,6

Pétrole brut et produits pétroliers raffinés
77,8

P + DS : 1,1
I : 76,7

Gaz naturel
32,4

P + DS : - 1,2
I : 33,6

Production nucléaire
113,8

Énergies renouvelables* et déchets
24,4

P + DS : 24,1
I : 0,1

Total² : 257,1 Mtep

Soutes maritimes internationales

Pertes¹ et rendement de conversion, usages internes

Consommation finale³
(corrigée des variations climatiques)

Charbon
5,6

+ 0,05 correction climatique

Produits pétroliers raffinés
73,4

+ 1,34 correction climatique

Gaz⁴
32,5

+ 3,46 correction climatique

Électricité
36,8

+ 0,78 correction climatique

EnRt et déchets**
15,7

+ 1,38 correction climatique

Total : 164,0 Mtep

Solde exportateur d'électricité 5,8

Et après ?

Introduction

Le Contexte Énergétique

Maîtriser le Cadre Réglementaire

Panorama des solutions historiques actuelles

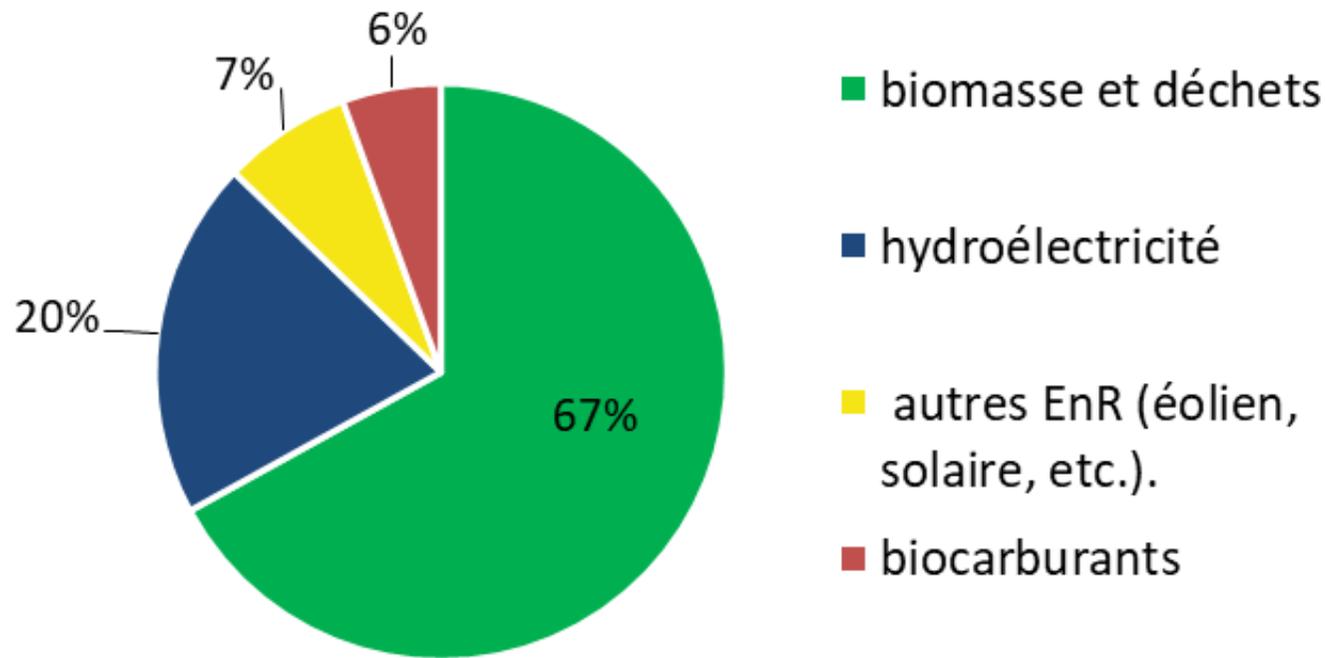
Différentes solutions EnR

Conduire l'étude de faisabilité

Institutions en lien avec les EnR

La part des énergies renouvelables, en détail

Energies renouvelables consommées dans le monde en 2018



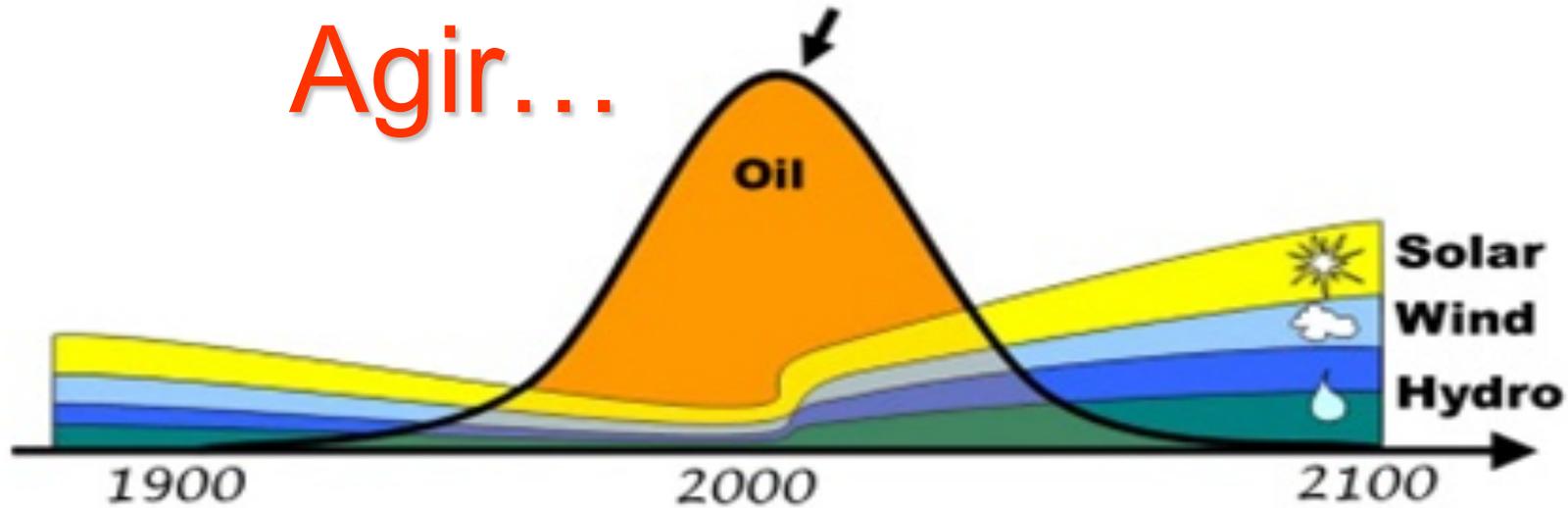
D'après l'Agence internationale de l'énergie

L'énergie

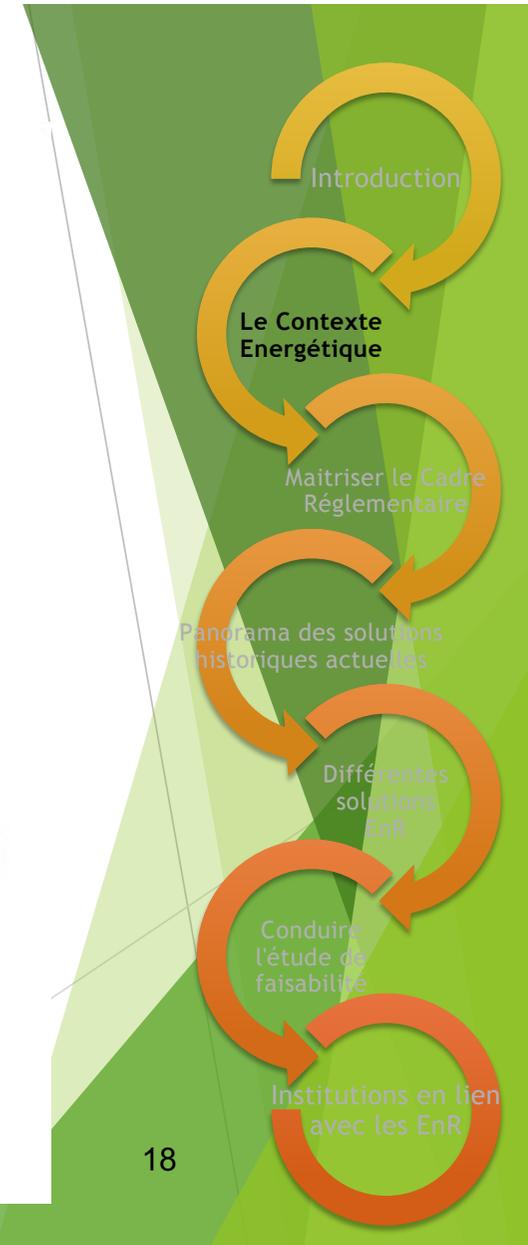
Get ready

We are here

Agir...



for a low energy world

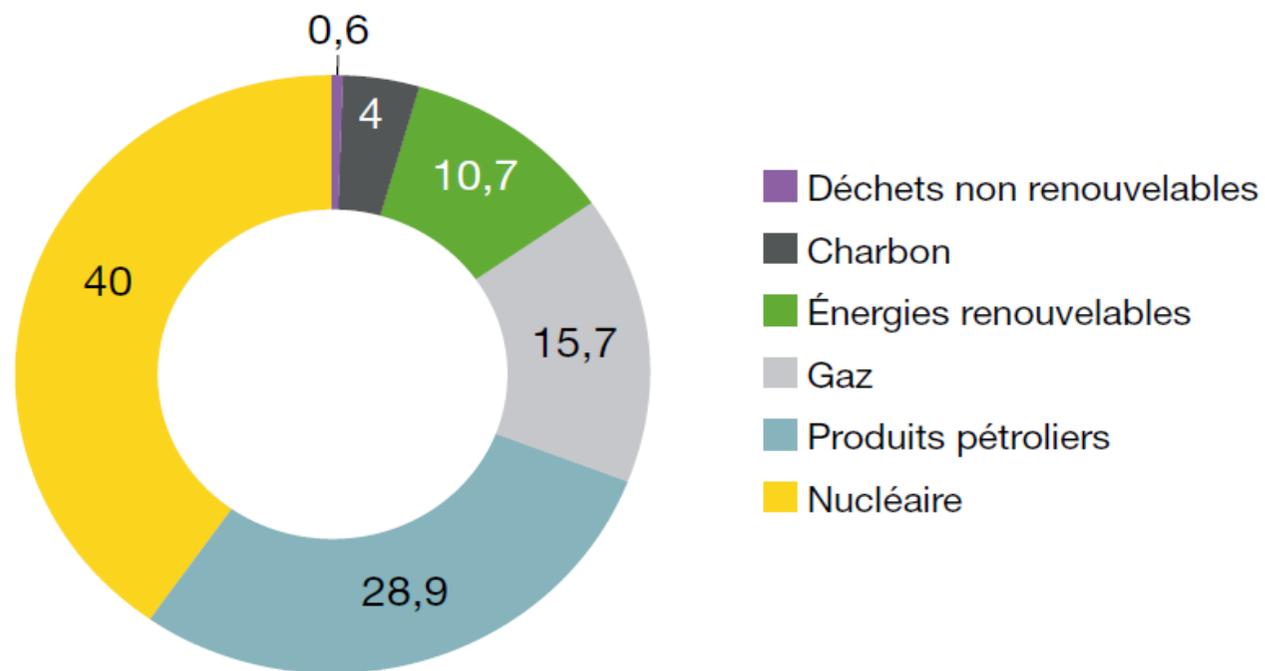


La répartition des énergies primaires en France

CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR TYPE D'ÉNERGIE EN 2017

TOTAL : 251,4 Mtep

En % (données corrigées des variations climatiques)



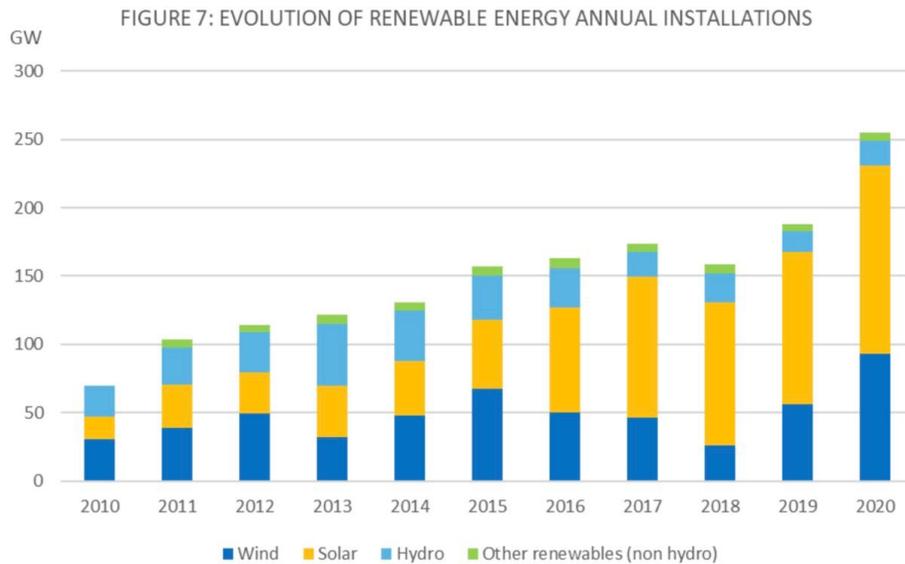
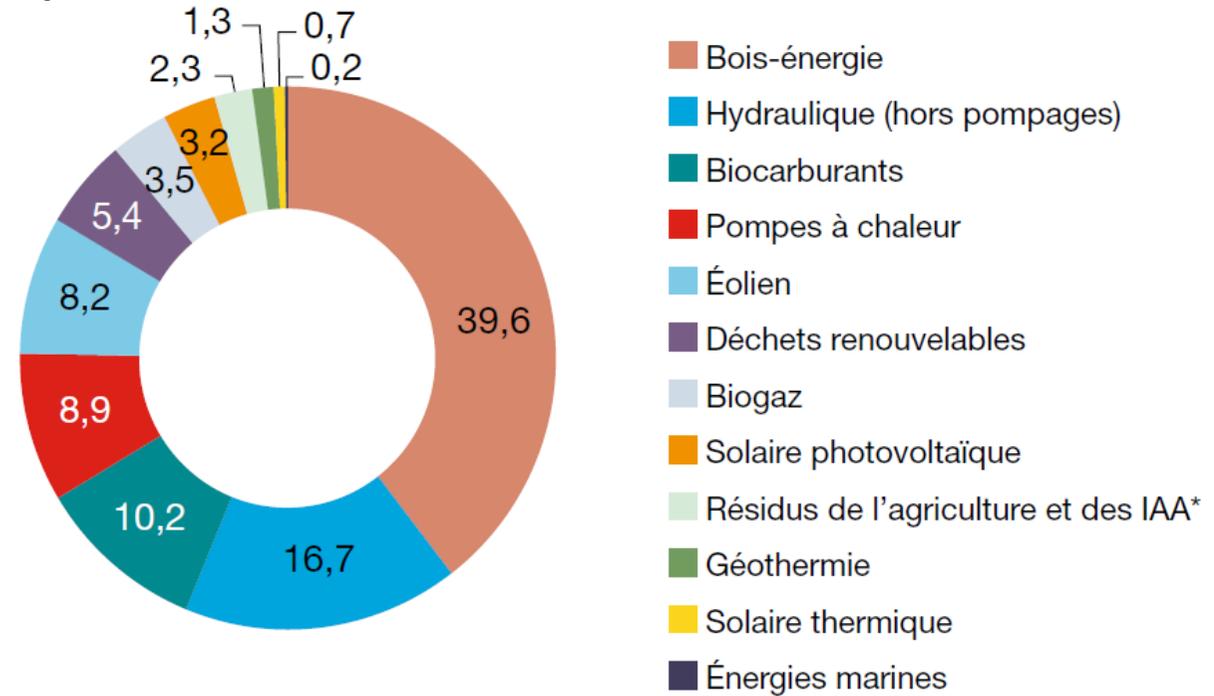
Source : DATALAB - Chiffres clés des énergies renouvelables

La répartition des sources d'énergies renouvelables en France

PRODUCTION PRIMAIRE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES PAR FILIÈRE EN 2017

TOTAL : 25,9 Mtep

En %



Sources: compilation of IEA PVPS, GWEC, IRENA and estimations for 2020

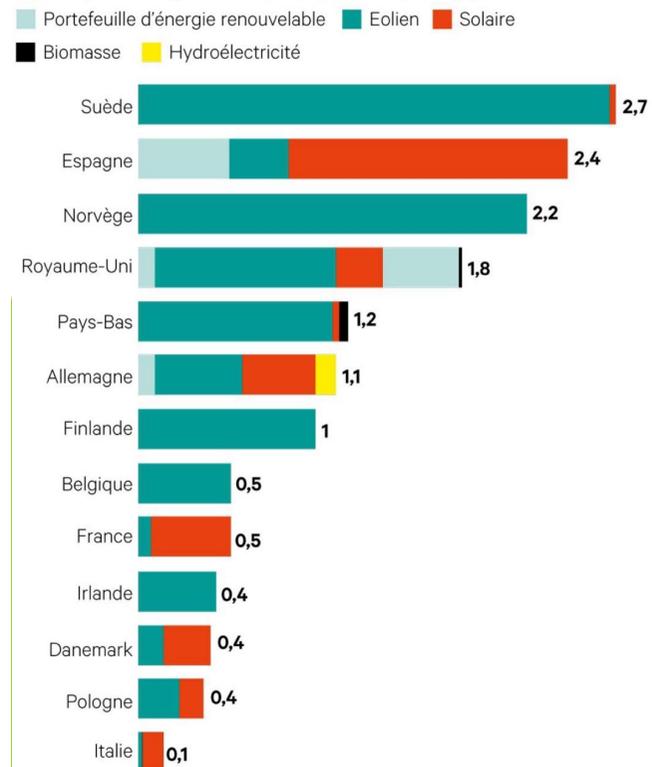
Source : DATALAB - Chiffres clés des énergies renouvelables

groalimentaires.

L'énergie en Europe

L'Europe du Nord et l'Espagne font la course en tête dans la vente d'énergie verte en direct aux entreprises

La montée en puissance des contrats d'approvisionnement en énergie verte (« power purchase agreement »), par pays, en Europe, en gigawatts.



«LES ÉCHOS» SOURCE : RE-SOURCE PLATFORM

Share of electricity from renewable sources, 2019

(% of total gross electricity consumption)

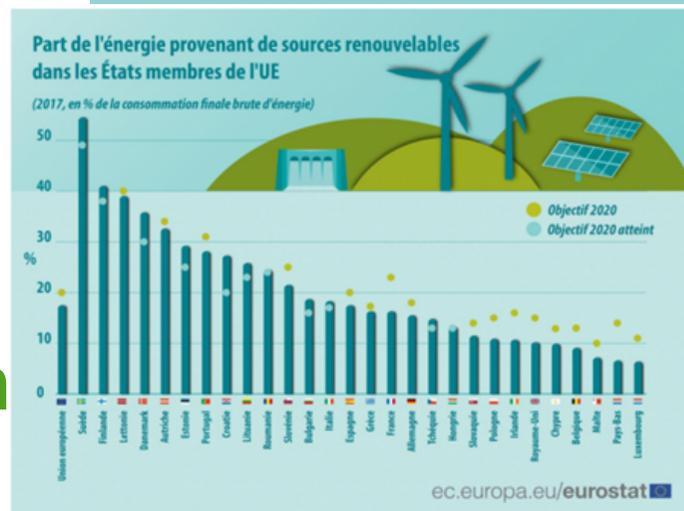
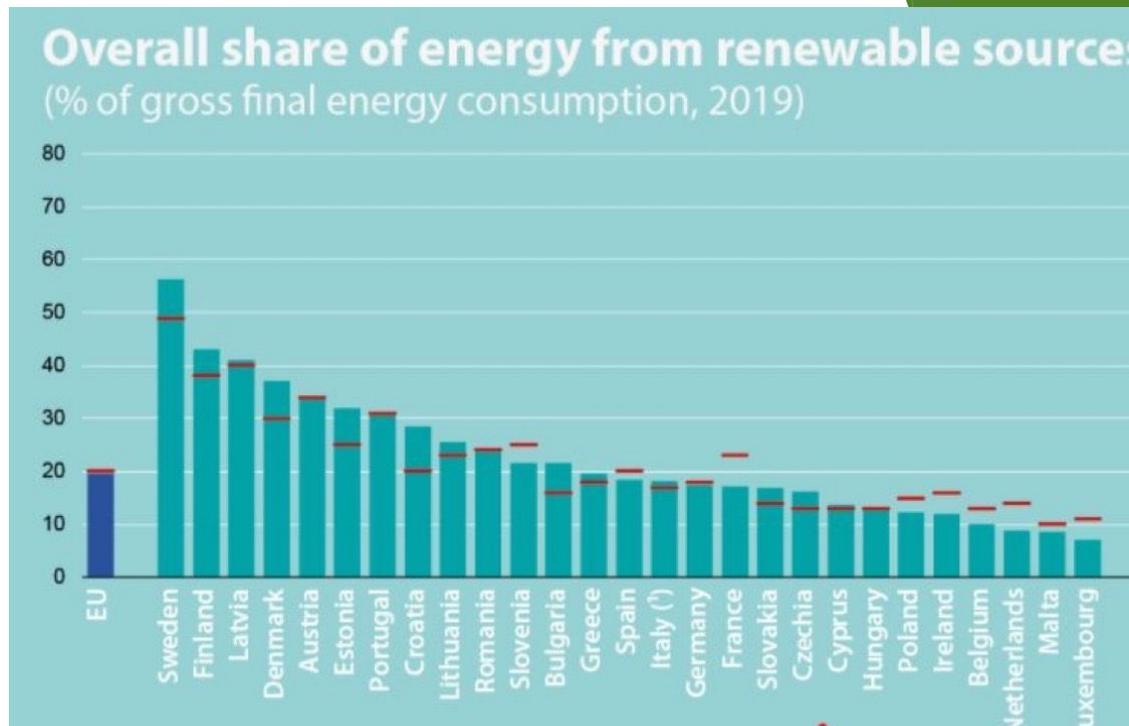


*Data for Italy are preliminary.

L'énergie en Europe à partir des ENR

La France est l'un des pays le plus en dessous de ses engagements (trait rouge par rapport au résultat !)

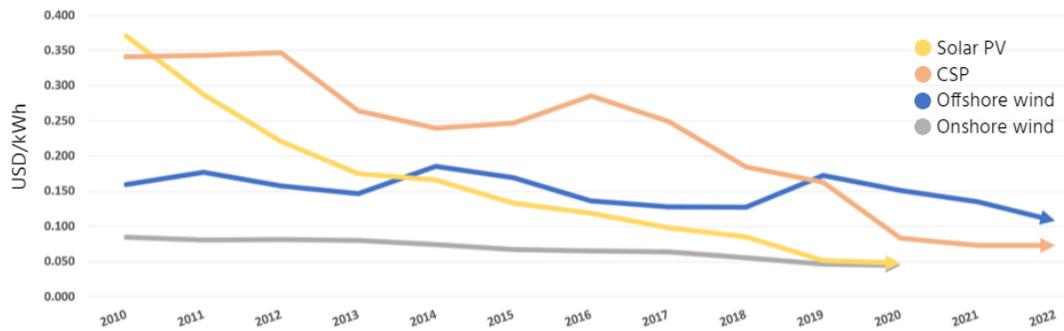
C'était sur la trajectoire déjà en 2017



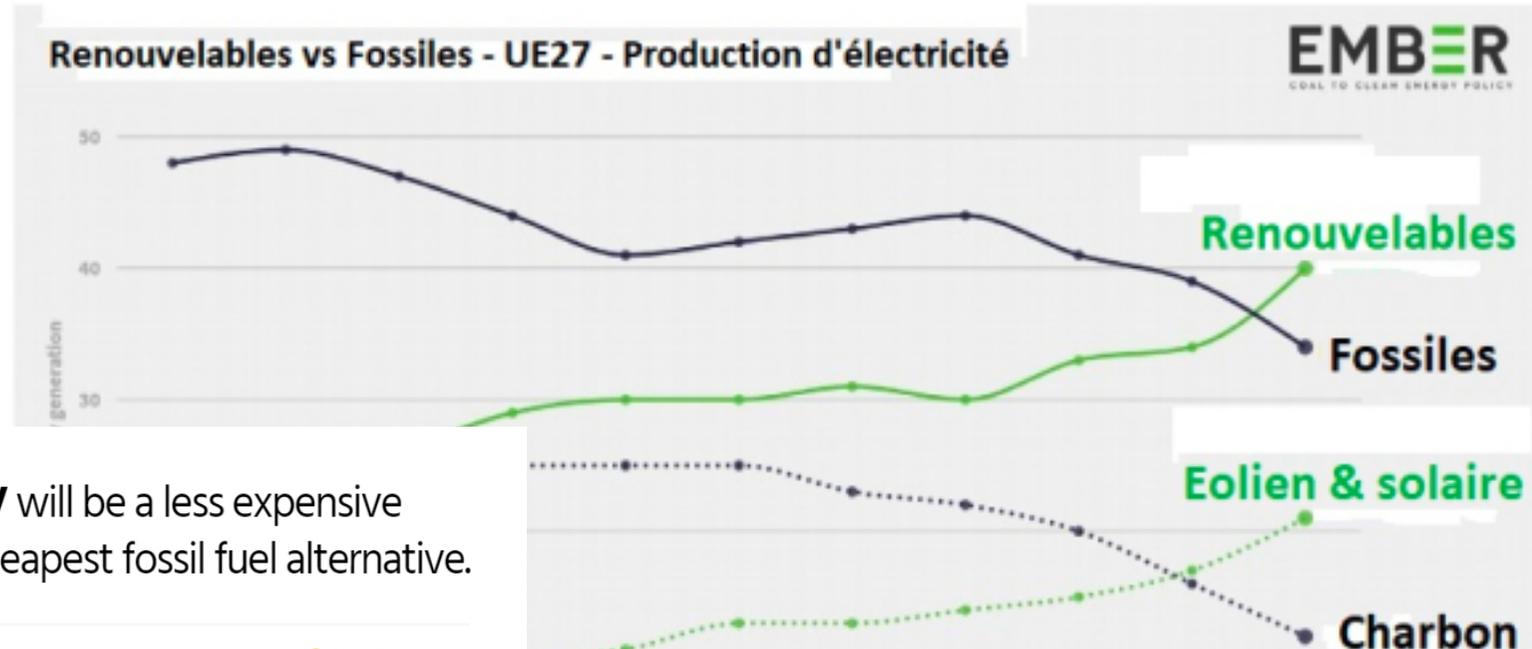
Production des ENR/Fossiles en Europe des 27 – Electricité. Exemple du Portugal 80,7 % ENR premier trimestre 2021

Depuis 2020 l'éolien terrestre et le solaire PV est moins cher que le moins cher des solutions Fossiles

By 2020, **onshore wind** and **solar PV** will be a less expensive source of new electricity than the cheapest fossil fuel alternative.



RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2018 IRENA International Renewable Energy Agency

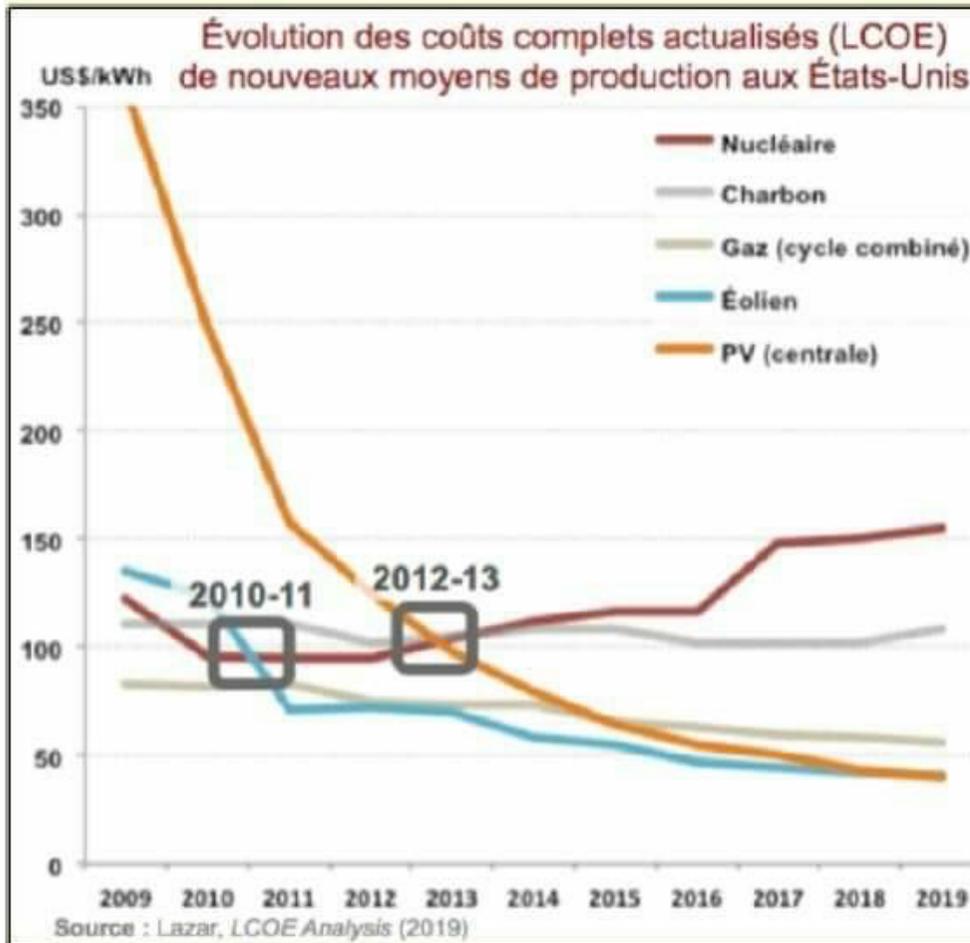


Portugal

en GWh	Consommation	Eolien	Hydraulique	Photovoltaïque	Total EnR				
Janvier	4 987,0	1 450,6	29,1%	1 715,5	34,4%	73,6	1,5%	3 239,7	65,0%
Février	3 999,6	1 461,8	36,5%	2 708,6	67,7%	70,2	1,8%	4 240,6	106,0%
Mars	4 073,8	1 070,6	26,3%	1 843,9	45,3%	141,3	3,5%	3 055,8	75,0%
3 mois 2021	13 060,4	3 983,0	30,5%	6 268,0	48,0%	285,1	2,2%	10 536,1	80,7%
http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/Paginas/CIHomePage.aspx									
2020	48 791,5	12 051,2	24,7%	13 804,7	28,3%	1 271,7	2,6%	27 127,6	55,6%

Et aux USA ?

La face positive des énergies vertes



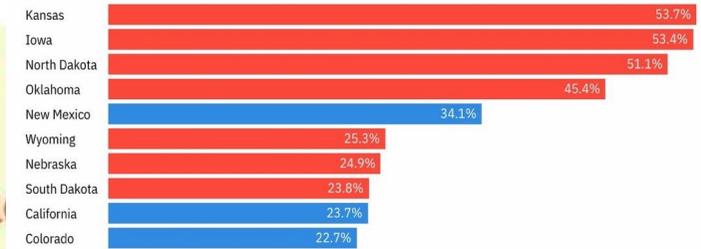
Photovoltaïque
et éolien
produisent de
l'électricité
moins chère
qu'avec les
fossiles.

Le nucléaire
est 3 fois
plus onéreux.

Jl Gaby déc 2020

US red states among wind + solar leaders

Wind and solar generation as percentage of electricity consumption (2019)

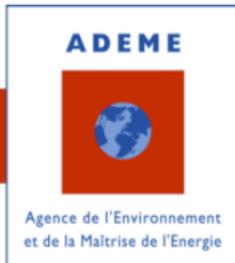


Source: Environment America Research & Policy Center

ENERGY MONITOR



Non les ENR n'utilisent pas de terres rares !



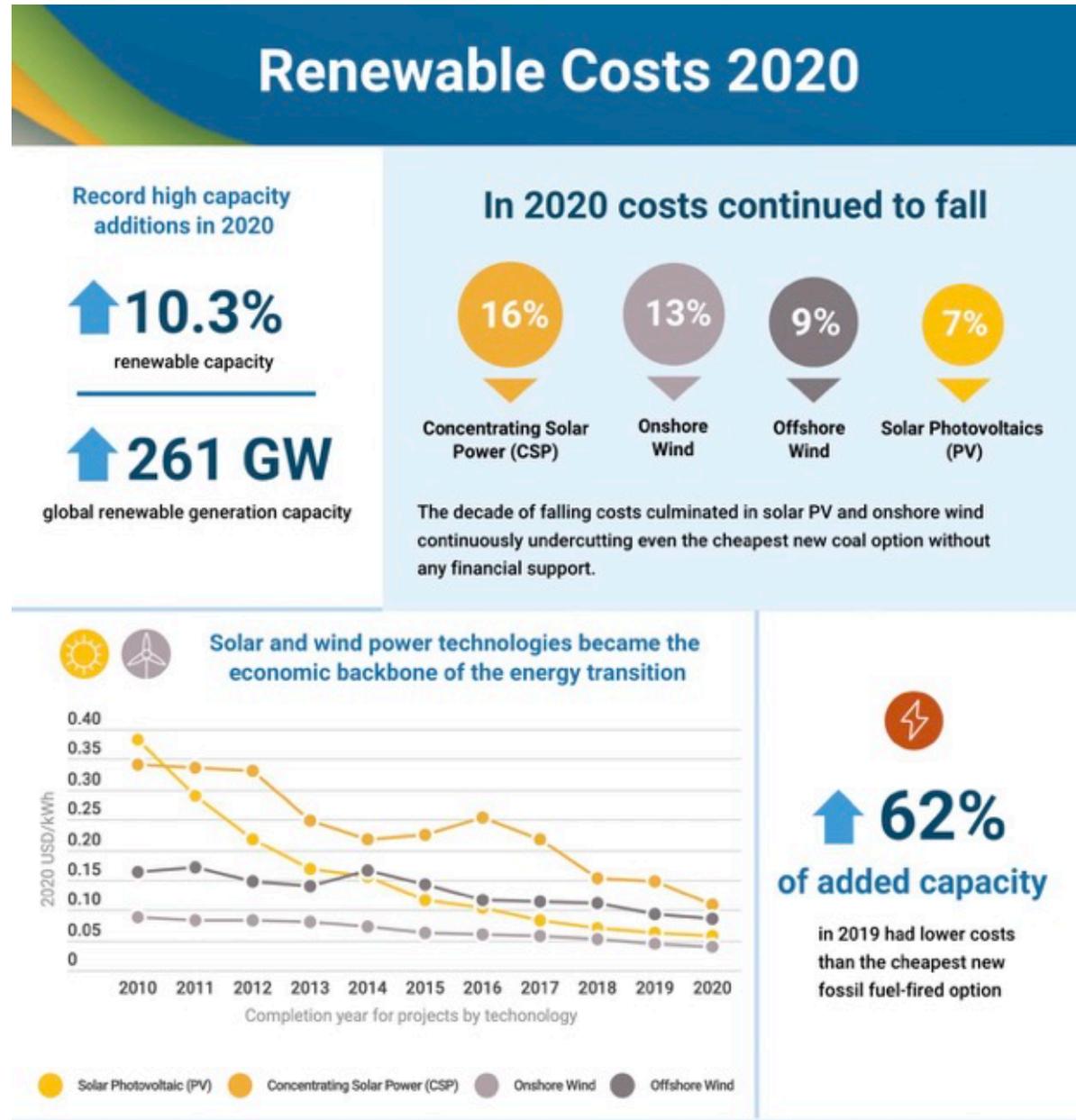
FICHE TECHNIQUE

TERRES RARES, ENERGIES RENOUVELABLES ET STOCKAGE D'ENERGIE

(I)

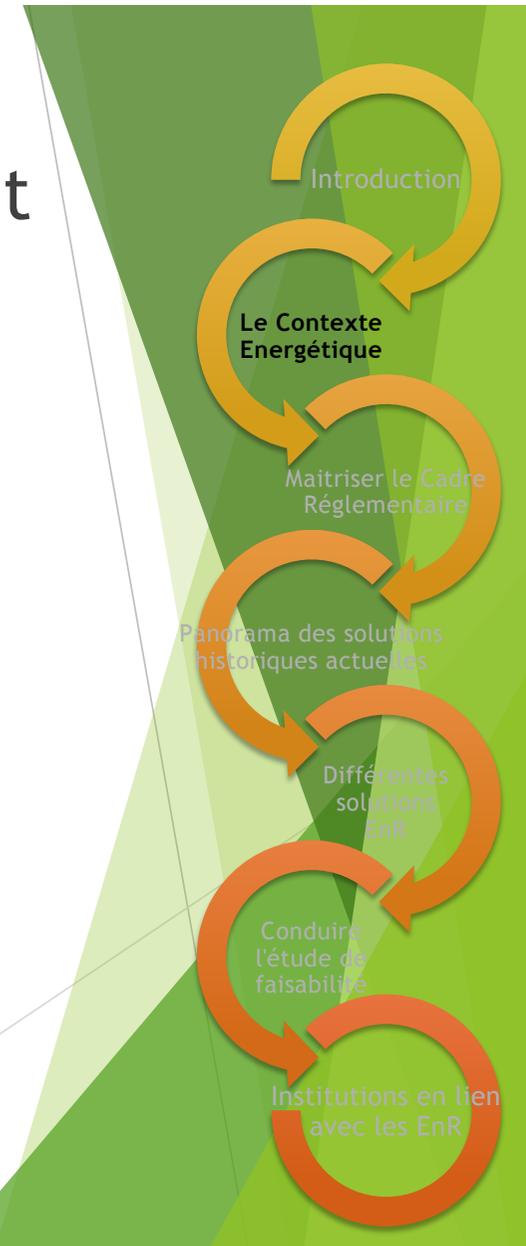
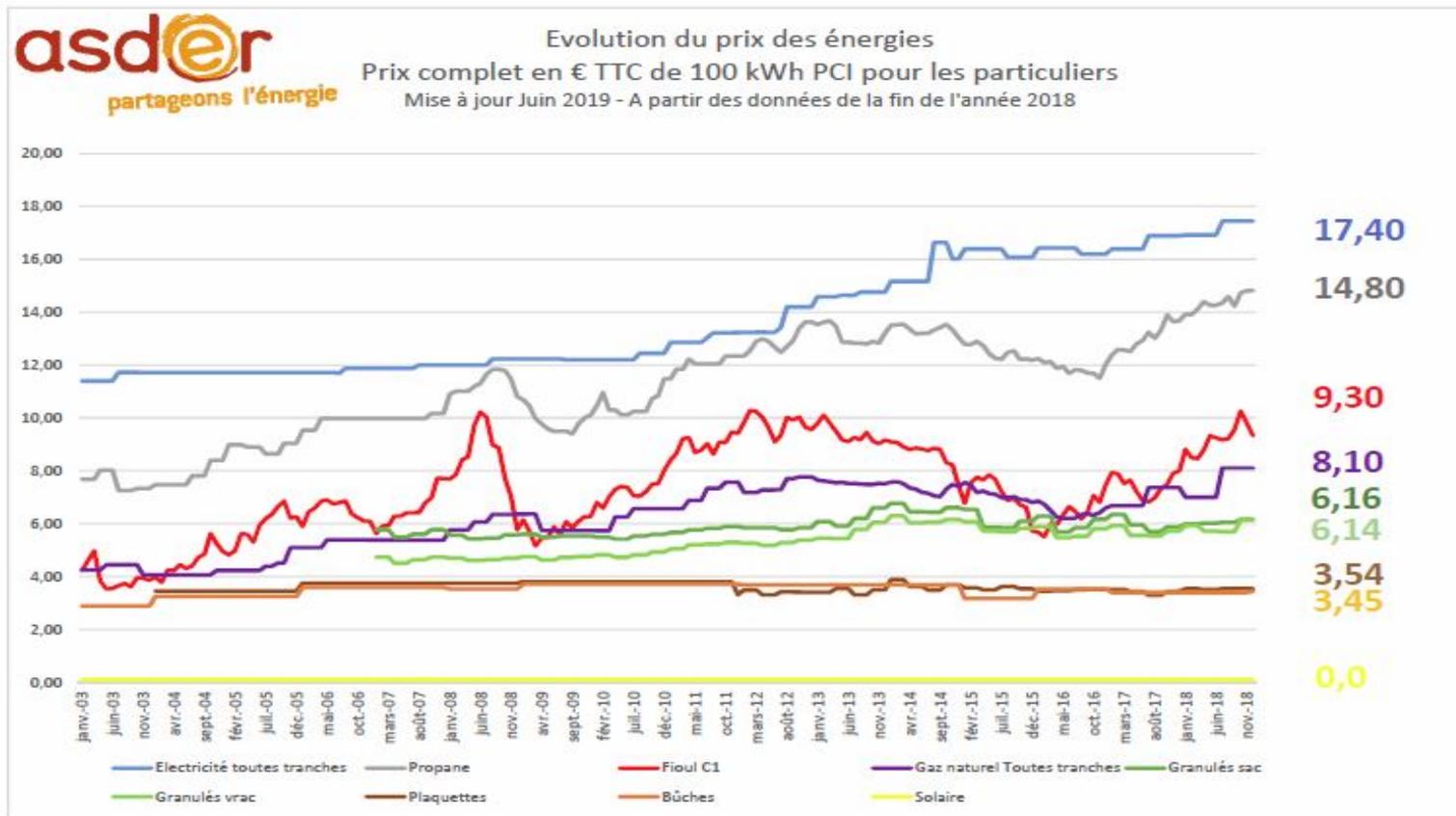
Novembre 2019⁽ⁱ⁾

Coût des énergies renouvelables : sont-elles concurrentielles avec les coûts du nucléaire ou des énergies fossiles?

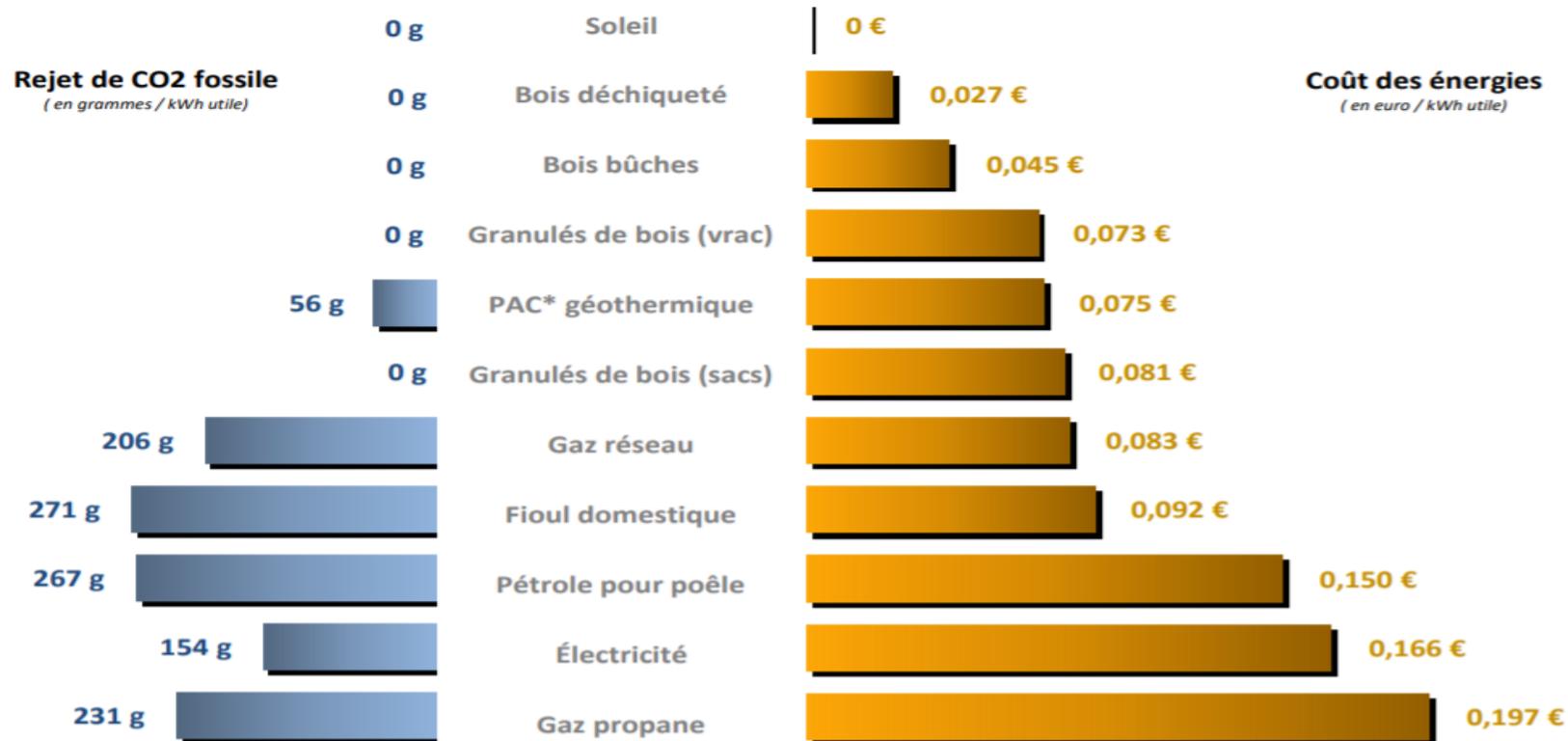


Prix des énergies ?

- Ordre d'idées du prix des énergies actuellement et des évolutions



Prix des énergies



* PAC : Pompe à chaleur

Source : <https://www.ajena.org/ressources/argus-energie.htm>

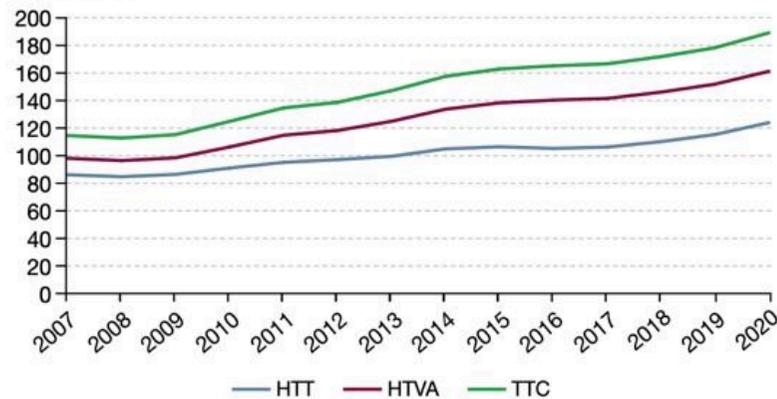
Prix des énergies Particuliers ou Pro

Pour les particuliers
les taxes ont augmenté +216%
entre 2007 et 2020

Pour les pro
plus on consomme et
moins on paye de taxes

Graphique 1 : évolution du prix de l'électricité pour les ménages en France

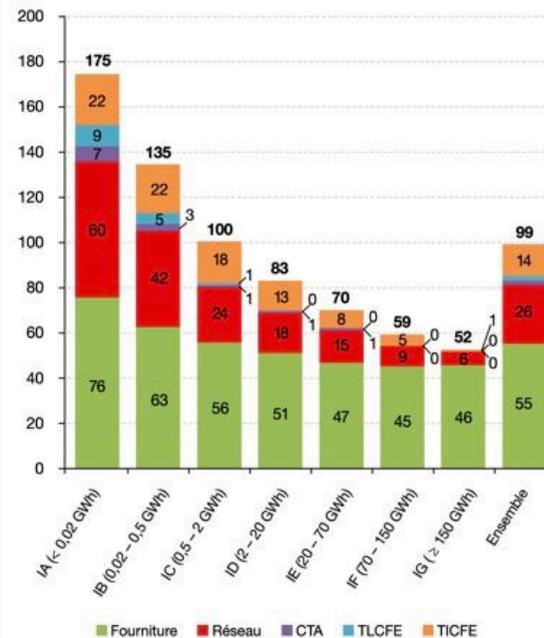
En €/MWh



Source : SDES, enquête transparence des prix du gaz et de l'électricité

Graphique 4 : prix hors TVA de l'électricité et ses composantes pour les entreprises en France suivant le niveau de consommation en 2020

En €/MWh

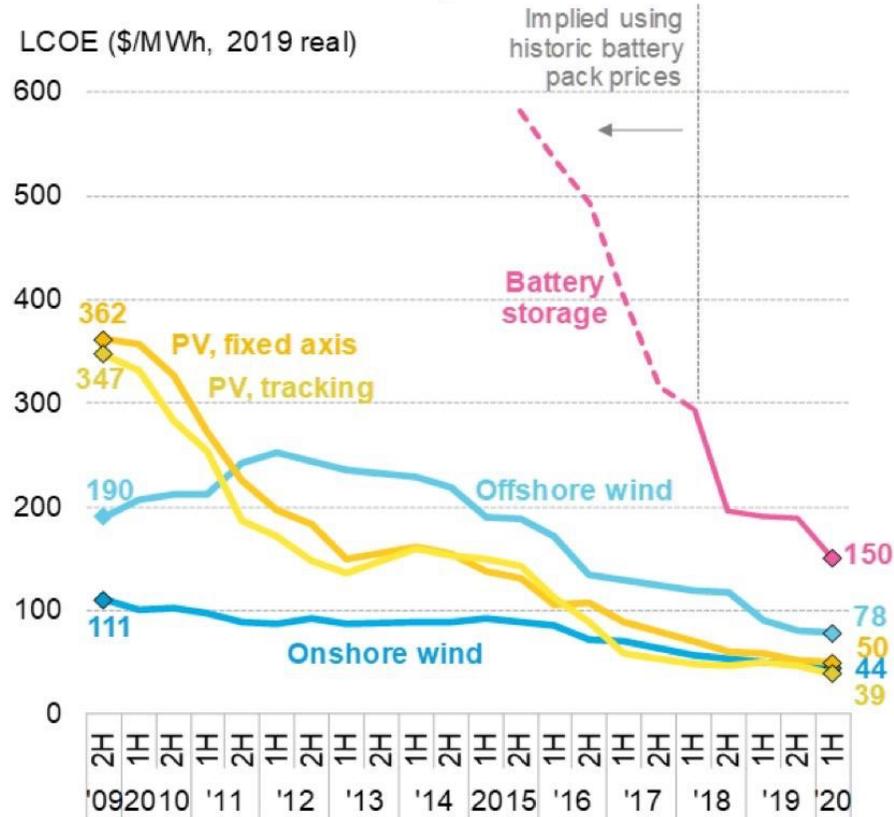


Note : les clients non résidentiels sont répartis suivant des tranches de consommation annuelle IA à IG, définies par le règlement européen sur la transparence des prix du gaz et de l'électricité.

Source : SDES, enquête transparence des prix du gaz et de l'électricité

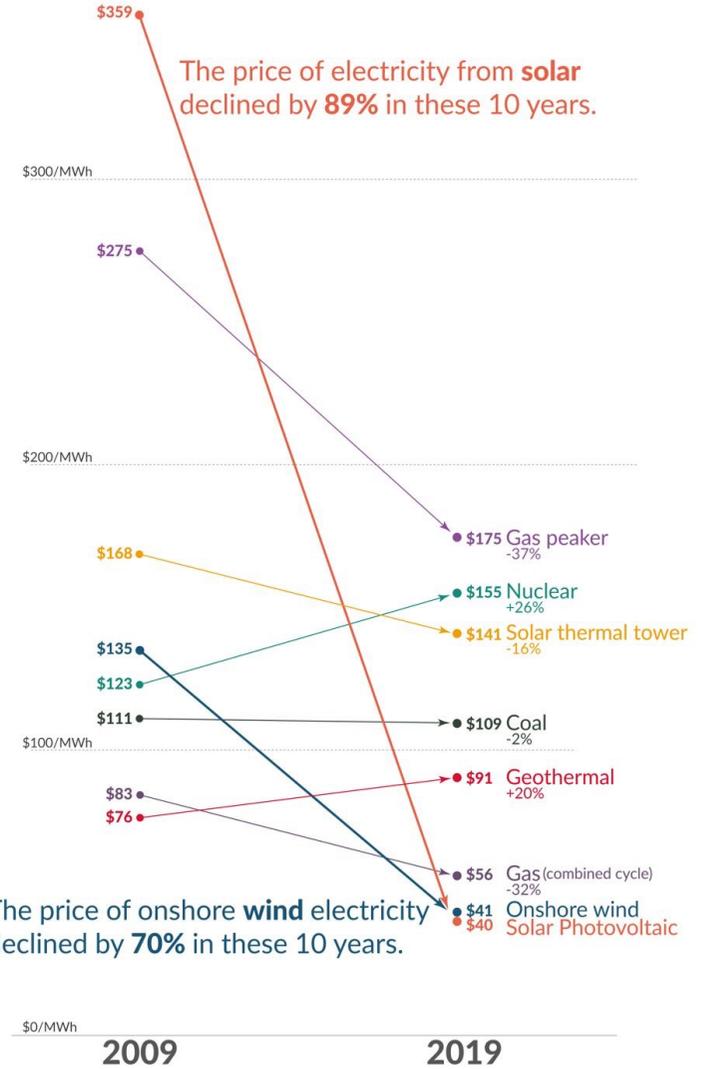
L'évolution du prix des énergies

Figure 2: Global LCOE benchmarks – PV, wind and batteries



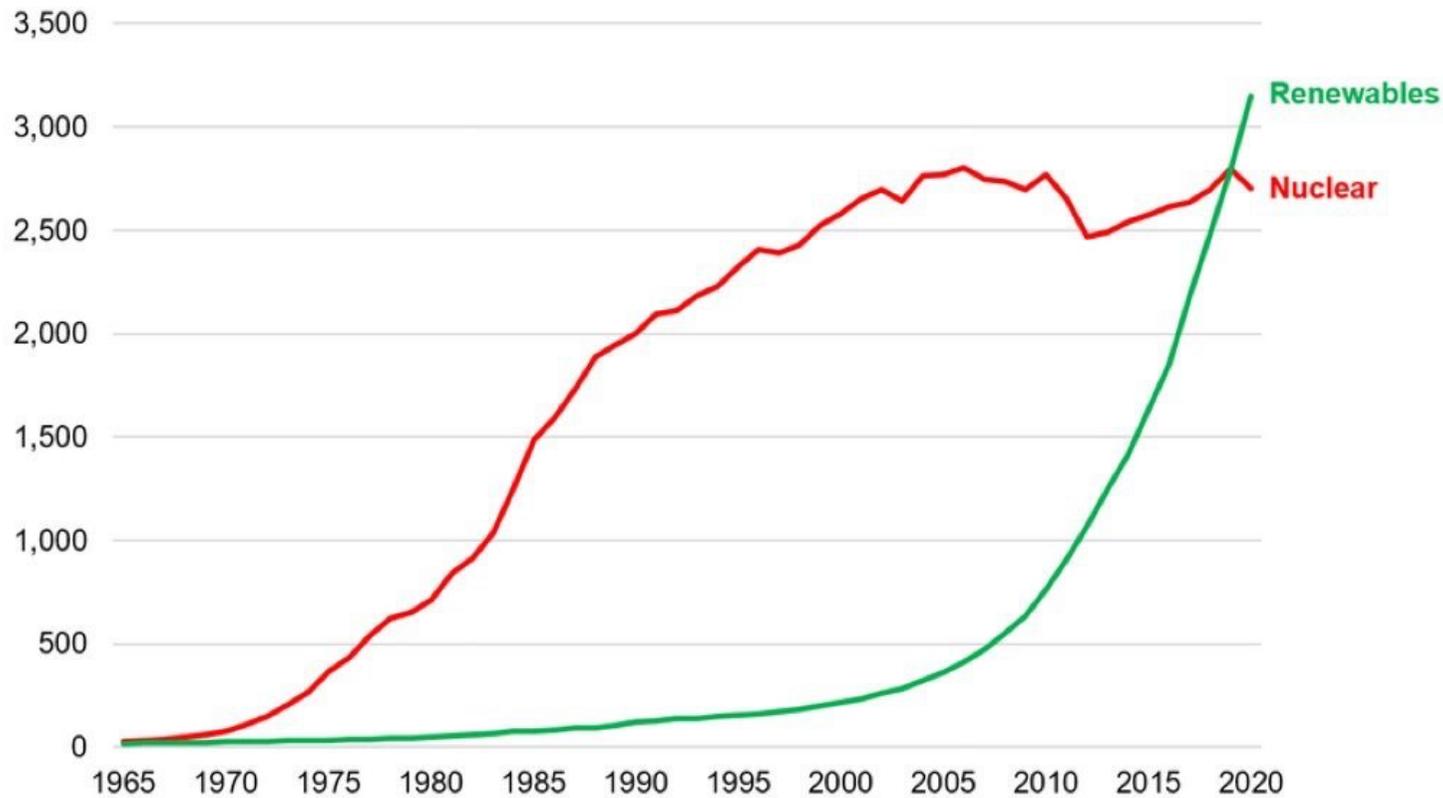
Source: BloombergNEF. Note: The global benchmark is a country weighted-average using the latest annual capacity additions. The storage LCOE is reflective of utility-scale projects with four-hour duration, it includes charging costs.

The price of electricity from new power plants Electricity prices are expressed in 'levelized costs of energy' (LCOE). LCOE captures the cost of building the power plant itself as well as the ongoing costs for fuel and operating the power plant over its lifetime.



Quel avenir pour les énergies renouvelables : quel mix énergétique pour 2050? 100 % ENR, est-ce-possible?

Global power generation (TWh)



Source: BP Statistical Review of World Energy 2021



Les prévisions concernant les ENR en France en 2050

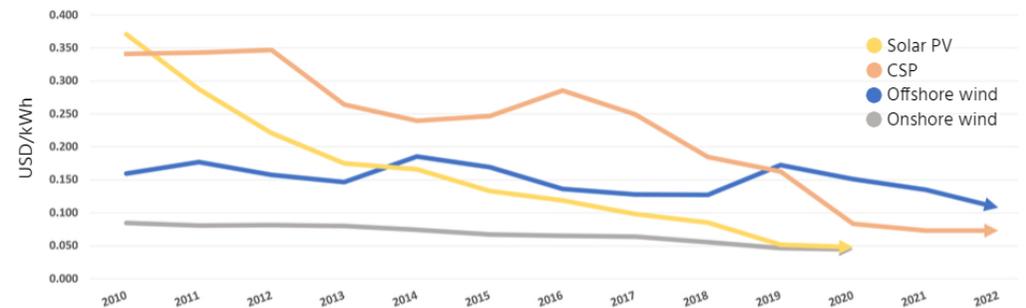


Conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050

Synthèse

Source : www.industrie.gouv.fr

By 2020, **onshore wind** and **solar PV** will be a less expensive source of new electricity than the cheapest fossil fuel alternative.



Prévisions de l'AEIA au niveau mondial en 2050

Solar PV and wind energy lead the transition

Primary energy supply in the 100% renewable energy system will be covered by a mix of sources, with solar PV generating 69%, followed by wind energy (18%), biomass and waste (6%), hydro (3%) and geothermal energy (2%) by 2050 (see Figure KF-2). Wind energy and solar PV make up 96% of total electricity, and approximately 88% of the total energy supply, which will have a synergetic balancing effect.

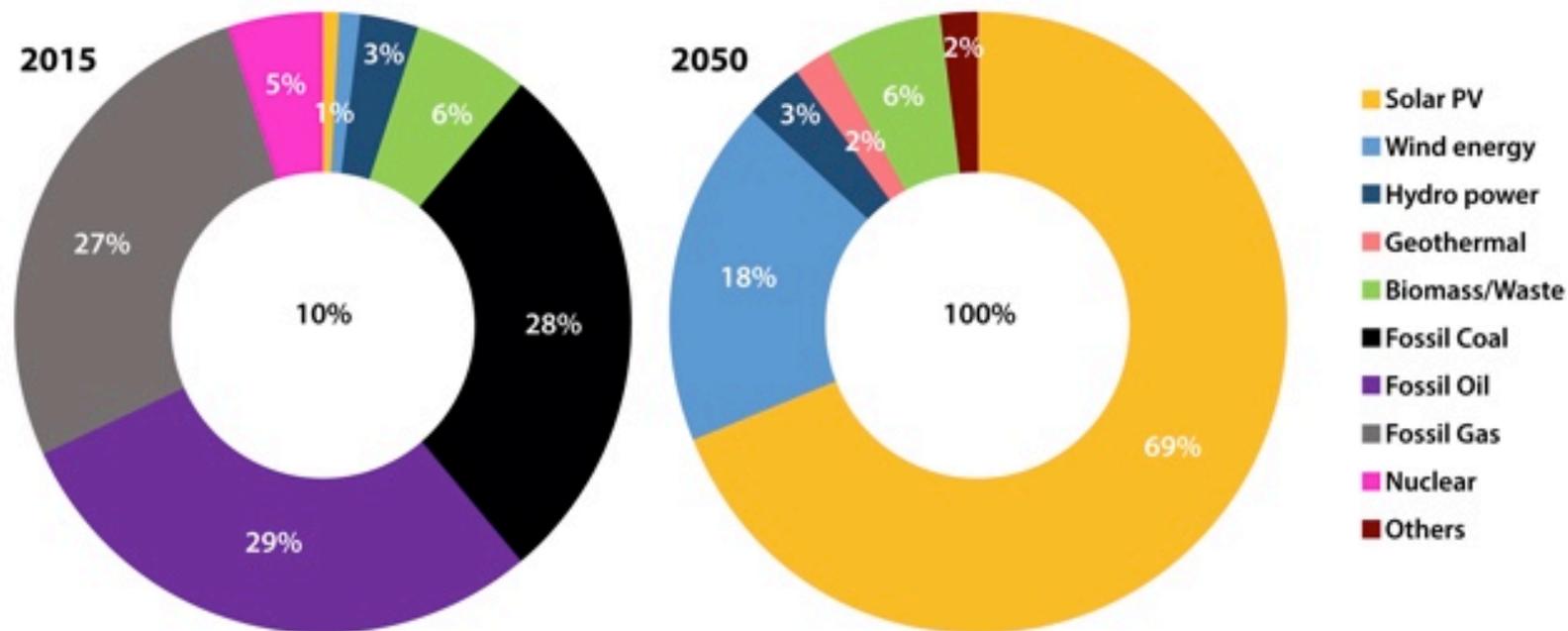


Figure KF-2: Shares of primary energy supply in 2015 and 2050.

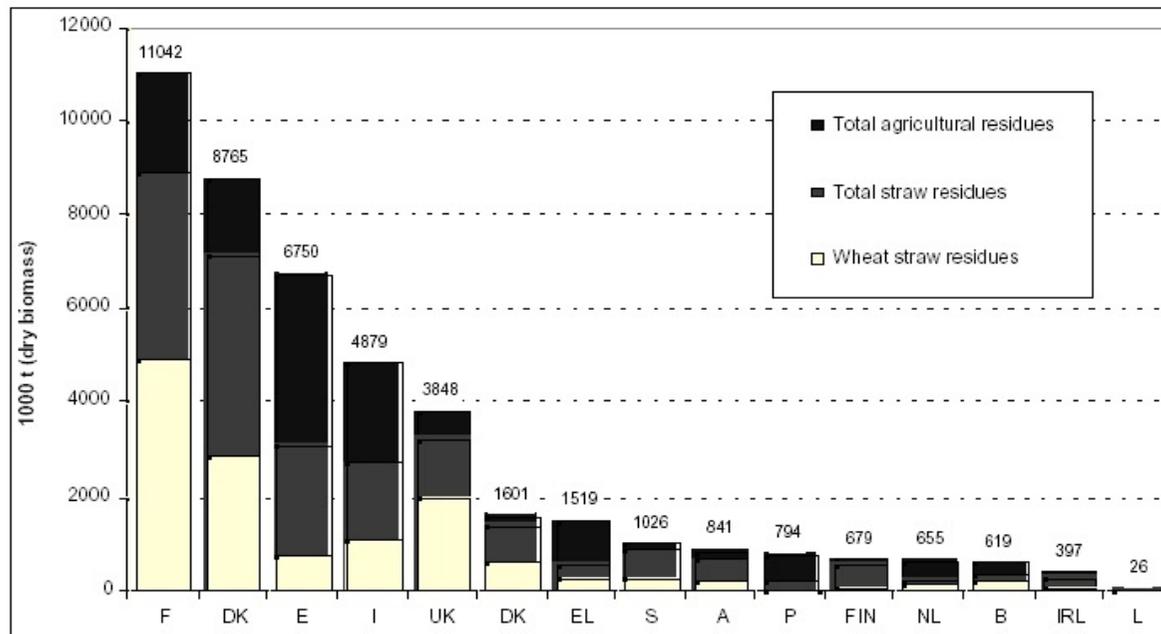
BIOGAZ et METHANISATION

Le biogaz

Etat des lieux : la ressource

Le Grand Ouest Bretagne, Pays de Loire, Normandie:
la 1^{ère} Région productrice de déchets d'origine
animale en France

- 65 626 ktonnes non valorisées !



Biomasse : le Biogaz

Potentiel - suite



- De multiples déchets/sous produits valorisables énergétiquement
- De multiples solutions techniques pour de multiples usages finaux :

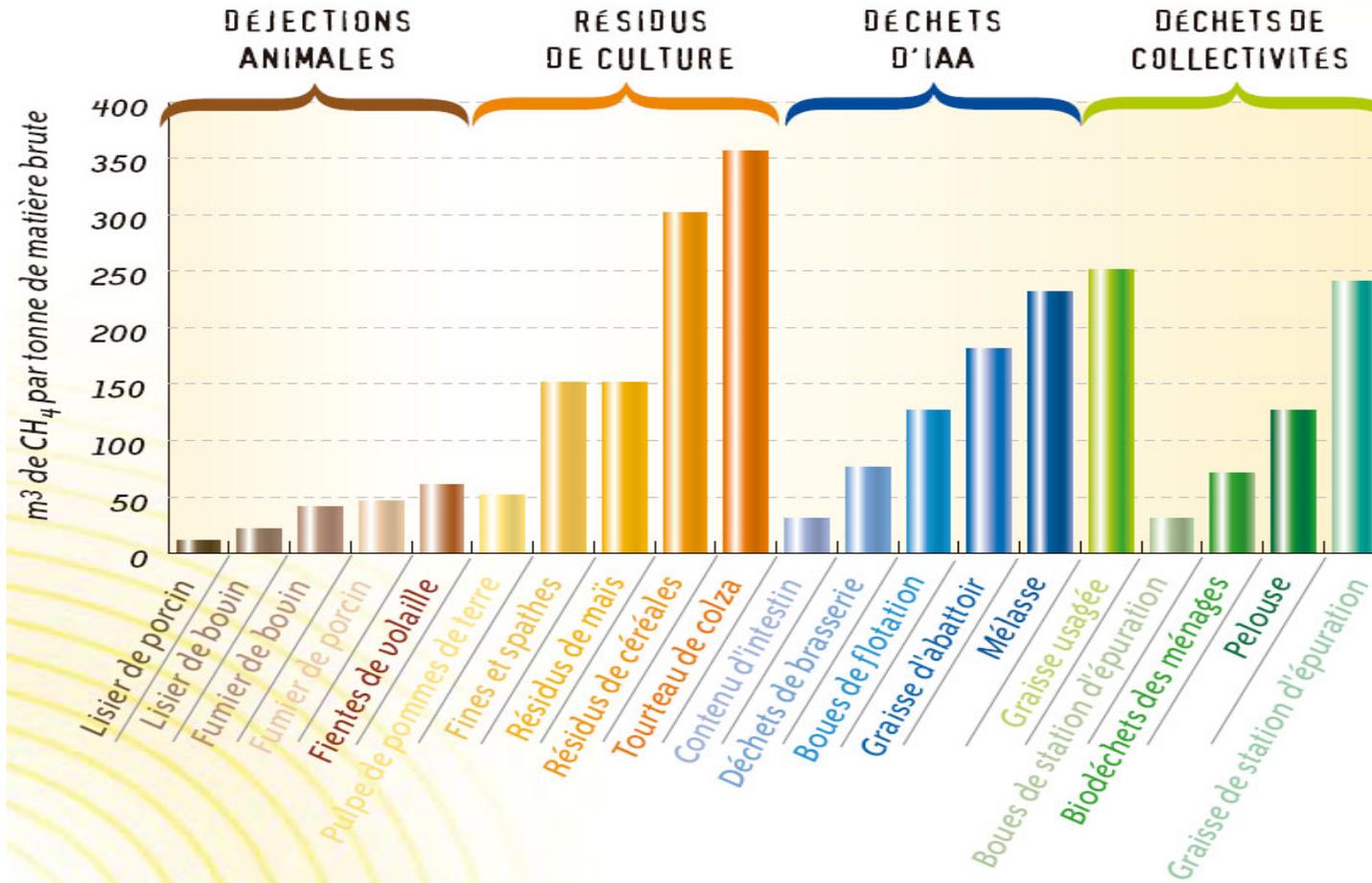
- Chaleur,
- Électricité (réinjection)
- Carburant.
- Gaz (réinjection)

Des **impératifs** pour envisager le développement de la filière :

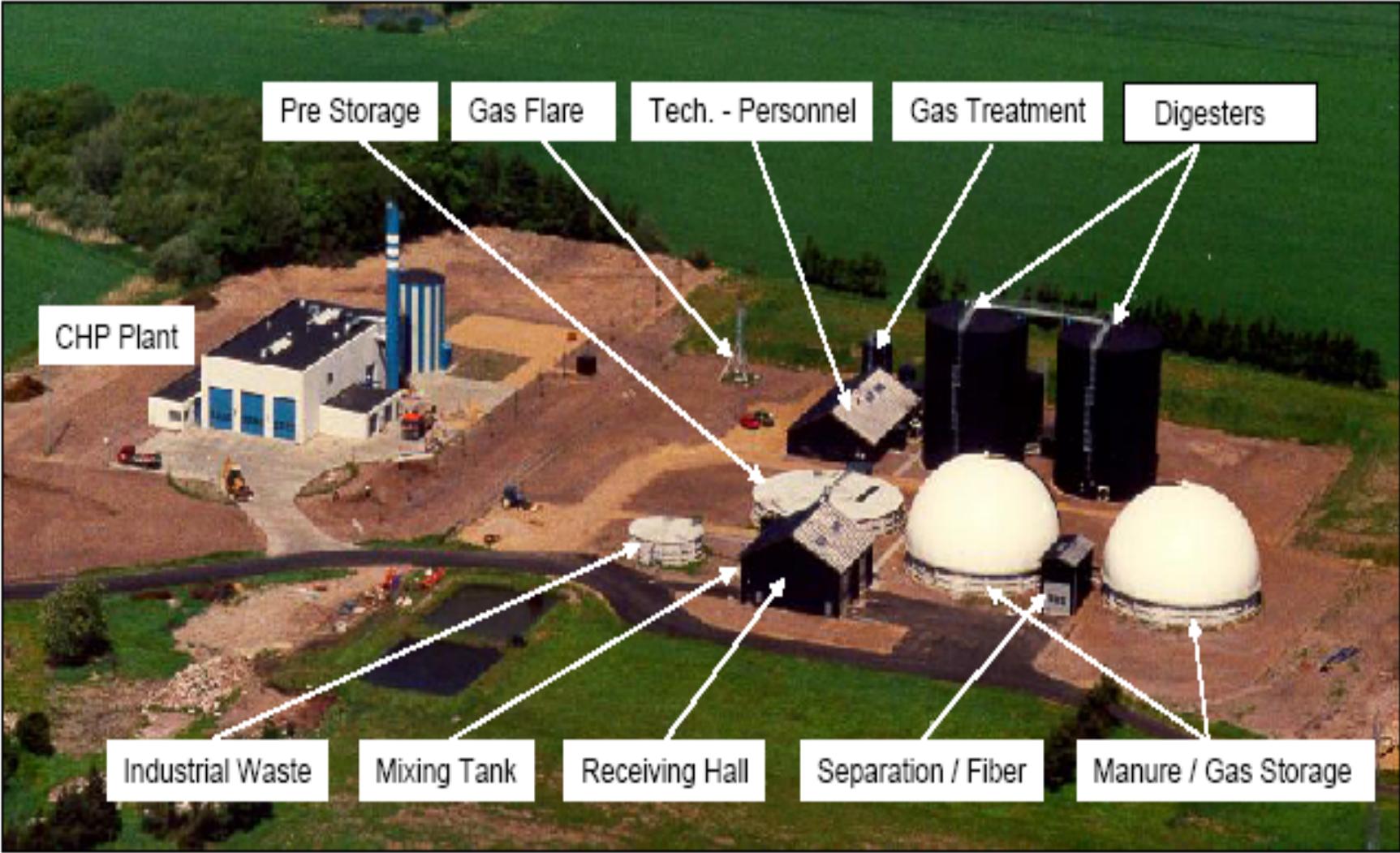
- Gestion partagée des sous produits
- Vision fine des besoins énergétiques du territoire

Biomasse : le Biogaz

Potentiel - suite



Un exemple Danois



Autres exemples en France

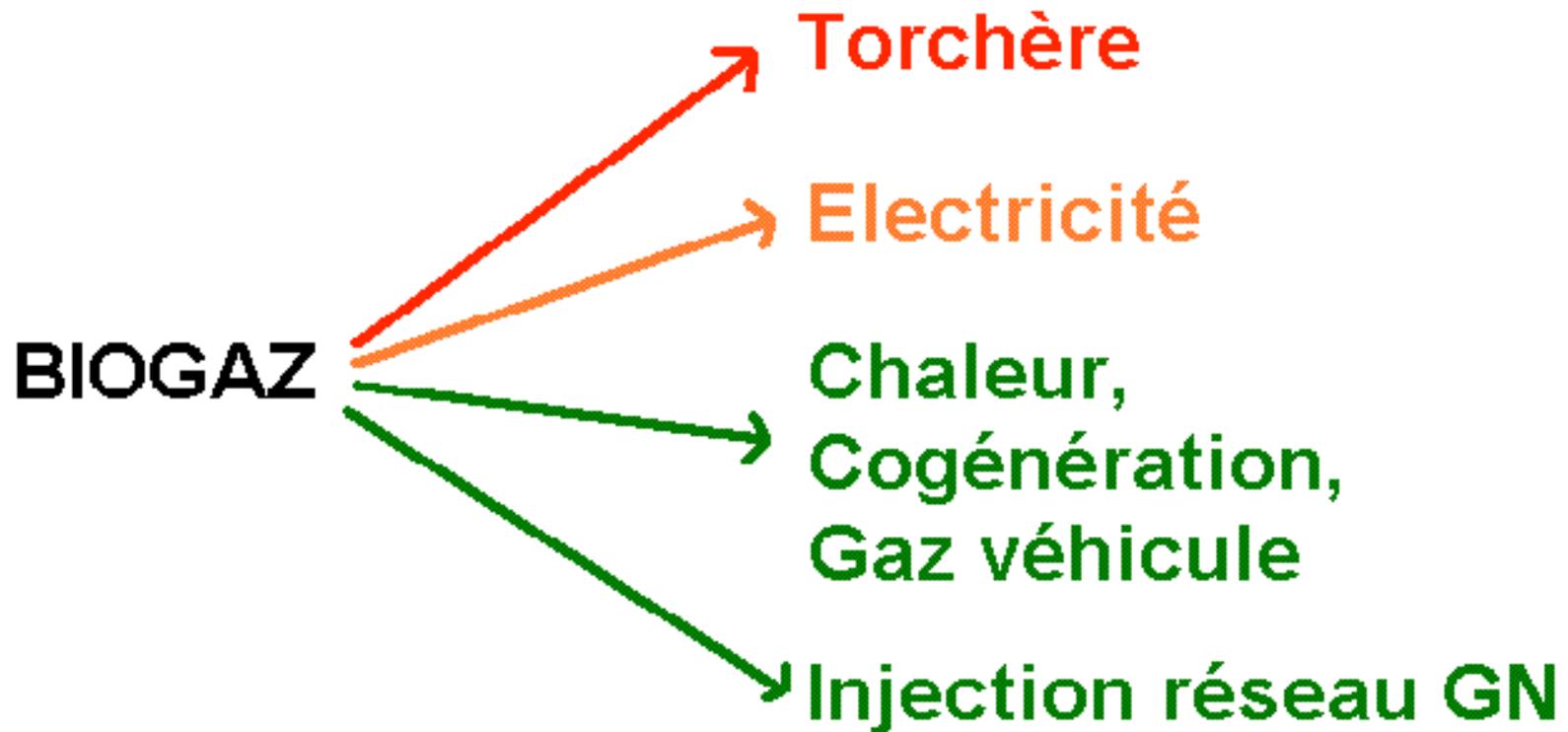
réacteur infiniment
mélangé - digesteur
gazomètre, 15m³/jour
d'effluent -
5000m³/an de lisiers de
porcs - AGPM,
Montardon (F-65)



Réacteur continu infiniment mélangé
intérieur d'une fosse/digesteur pour effluents d'élevage
Schmack (A)

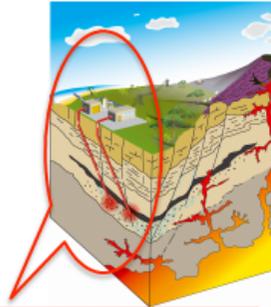


Les débouchés énergétiques du Biogaz

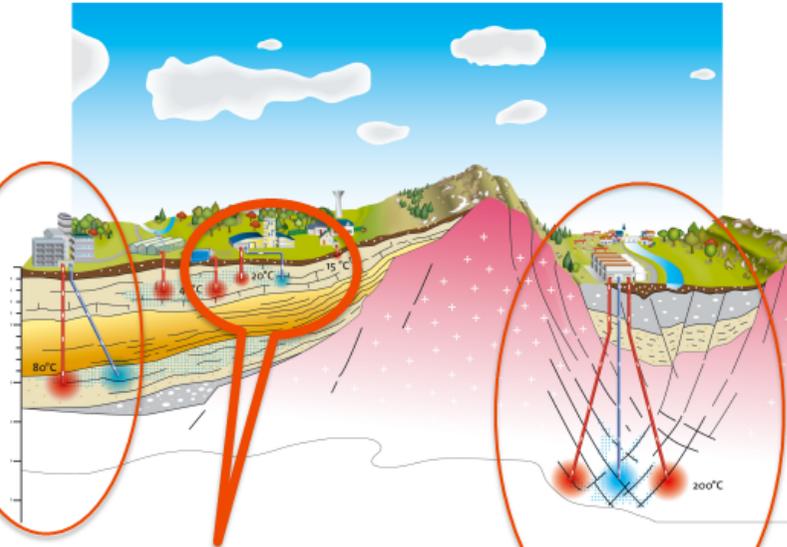




Typologies usuelles



Géothermie Haute Energie
Production d'électricité
Champs naturels de vapeur

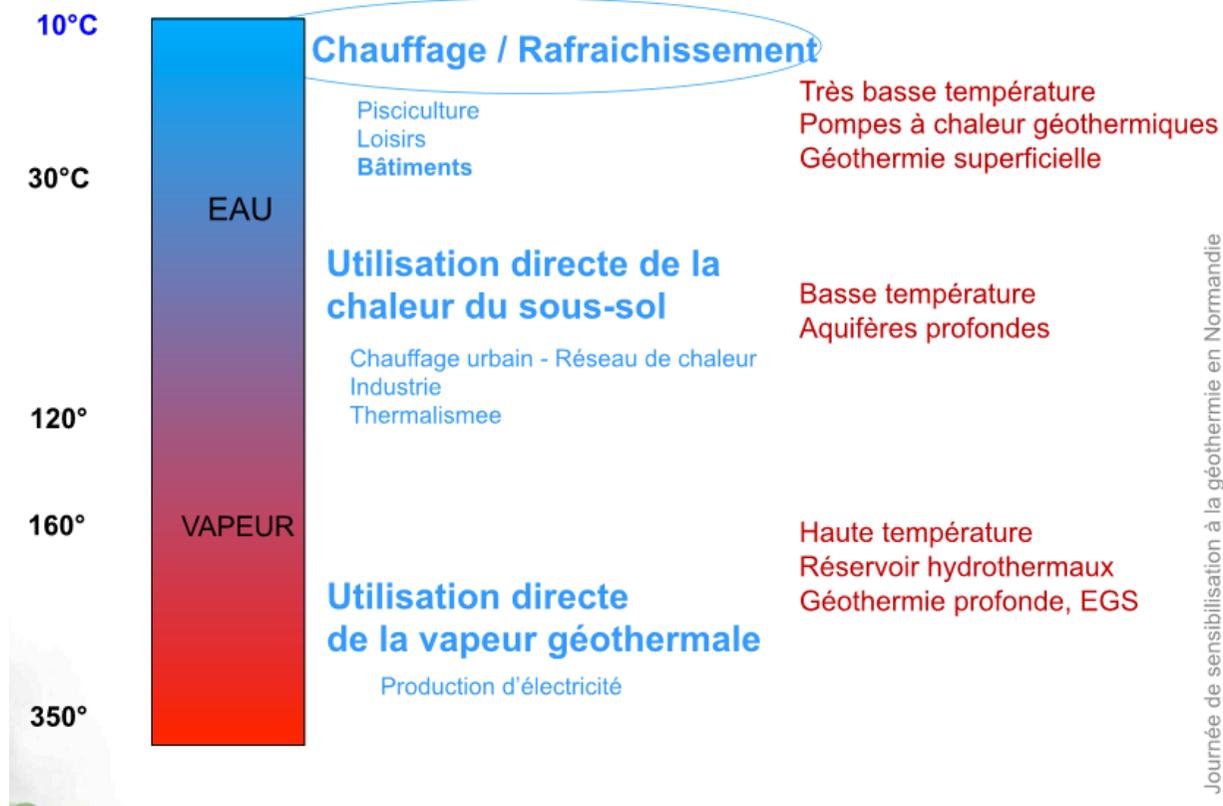


Géothermie Basse Energie
Chauffage direct
Aquifères profonds

Géothermie Très Basse Energie
Chauffage et/ou rafraîchissement
Pompes à chaleur
Sous-sol ou eau souterraine

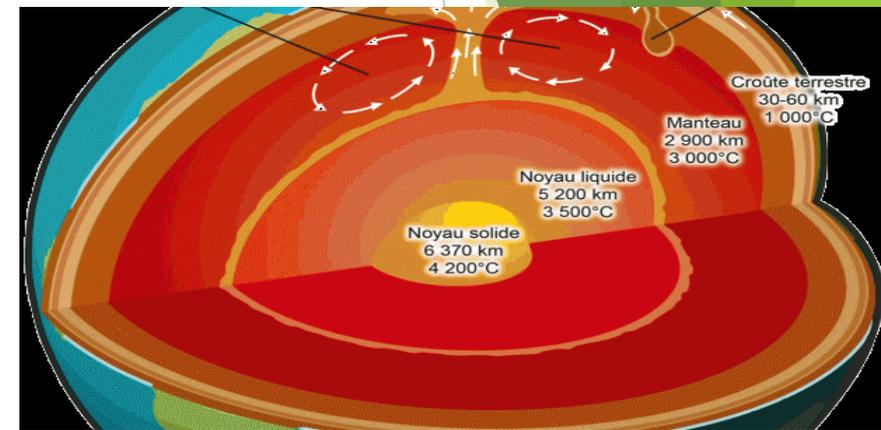
Géothermie profonde - EGS
Socles ou bassins sédimentaires
+/- fracturés et +/- « secs »
Electricité - Chauffage

Chaleur de la Terre, température de la ressource

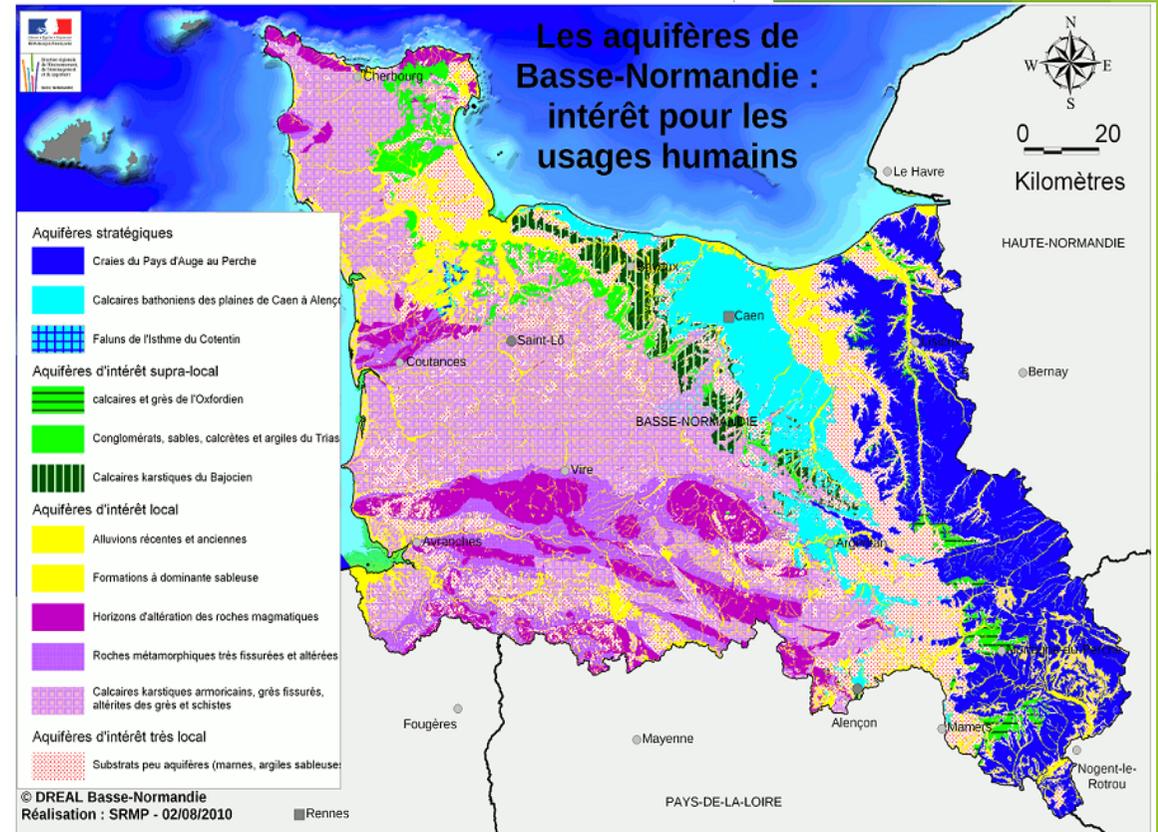
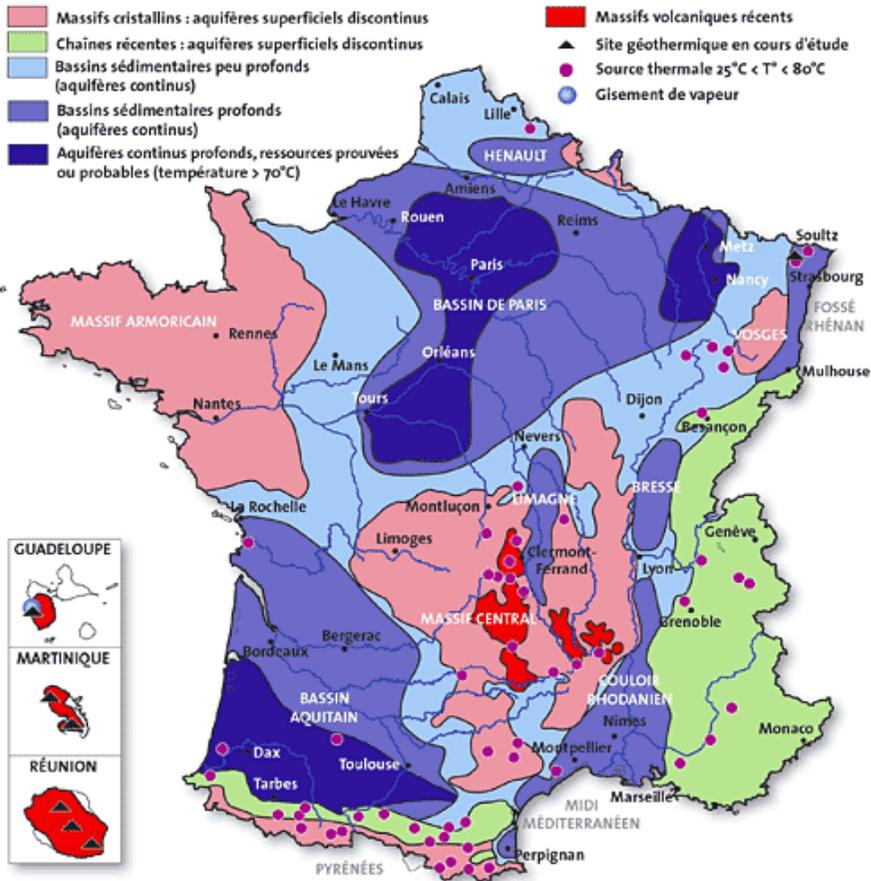


La chaleur provient de la désintégration des éléments radioactifs du noyau

- ▶ Plus de 50% de l'énergie dissipée provient de la fission nucléaire
- ▶ La chaleur est transmise partout à la surface par conduction
 - phénomène qui est lent.
 - (+ par convection aux frontières des plaques lithosphériques)
- Bien dimensionner les systèmes de capteurs horizontaux aux besoins de l'habitat pour ne pas dépendre des événements climatiques pour la recharge thermique des terrains



La géothermie en France et en Normandie



Cartographie géologique de la France (source : BRGM).
 Les principales zones géothermiques en France sont les bassins parisien et aquitain, et les espaces montagneux (Massif Central, Pyrénées et Alpes).



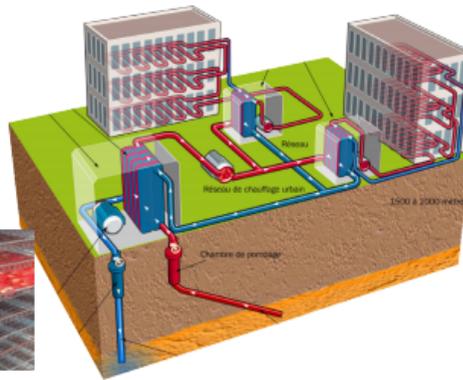
Géothermie Basse Energie

Utilisation directe de la chaleur des nappes profondes

Aquifères profonds des bassins sédimentaires



brgm Des usages multiples



ET géothermie très basse énergie



BOIS ENERGIE



Le bois énergie

Une filière en plein développement

Développement accès sur le bois déchiqueté

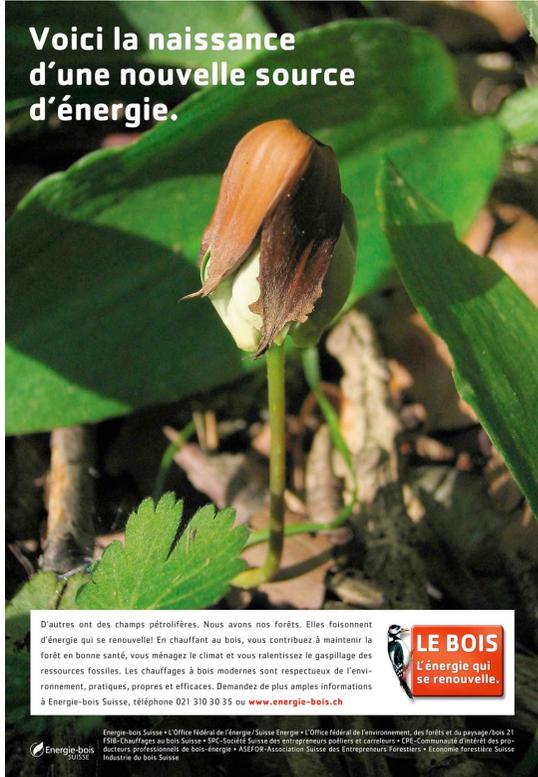
- Meilleure valorisation du bois de haie (30% en plus)
- Préservation du paysage bocager
- Ressource importante et bien répartie
- Convient parfaitement aux chaudières automatiques de proximité (petite et moyenne puissance): système de chauffage confortable et économique
- Développement aval tourné vers les exploitations agricoles et les petites collectivités



Le bois énergie

Une filière en plein développement

- Le bois plaquette, une énergie propre, économique, moderne : oui mais...
- ... un combustible aux propriétés très variables
- ...un produit aux multiples enjeux



Voici la naissance d'une nouvelle source d'énergie.

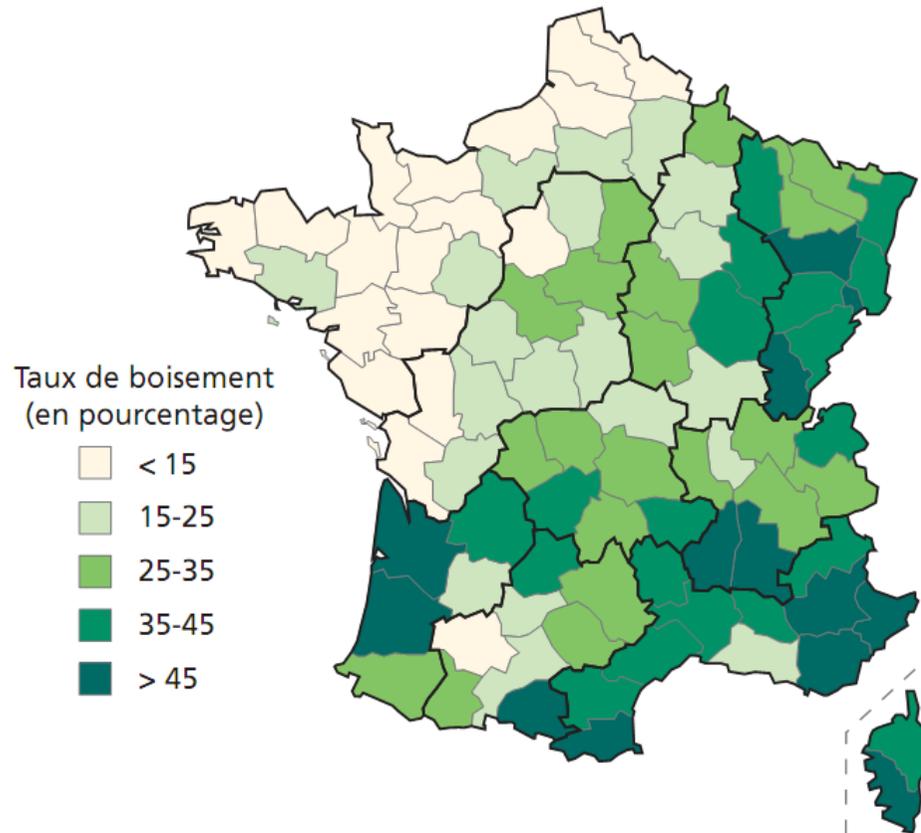
D'autres ont des champs pétrolifères. Nous avons nos forêts. Elles foisonnent d'énergie qui se renouvelle! En chauffant au bois, vous contribuez à maintenir la forêt en bonne santé, vous ménagez le climat et vous ralentissez le gaspillage des ressources fossiles. Les chauffages à bois modernes sont respectueux de l'environnement, pratiques, propres et efficaces. Demandez de plus amples informations à Energie-bois Suisse, téléphone 021 310 30 35 ou www.energie-bois.ch

LE BOIS
L'énergie qui se renouvelle.

Energie-bois Suisse • L'Office fédéral de l'énergie / Suisse Energie • L'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage/Bois 21
FiBL-Chauffages au bois Suisse • SPC-Société Suisse des entrepreneurs peuliers et charbonniers • CFC-Communauté d'intérêt des producteurs professionnels de bois-énergie • ASEP-Association Suisse des Entrepreneurs Forestiers • Economie forestière Suisse
Industrie du bois Suisse

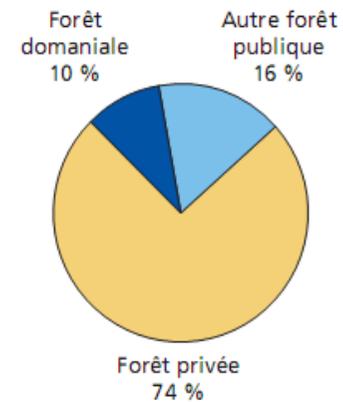


La forêt française



Sources : IFN, ONF

- Exploitation forestière (2017) : 64 millions de m³/an
- Accroissement de 40 000 ha/an
- Séquestration de 65 millions de tonnes de CO₂ par an
- **Production brute annuelle (2017) : 109 millions de m³/an**



Grenelle de l'environnement

Les objectifs du grenelle de l'environnement pour le chauffage au bois domestique :

Remplacer les appareils existants et développer le parc d'appareils de chauffage tout en réduisant les émissions polluantes, à consommation de bois constante

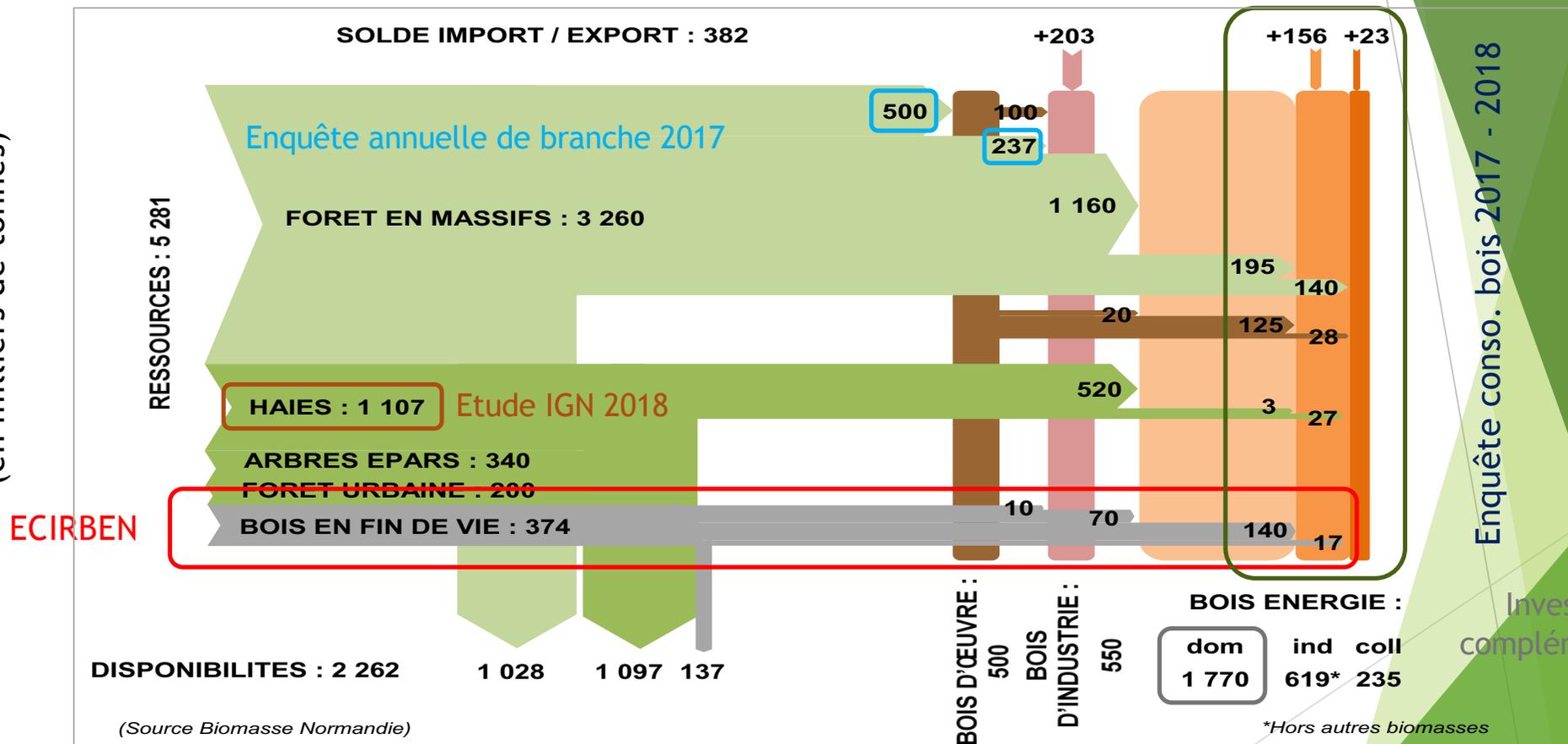
	2006	2020
Consommation annuelle Chauffage bois domestique	7,4 Mtep (5,75 millions de logements)	7,4 Mtep (9 millions de logements)

Source : Rapport final du comité opération¹⁰

La ressource normande



(en milliers de tonnes)

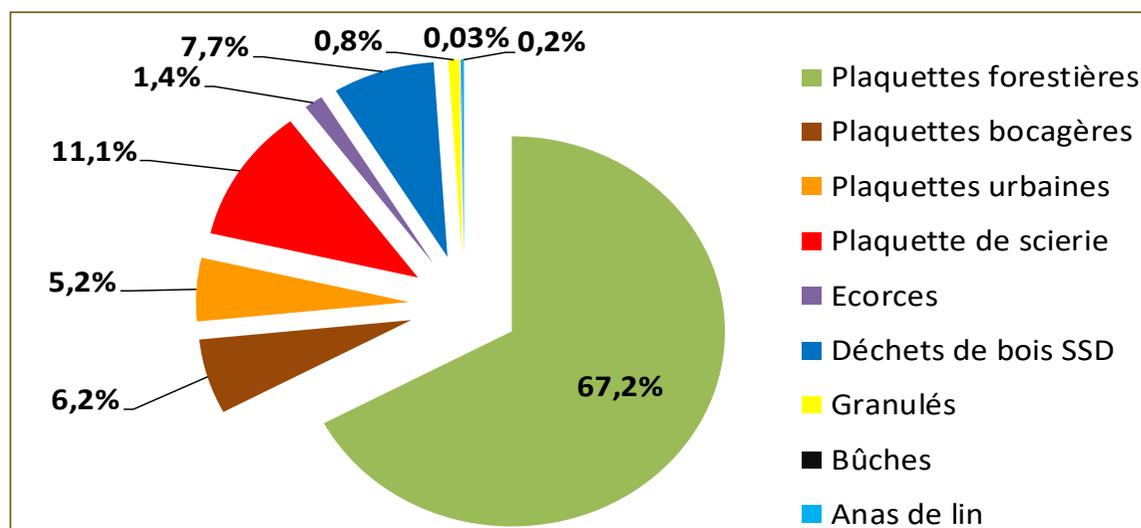


(Source Biomasse Normandie)

La ressource normande



Répartition des tonnages livrés par type de ressource pour le chauffage collectif



- 90 % des volumes consommés proviennent de Normandie pour le chauffage collectif (80 % au global)
- La part restante vient des régions limitrophes (Ile-de-France, Bretagne, Hauts-de-France, Pays de la Loire, Centre-Val de Loire)

► Le rayon d'approvisionnement moyen constaté sur la saison de chauffe 2017 - 2018 est de **85 km pour les chaufferies collectives**

Pouvoir calorifique

Pouvoir calorifique inférieur (PCI) de différents combustibles

COMBUSTIBLES	POUVOIR CALORIFIQUE	DENSITE	HYGROMETRIE
Fioul domestique	10 kWh pci/litre	845 kg/m ³	-
Gaz naturel	10 kWh pci/m ³	0,74 kg/m ³	-
Propane	12,8 kWh pci/kg	2,04 kg/m ³	-
Bois bûches	3,8 kWh pci/kg	400 kg/stère/m ³	20%
Plaquettes	3,5 kWh pci/kg	260 kg/m ³	25%
Granulés de bois	4,6 kWh pci/kg	650 kg/m ³	10%

Réseau de Chaleur CH St Hilaire du Harcouët (Manche)



Chaufferie Bois/Gaz 2 MW - Saint Hilaire du Harcouët (Manche)

SOLAIRE THERMIQUE



Le solaire

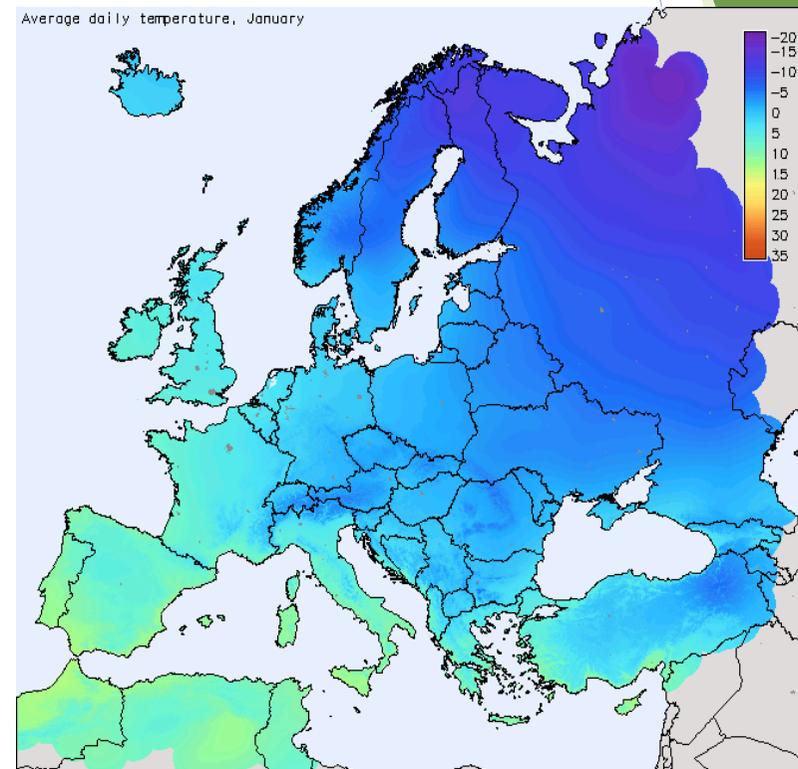
généralités

✦ Le solaire photovoltaïque :

- Usage : production électrique en injection ou en réseau autonome (site isolé)
- En France, 120 Wc/hab contre 512 Wc/hab en Allemagne

✦ Le solaire thermique :

- Usage : chauffage de l'eau ou de l'habitation
- En France, 48 m²/1000 hab contre 233 m² en Allemagne !



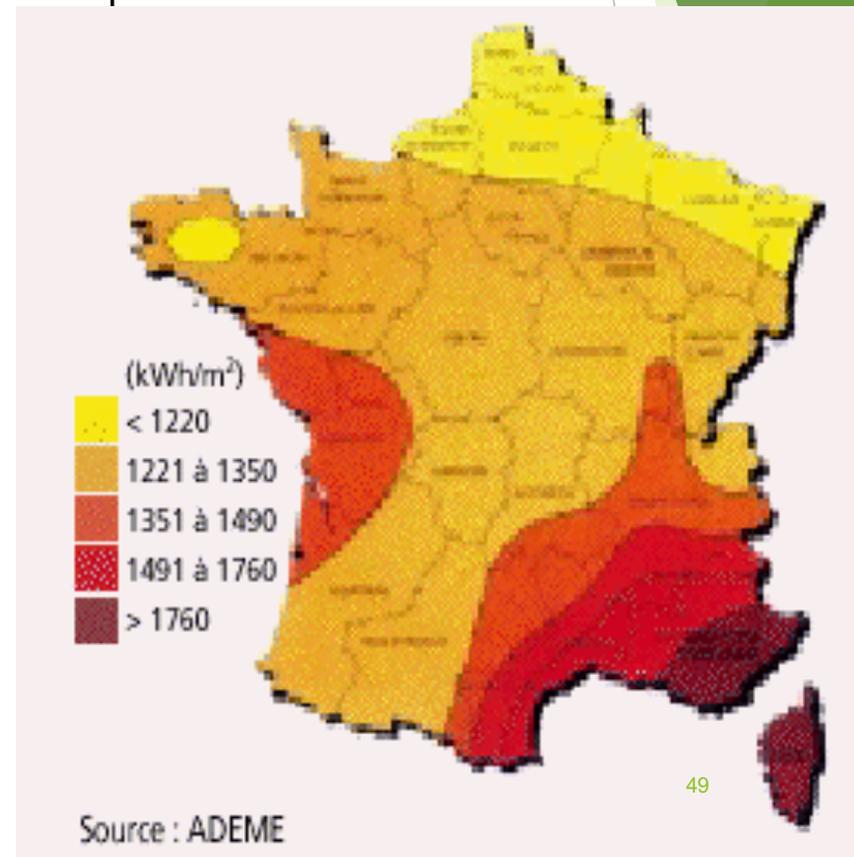
Le solaire

Généralités

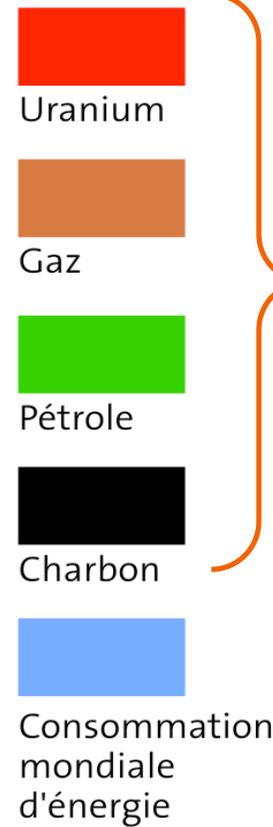
Définitions

- Solaire actif => panneaux solaires et photovoltaïques
- Solaire passif => accumulation de chaleur par des structures adaptées (habitat bioclimatiques avec vérandas, murs tampons, etc...)

Répartition de l'énergie solaire disponible en France



Le potentiel de l'énergie solaire



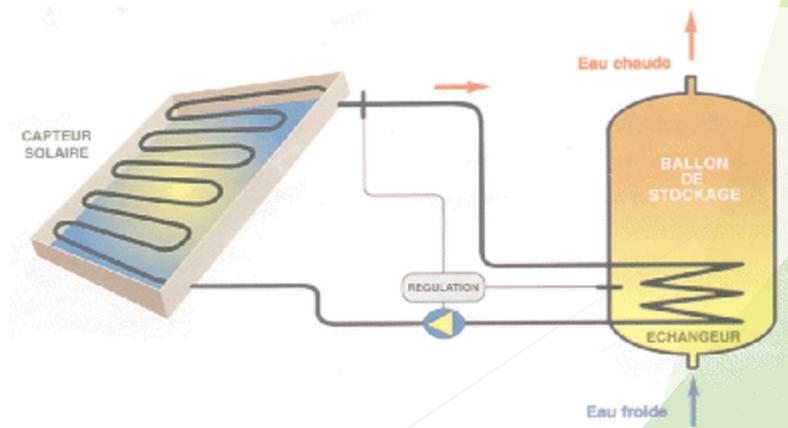
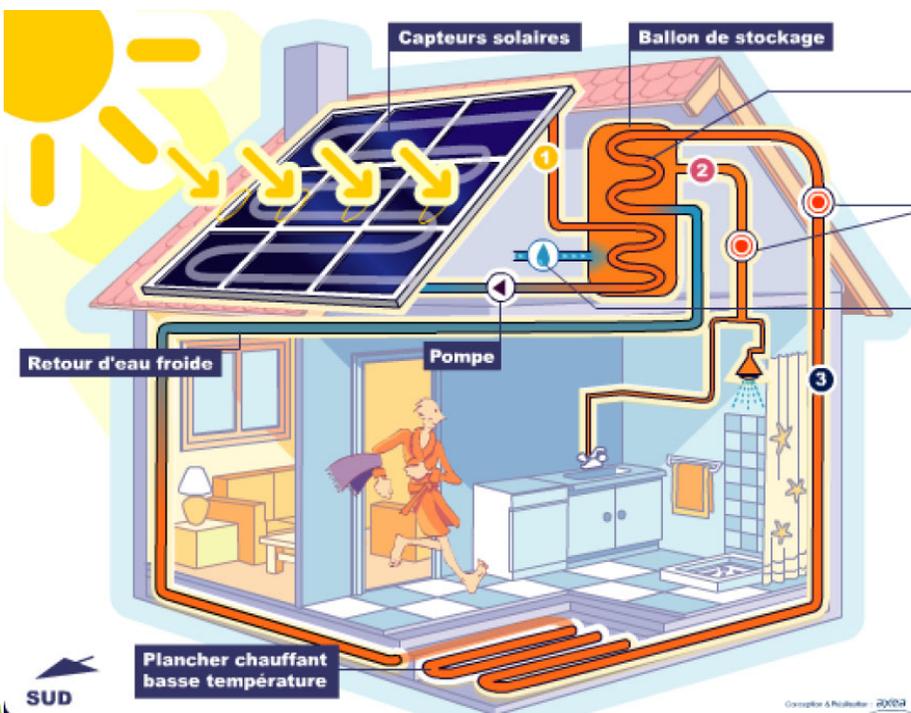
Réserves connues

© www.solarpraxis.com

Le solaire thermique

Utilisation

- Usage : production de l'ECS dans la réhabilitation et le neuf
- Ou en Plancher Solaire Direct pour le chauffage



Les applications - solaire thermique



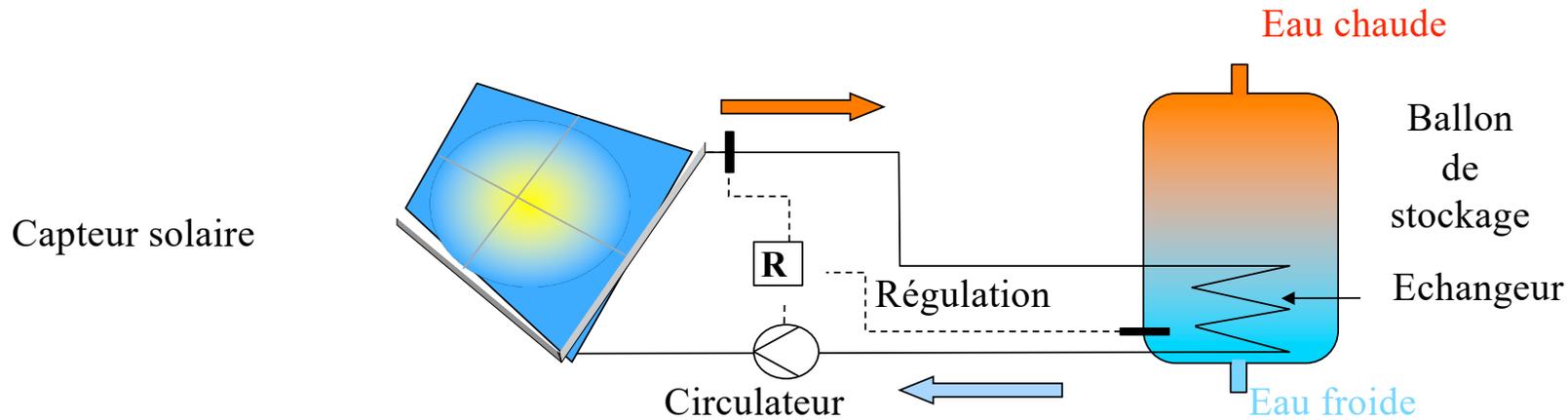
- Production d'eau chaude sanitaire (CESI et CESC)
- Production de chauffage et d'ECS (SSC)

Mais aussi...

- Chauffage des piscines
- Alimentation des appareils consommateurs d'eau chaude (lave linge, lave vaisselle...)
- Climatisation solaire
- Process industriels (agroalimentaire)
- Séchage solaire agricole
- Cuisson solaire des aliments

Le solaire thermique

Les capteurs plan



Le capteur solaire plan est constitué

- D'un vitrage imperméable aux infrarouges
- D'un coffret isolant limitant les pertes thermiques
- D'un absorbeur noir transformant le rayonnement solaire en chaleur, transportée par le fluide caloporteur

Le Solaire Thermique - Système Solaire Combiné (SSC)

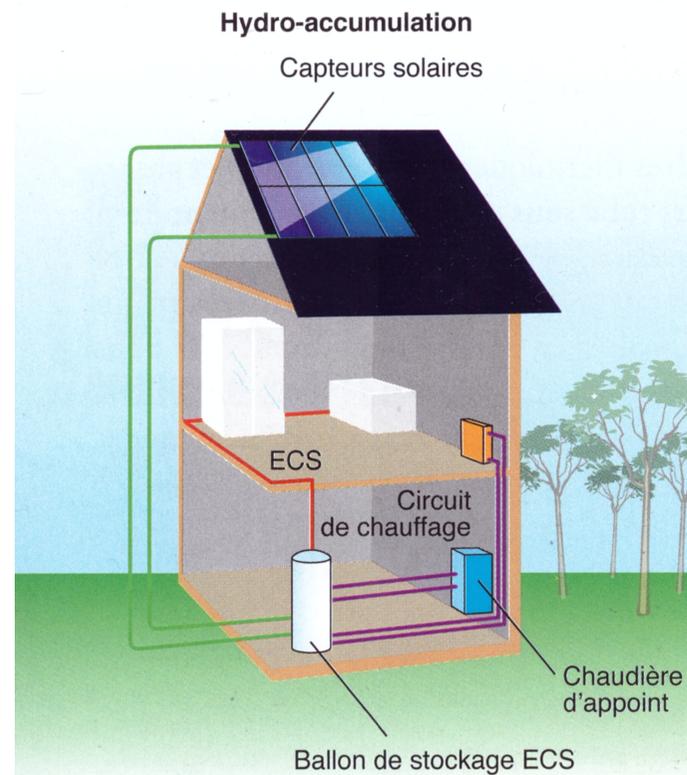
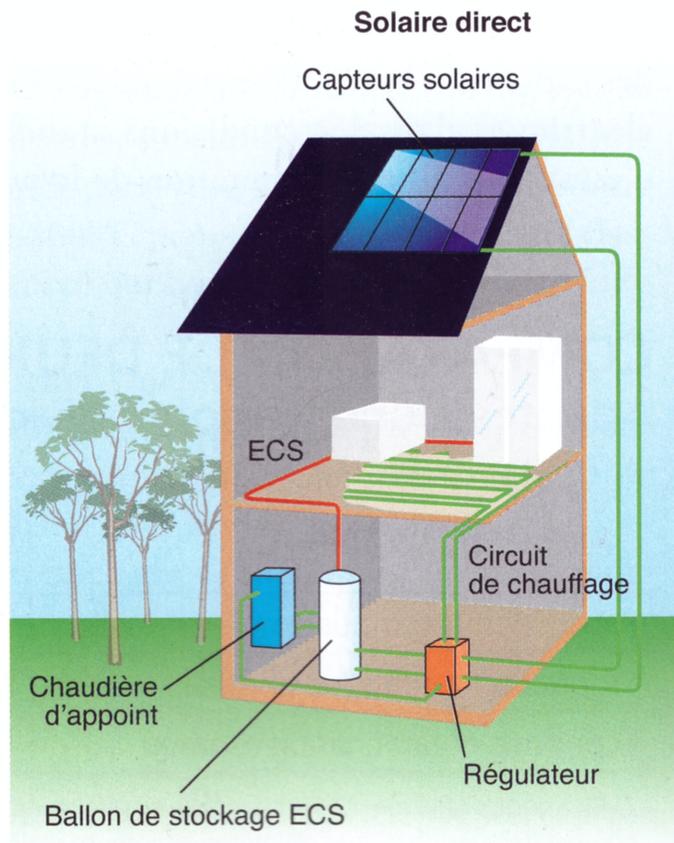
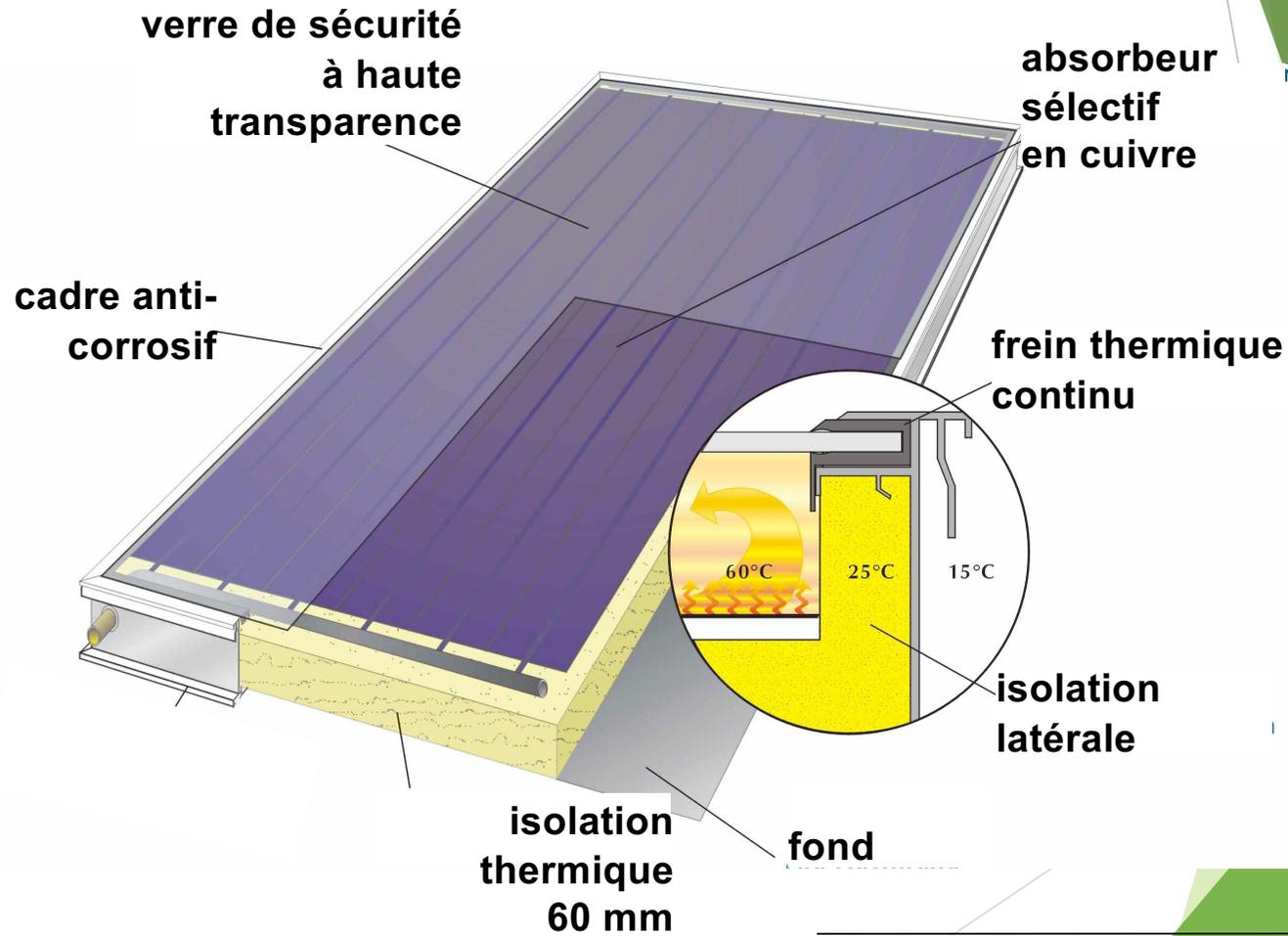
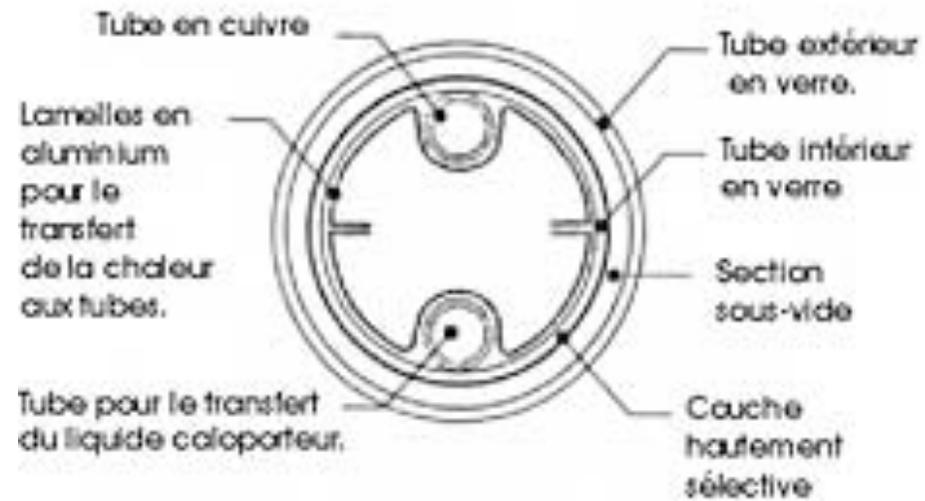


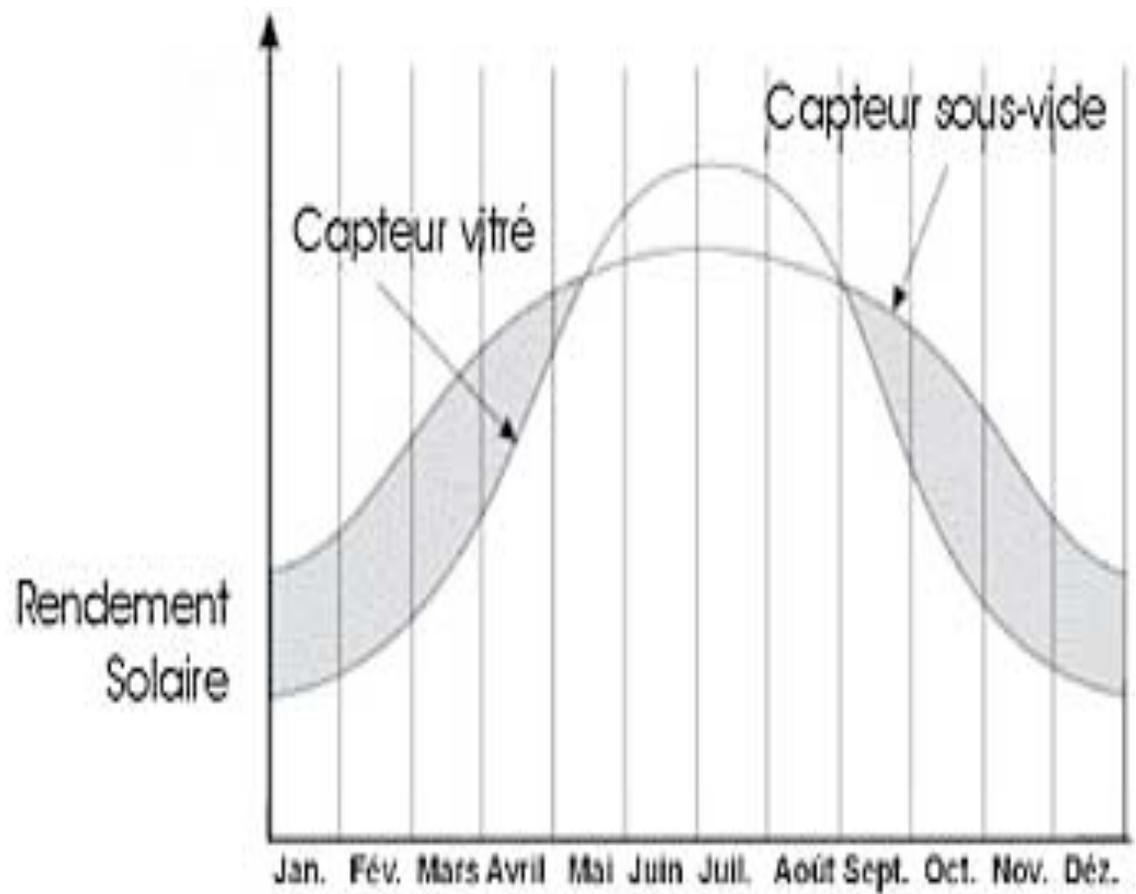
ILLUSTRATION : MARIE AGNÈS GUICHARD/OBSERVER - SOURCE SOLISART

LE CAPTEUR PLAN



LE CAPTEUR SOUS VIDE





Le solaire thermique

Utilisation

L'eau Chaude Sanitaire (ECS) :

- couvre 60 à 70% des besoins
- Entre 4000 à 6000 € hors subventions pour un modèle standard (4,5 m² de capteurs)
- Solutions individuelles...
- et collectives

Le chauffage solaire (PSD)

- Jusqu'à 30% des besoins en plancher basse température
- 150 m² de surface chauffée = 20 m² de capteurs ; chaudière d'appoint basse température intégrée : Jusqu'à 25 000 € matériel et pose comprise (entre 5 000 et 10 000 € de plus qu'une installation classique en Basse Température)



Le solaire thermique

Exemple d'un hôtel

L'Hôtel Formule 1 de Perpignan (66) :
Fourniture en eau chaude sanitaire des 97
chambres équipées d'un lavabo et des 19
douches réparties sur les trois niveaux du
bâtiment.



Coûts

- Investissement : 250 k€
- Financement ADEME : 163 k€

Bilan environnemental

- Production de 44 400 kWh/an (72% des besoins énergétiques)
- Productivité de 587 kWh/an par m² utile de capteur solaire
- 75,6 m² de capteurs solaires thermiques
- 4 tonnes de CO₂ évitées par an sur la base de 80g/kWh électrique

Bilan économique

- près de 4000 € d'économies par an

La Piscine solaire

Une piscine sans chauffage n'atteint une bonne température que pendant 3 ou 4 semaines en saison estivale.

Le chauffage d'une piscine avec l'énergie conventionnelle est très coûteux et polluant.

Pour cette raison, l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage des piscines est une solution idéale.



Le froid solaire

INNOVATION

LA PRODUCTION DE FROID PAR ABSORPTION

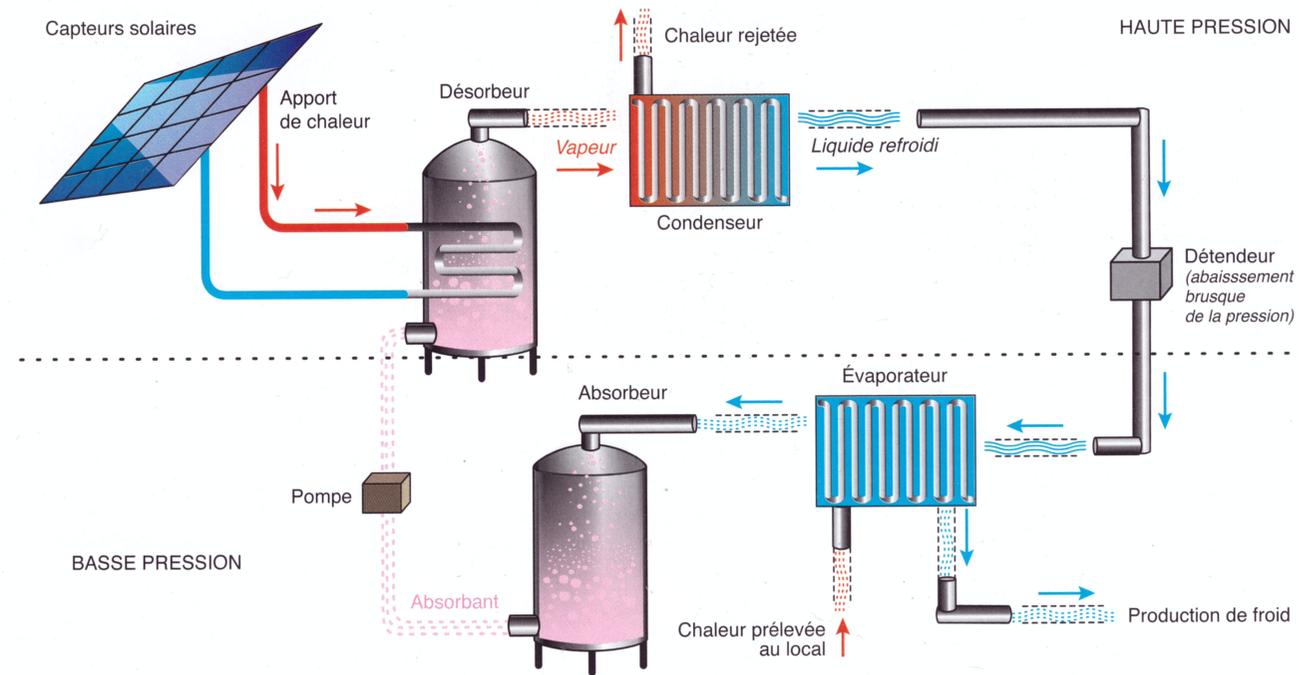


ILLUSTRATION : MARIE AGNÈS GUICHARD/OBSERVER - SOURCE TECSOL

SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE



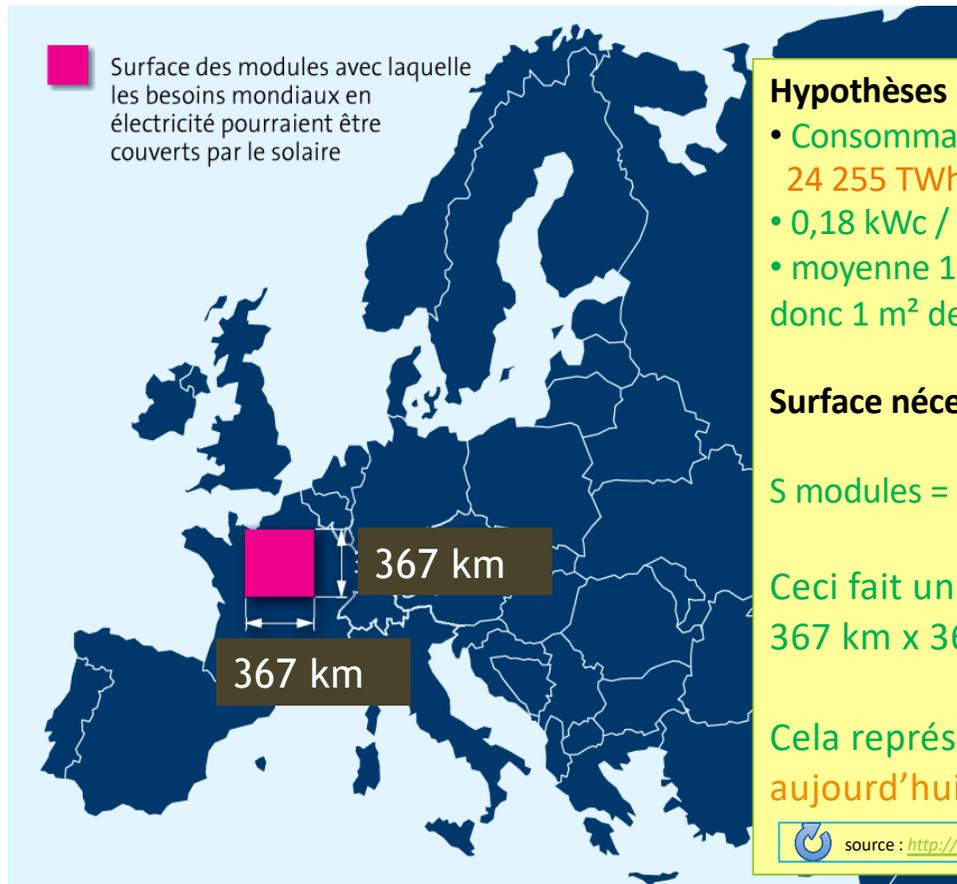
Le solaire photovoltaïque

Généralités

- Une centrale solaire de 1 kWc produit environ 1000 kWh d'énergie électrique par an. (Le Wc - Watt crête) est la puissance maximale délivrée par un module photovoltaïque sous un ensoleillement de 1000 W/m² à 25°C et AM=1,5)
- Dans l'Ouest, 1 m² de capteurs produit de 40 à 100 kWh/an
- Il faut compter autour de 4-5 € du Wc, prix pour les particuliers (pose comprise)
- Usage : production électrique en injection ou en réseau autonome (site isolé)



Production PV potentielle énorme et suffisante



Hypothèses pragmatiques avec solution mature :

- Consommation d' électricité mondiale :
24 255 TWh (en 2017)
- 0,18 kWc / m² (puissance moyenne actuelle = 300 Wc pour 1,6 m²)
- moyenne 1000 kWh / kWc.an
donc 1 m² de module produit 180 kWh.an

Surface nécessaire pour produire 24 255 TWh ?

$$S \text{ modules} = 24\,255 \cdot 10^9 \text{ (kWh / an)} / 180 \text{ (180 kWh/m}^2\text{)} = 134\,750 \text{ km}^2$$

Ceci fait une centrale de
367 km x 367 km seulement et placée en France!

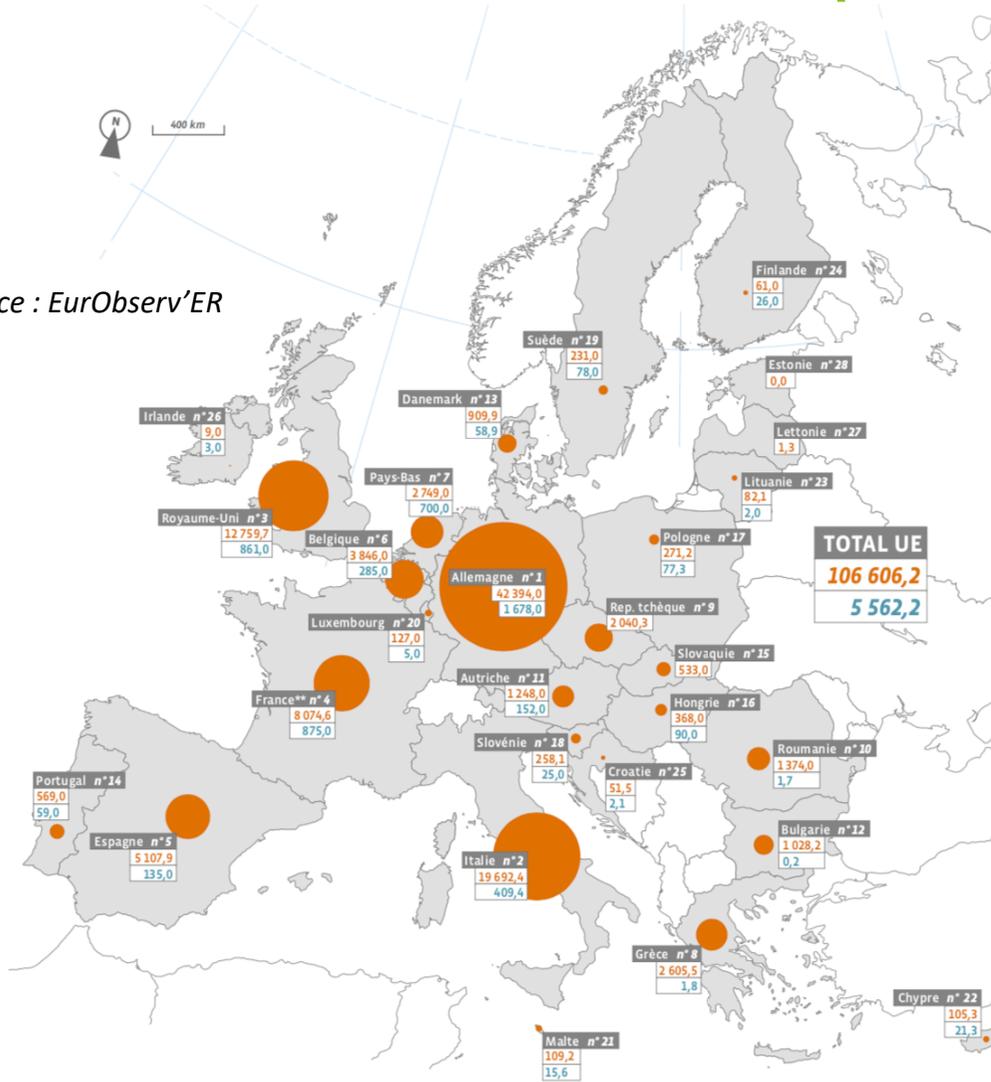
Cela représente quand même 24 255 GWc à installer...
aujourd'hui en 2018, est installé dans le monde : 300 GWc

source : <http://www.irena.org>

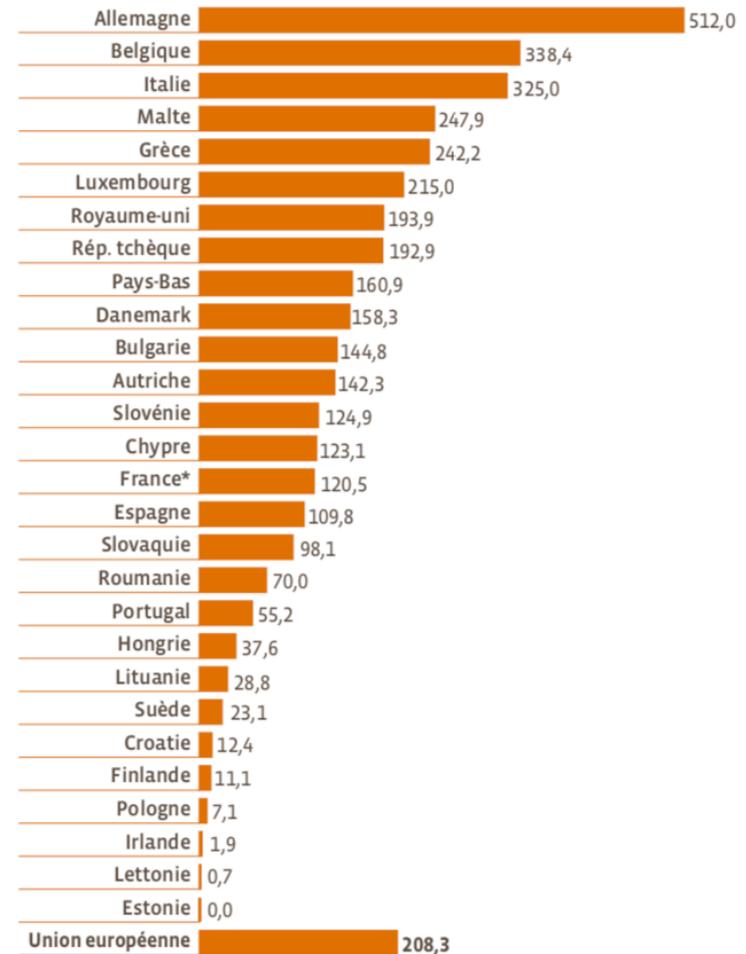
Mais solutions nécessaires de stockage, transport....et pourquoi concentrer la production ? et en plus on a le grand éolien et la biomasse....tout va bien.

Le solaire Photovoltaïque en Europe 2019

Source : EurObserv'ER



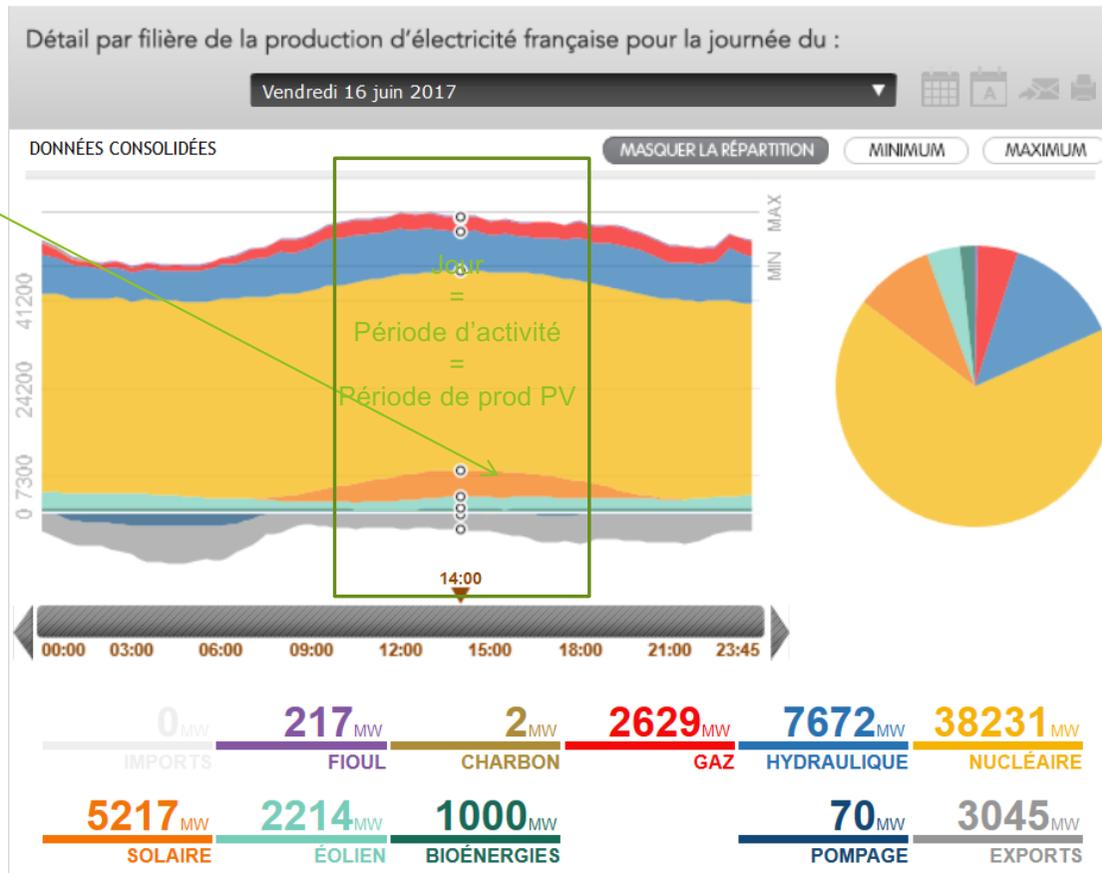
Puissance photovoltaïque par habitant des différents pays de l'Union européenne en 2016 (W/hab)



Production PV en accord avec l'activité humaine

**Solaire
9%**

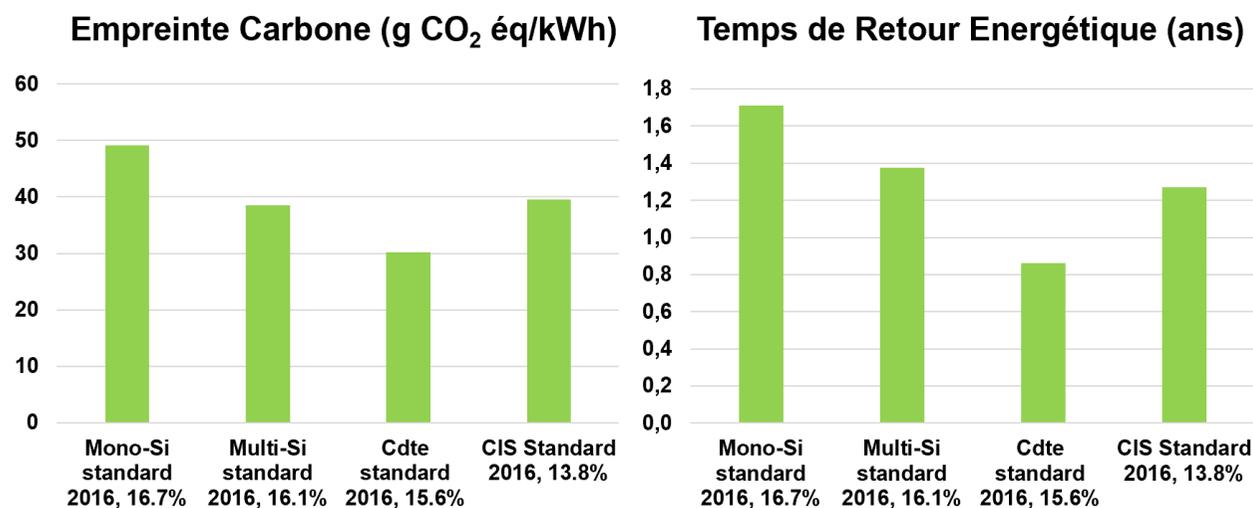
À 14h00,
5 217 MW sur les
7 665 MW du parc
installé



Source RTE : <http://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-mix-energetique>

Temps de retour énergétique

Au bout de combien de temps l'installation PV rend-elle l'énergie consommée pour sa construction? (Source INES SOLAIRE/CEA)



	Mono-Si standard	Multi-Si standard	Cdte standard	CIS standard
Market share 2015 *	24%	69%	5%	2%

	Empreinte Carbone (g CO ₂ eq/kWh)	EPBT (ans)
Moyenne pondérée	40,68	1,43

Bilan Carbone du kWh électrique

- ▶ Il faut environ **2 500 kWh** d'énergie électrique pour produire **1 kWc** (source Hespul).
- ▶ Son bilan carbone dépend du mix énergétique du kWh électrique utilisé pour sa fabrication et celui auquel sa production va se substituer.

Empreinte CARBONE France	Empreinte CARBONE Chine
0.09 kg CO ₂ /kWh élec	0.79 kg CO ₂ /kWh élec

EXEMPLE 1 :

1 kWc fabriqué en France et installé en Chine aura un bilan Carbone très positif

- ▶ Empreinte carbone pour la fabrication : $2\,500 \text{ kWh} \times 0,09 \text{ kg/kWh} = 225 \text{ kg de CO}_2$
 - ▶ Economie d'émission de carbone d'un kWc en chine : $1\,400 \text{ kWh/an} \times 0,79 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 1\,106 \text{ kg CO}_2/\text{an}$
- Temps de retour carbone : $225 / 1\,106 = 0,203 \text{ an}$, soit 2,4 mois. Excellent !

EXEMPLE 2 :

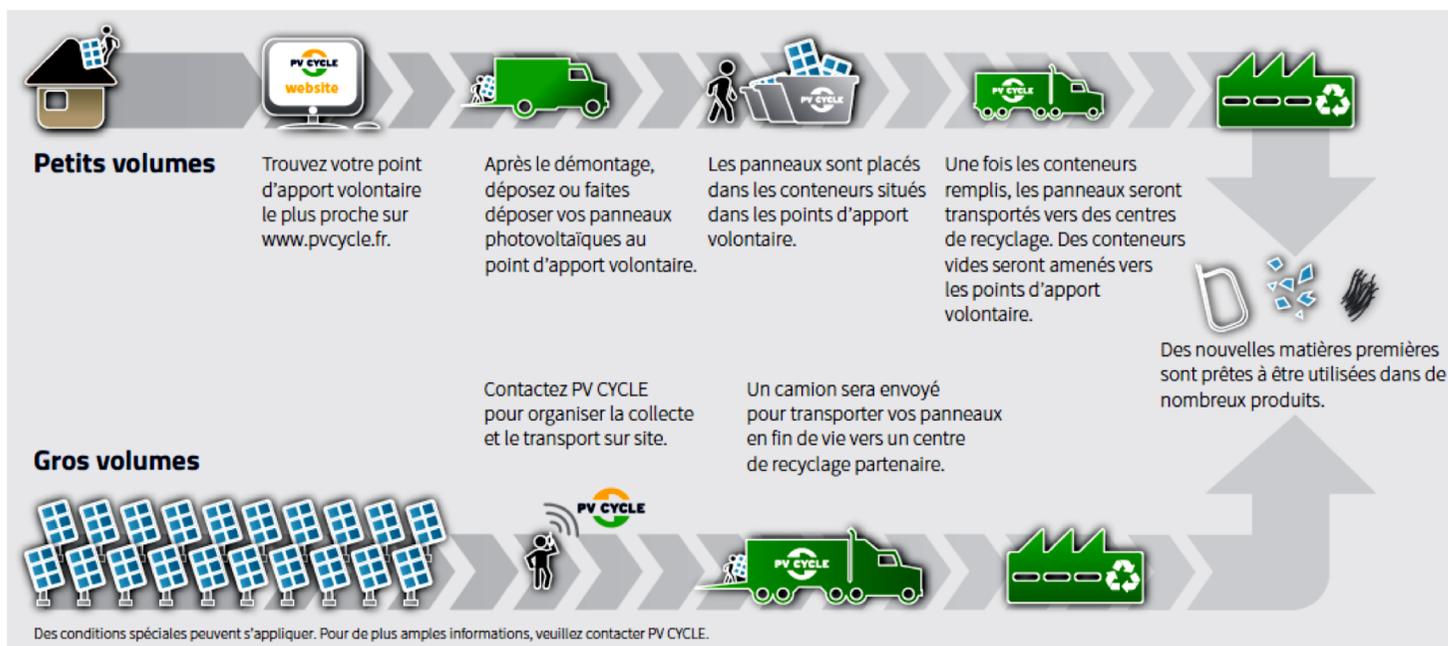
1 kWc fabriqué en Chine et installé en France aura un bilan Carbone de ?

- ▶ Empreinte carbone pour la fabrication : $2\,500 \text{ kWh} \times 0,79 \text{ kg/kWh} = 1\,975 \text{ kg de CO}_2$
 - ▶ Economie d'émission de carbone d'un kWc en France :
 - ▶ $1\,000 \text{ kWh/an} \times 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 90 \text{ kg CO}_2/\text{an}$
- Temps de retour carbone : $1\,975 / 90 = 22 \text{ ans}$...beaucoup moins bon !

- **Plus précisément, la teneur CO₂ dépendant aussi de la période et source de production.**
- **L'ADEME a fait une estimation du contenu CO₂ par usage :**
 - Chauffage 0,18 kg CO₂ / kWh
 - Eclairage 0,10 kg CO₂ / kWh
 - Usage intermittents 0,06 kgCO₂ / kWh
 - Usage de base 0,04 kgCO₂ / kWh
- **Production PV 0,07 kgCO₂ / kWh**

Recyclage des modules PV au Silicium cristallin

- Recyclage des modules PV obligatoire depuis le 23 août 2014 (décret 2014-928) par la directive relative aux Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE).
- Un module PV est essentiellement composé d'un cadre en aluminium, de verre, de cellules (le plus souvent en silicium), de plastiques et de connexions en cuivre et/ou argent.
- **Recyclage viable** puisque composants avec valeur marchande permettant de financer l'activité.
 - La 1^{ère} unité française de traitement / valorisation de modules PV est située au Rousset, Bouches-du-Rhône (Véolia). Elle valorise 1 400 tonnes de matières par an dès 2017 et jusqu'à 4 000 tonnes en 2021.
 - PV CYCLE a collecté 2 450 tonnes de panneaux PV usagés en 2017 sur le territoire français.



Les taux de valorisation et recyclage ont atteint 94%.



Analyse du Cycle de Vie photovoltaïque (ACV PV)

- ▶ Elle permet de comparer sur des bases standardisées l'impact que peut avoir le PV sur l'environnement. Elle repose sur l'évaluation de :
 - ▶ La part des ressources consommées (Energie primaire)
 - ▶ La contribution à l'effet de serre (Empreinte Carbone)
 - ▶ La quantité d'énergie non renouvelable consommée pour sa fabrication
 - ▶ La quantité d'énergie non renouvelable substituée lors de sa durée de vie (fonction du mix énergétique et de l'irradiation reçue)
 - **Les résultats de l'analyse sont déjà très positifs et s'améliorent avec le temps car :**
 - ▶ Réduction de matière par Wc (épaisseur réduite, rendement à la hausse, etc.)
 - ▶ Réduction des consommations d'énergie (et part d'ENR dans les usines)
 - ▶ Augmentation de la durée de vie des modules, des onduleurs, etc.
- **Cercle vertueux !**



Recyclage des modules PV au Silicium cristallin

- Recyclage des modules PV obligatoire depuis le 23 août 2014 (décret 2014-928) par la directive relative aux Déchets d' Equipements Electriques et Electroniques (DEEE).
- Un module PV est essentiellement composé d' un cadre en aluminium, de verre, de cellules (le plus souvent en silicium), de plastiques et de connections en cuivre et/ou argent.

Les techniques varient :

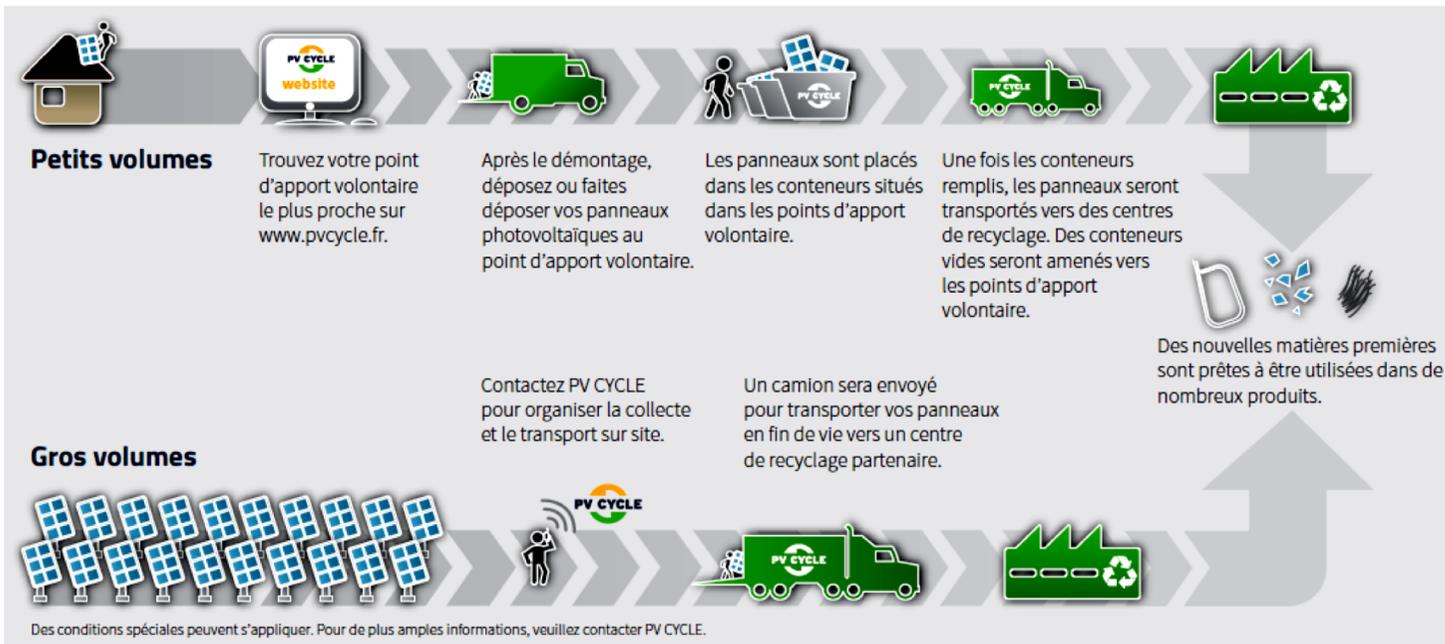
- **Traitement thermique** (brûlage des plastiques pour séparer les cellules du verre **ou broyage** :
 - Aluminium (cadres) → aluminiers (industrie de l' aluminium)
 - Verre → verriers (recyclage classique du verre)
 - Tedlar/EVA : combustibles solides de récupération (CSR)
 - Silicium récupéré pour fabriquer de nouvelles cellules ou pour être fondu et intégré dans un lingot (il peut être réutilisé ainsi jusqu' à 4 fois) ou cimenteries
 - Poudre de cuivre → affineur de grenailles
 - Boite de jonction → plastique recyclé
- **Recyclage viable** puisque composants avec valeur marchande permettant de financer l'activité.
 - La 1^{ère} unité française de traitement / valorisation de modules PV est située au Rousset, Bouches-du-Rhône (Véolia). Elle valorise 1 400 tonnes de matières par an dès 2017 et jusqu' à 4 000 tonnes en 2021.
 - PV CYCLE a collecté 2 450 tonnes de panneaux PV usagés en 2017 sur le territoire français. Les taux de valorisation et recyclage ont atteint 94%.



Plus d'information : <https://you.u-bordeaux.fr/81-MEncA-Bc>

Recyclage des modules PV au Silicium cristallin

- Recyclage des modules PV obligatoire depuis le 23 août 2014 (décret 2014-928) par la directive relative aux Déchets d' Equipements Electriques et Electroniques (DEEE).
- Un module PV est essentiellement composé d' un cadre en aluminium, de verre, de cellules (le plus souvent en silicium), de plastiques et de connections en cuivre et/ou argent.
- **Recyclage viable** puisque composants avec valeur marchande permettant de financer l'activité.
 - La 1^{ère} unité française de traitement / valorisation de modules PV est située au Rousset, Bouches-du-Rhône (Véolia). Elle valorise 1 400 tonnes de matières par an dès 2017 et jusqu'à 4 000 tonnes en 2021.
 - PV CYCLE a collecté 2 450 tonnes de panneaux PV usagés en 2017 sur le territoire français. Les taux de valorisation et



Silicium monocristallin

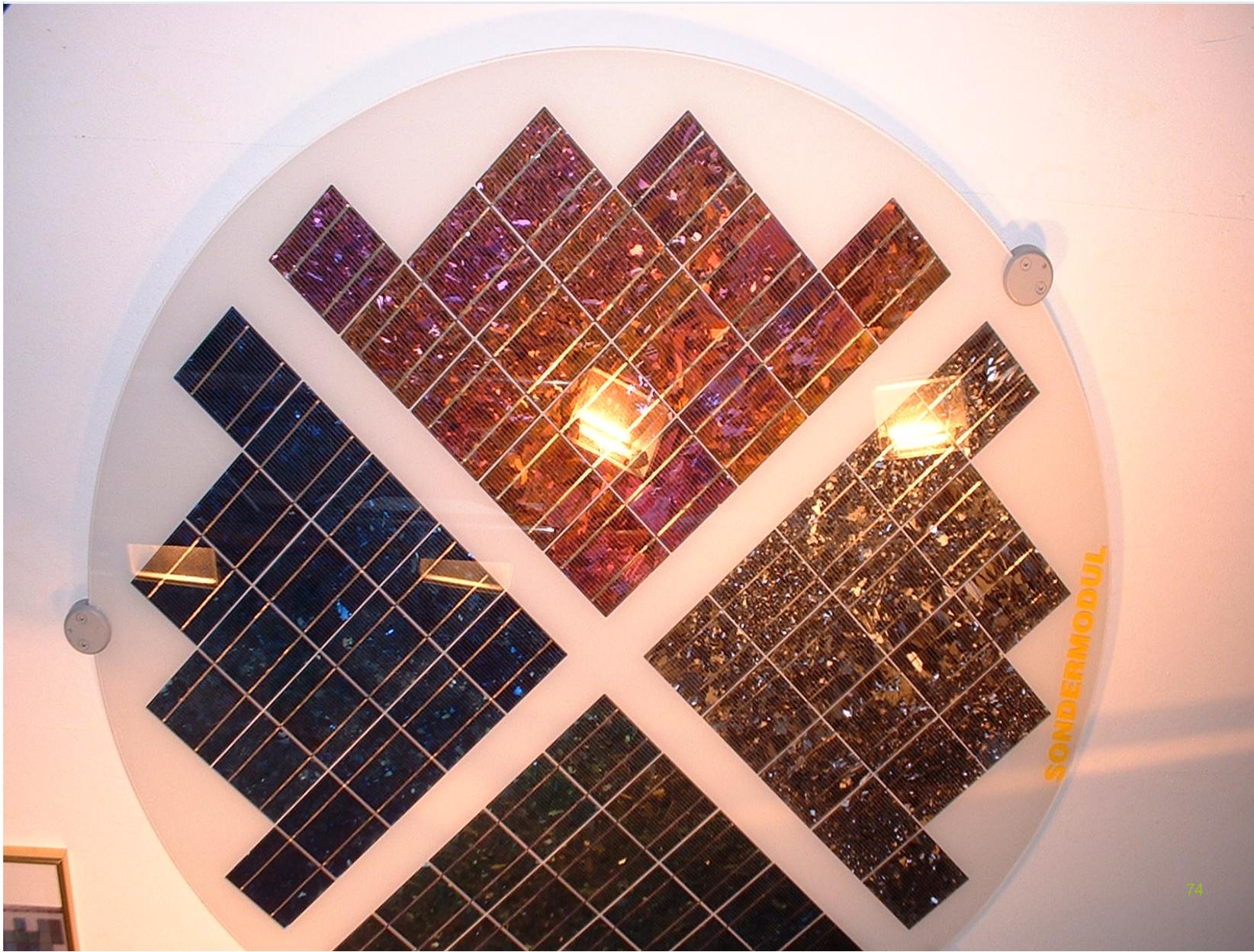


Fabrication énergivore (2 à 3 fois plus que les polycristallins)
Rendement : 12 à 15 %

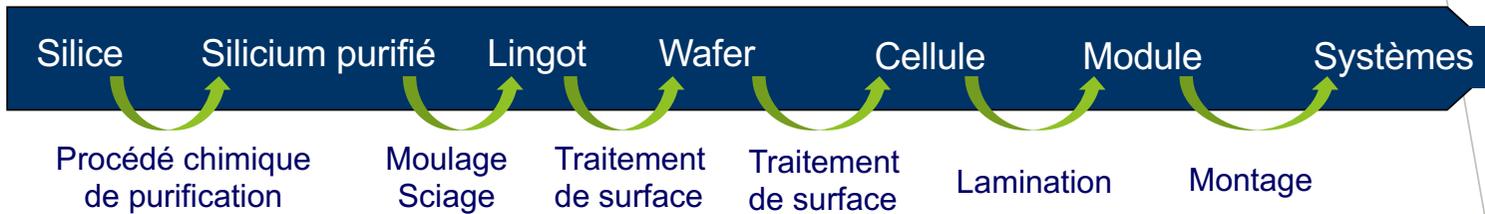
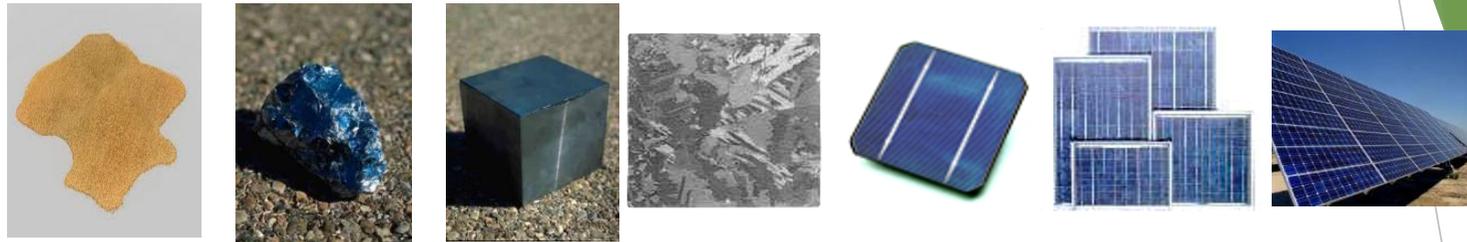
Silicium polycristallin



Peu de déchets de fabrication
Le plus utilisé
Rendement : 11 à 14 %

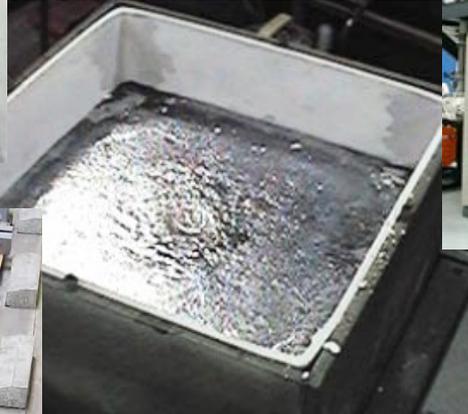


Fabrication des modules PV au silicium

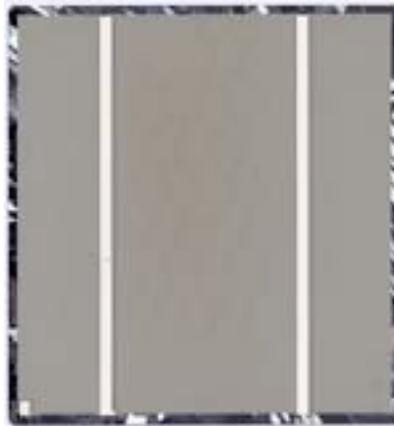
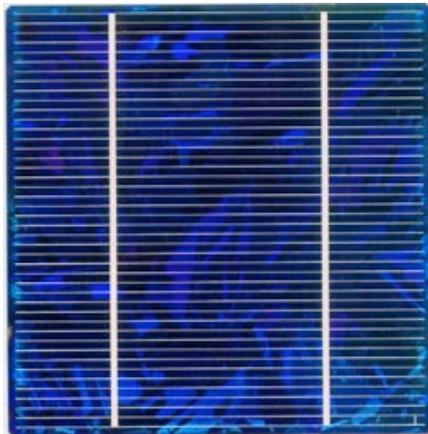


- La silice est le deuxième matériau de l'écorce terrestre (28%) après l'oxygène (47%).
- 900 000 tonnes de silice sont utilisées dans le monde par l'industrie et BTP pour fabriquer de l'aluminium, de l'acier et des silicones.
- Moins de 1% sert comme semi-conducteur.
- **Il y a seulement 670 g de Si dans un module de 300 Wc au silicium cristallin (mono ou multi avec des wafers de 0,2 mm d'épaisseur), soit environ 2 g / Wc!**
(détail : 60 cellules x 15,5 cm x 15,5 cm x 0,02 cm x 2,33 g/cm³ = 670 g avec densité du silicium 2,33g/cm³)

Filière Silicium Cristallin



Filière Silicium Cristallin



Tri des cellules

Le champ de modules photovoltaïques



Le solaire photovoltaïque

Utilisation



- **Caractéristiques :**
 - 337 m² de toiture recouvert avec un matériau innovant,
 - 15,9 kWc installé
 - 15000 kWh/an à 57 c€/kWh (2007)
- **Financement**
 - Part Conseil Général : 56 500 € (50,7%)
 - 7 Vents : 54 800 € (49,3%)
 - Total investissement : 111 300 € (retour sur investissement : 13,5 ans)



✂ De nombreux cas adaptés tant économiquement que techniquement

- Éclairage,
- Vitrage,
- imperméabilisation

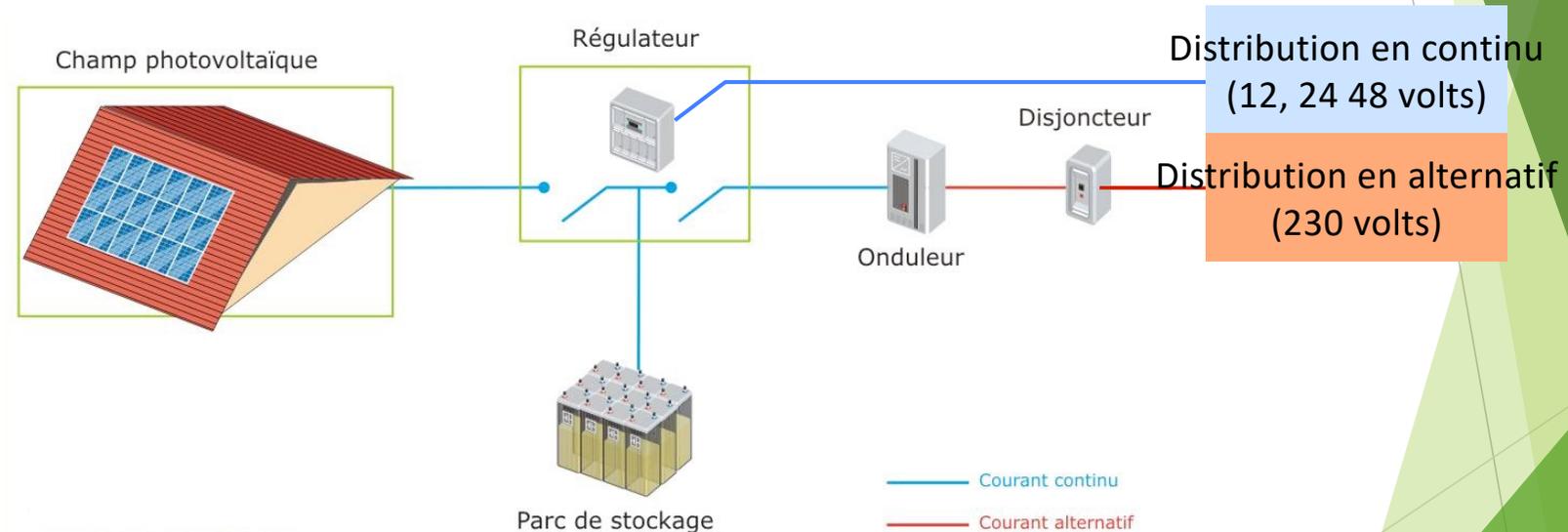


CLY-120-A



Les systèmes autonomes avec batterie d'accumulateurs

Applications principales : Électrification habitat, télécommunication, signalisation routière, etc.

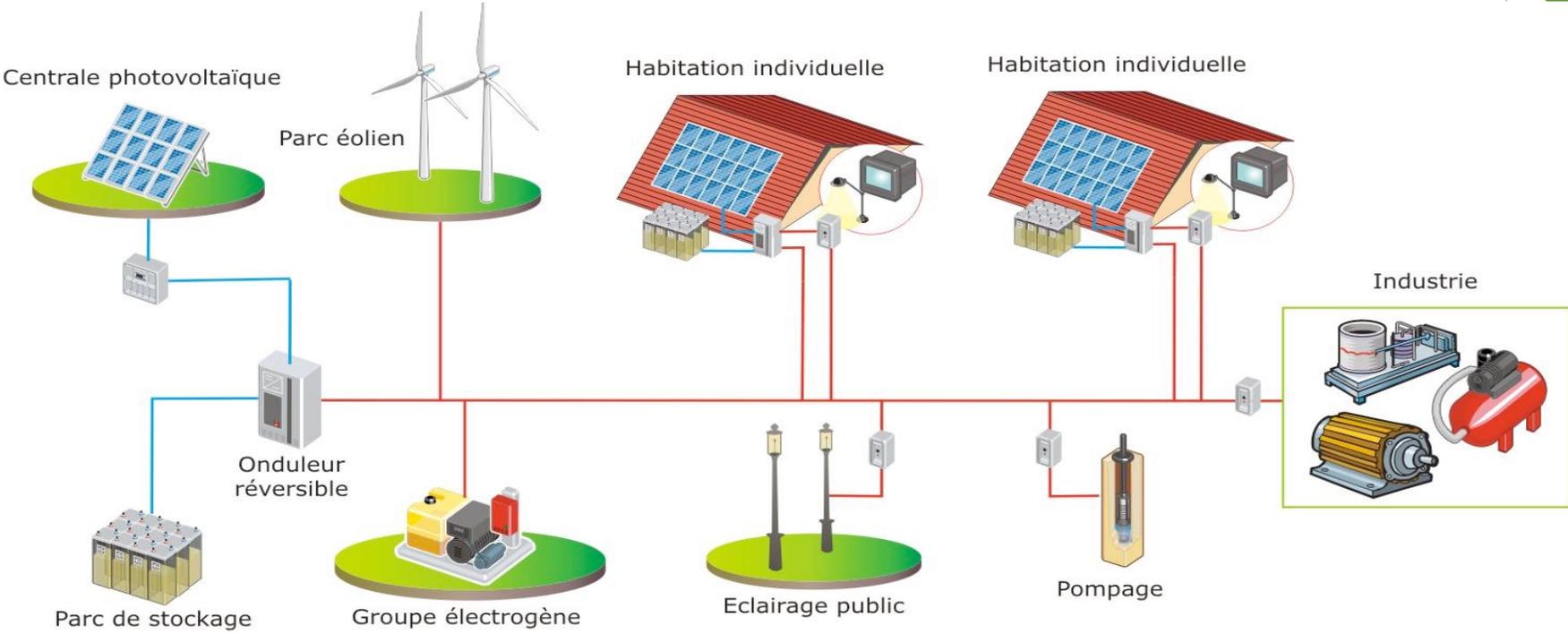


Les systèmes autonomes avec batterie d'accumulateurs

Applications principales : Électrification habitat, télécommunication, signalisation routière, etc.



Les systèmes hybrides (Micro Grid)





La tuile solaire

