



# ENERGIES RENOUVELABLES, POTENTIELS ET CONTRAINTES



16 septembre 2011

# Energies Renouvelables (EnR)

## Définition et caractéristiques

---

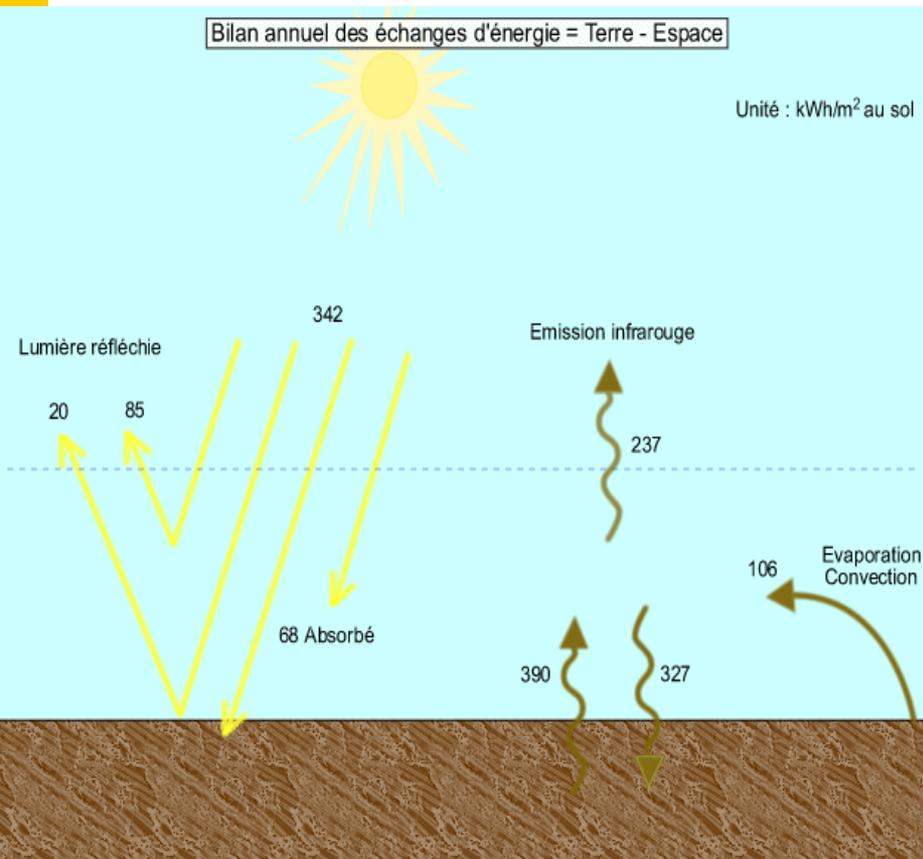
- Energies issues du soleil :
  - Directement : Energie solaire (thermique ou électrique).
  - Indirectement : Energies éolienne, hydraulique, énergies des océans, biomasse.
- Energie issue du magma terrestre : Géothermie.
- Renouvelables = Inépuisables mais en quantité limitée dans le temps et localement.
- Peu d'impacts environnementaux : pas d'émissions de gaz à effet de serre en exploitation.
- Puissance garantie variable suivant les filières technologiques.
- Compétitivité économique très inégale suivant les filières.

# Deux grandes sources renouvelables d'énergie deux réacteurs nucléaires Soleil = fusion, Noyau terrestre = fission

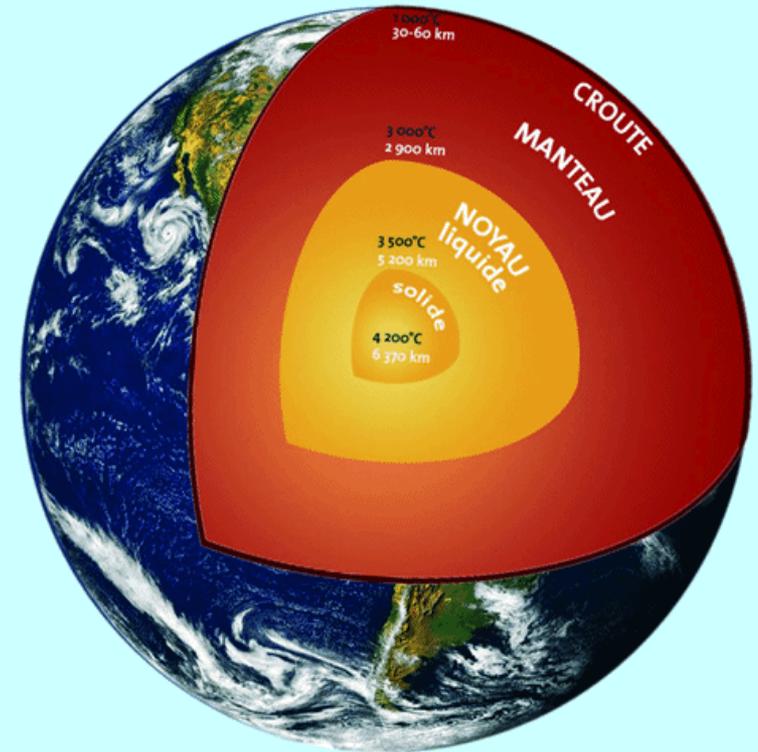


Bilan annuel des échanges d'énergie = Terre - Espace

Unité : kWh/m<sup>2</sup> au sol



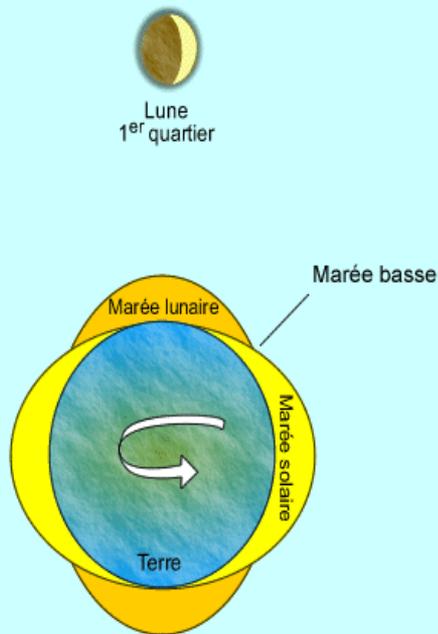
Le globe terrestre : depuis le cœur jusqu'aux volcans



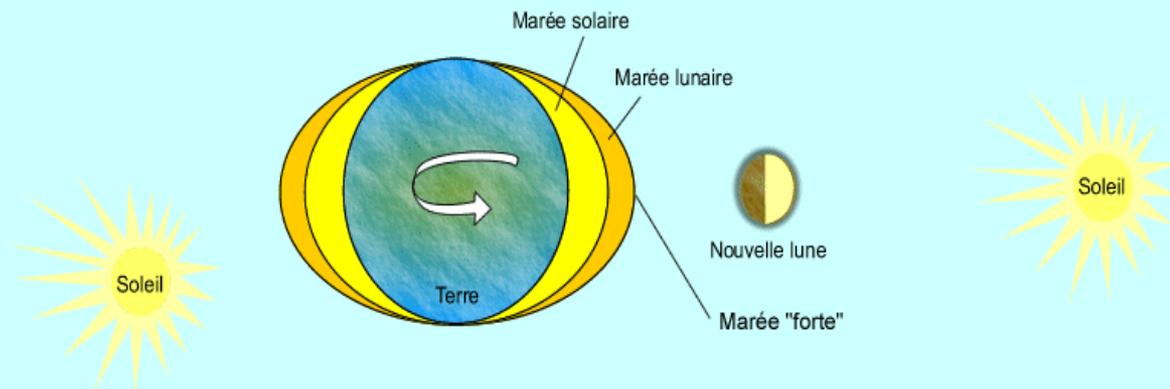
source : BRGM-im@gé

# Autre source : les marées

Exemple de marée basse



Exemple de marée haute



# Energies Renouvelables :

## quelles ressources disponibles ?



Unité = Consommation annuelle d'énergie par l'humanité (2008), soit 12,3 milliards de tep = E

Energie solaire interceptée par la terre : 10 513 E

Energie du soleil arrivant sur la surface de la terre : 7 375 E

Cycle hydrologique (hydraulique) : 2.464 E

Photosynthèse (biomasse) : 2,5 E

Vent, courants marins, houle : 23,0 E

Marées océaniques : 0,18 E

Géothermie :

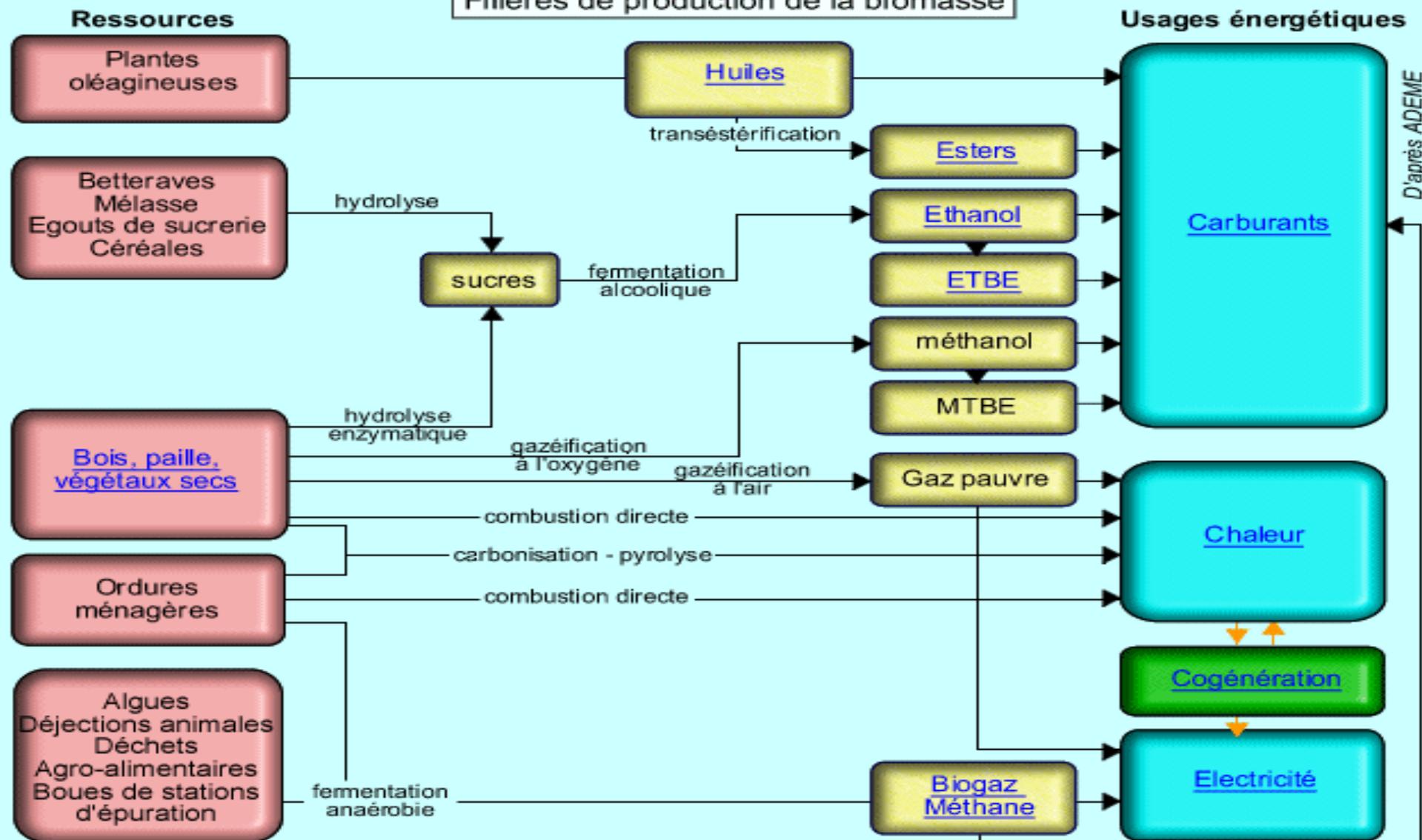
Convection dans les volcans et sources chaudes : 0,018 E

Conduction dans les roches : 1,96 E

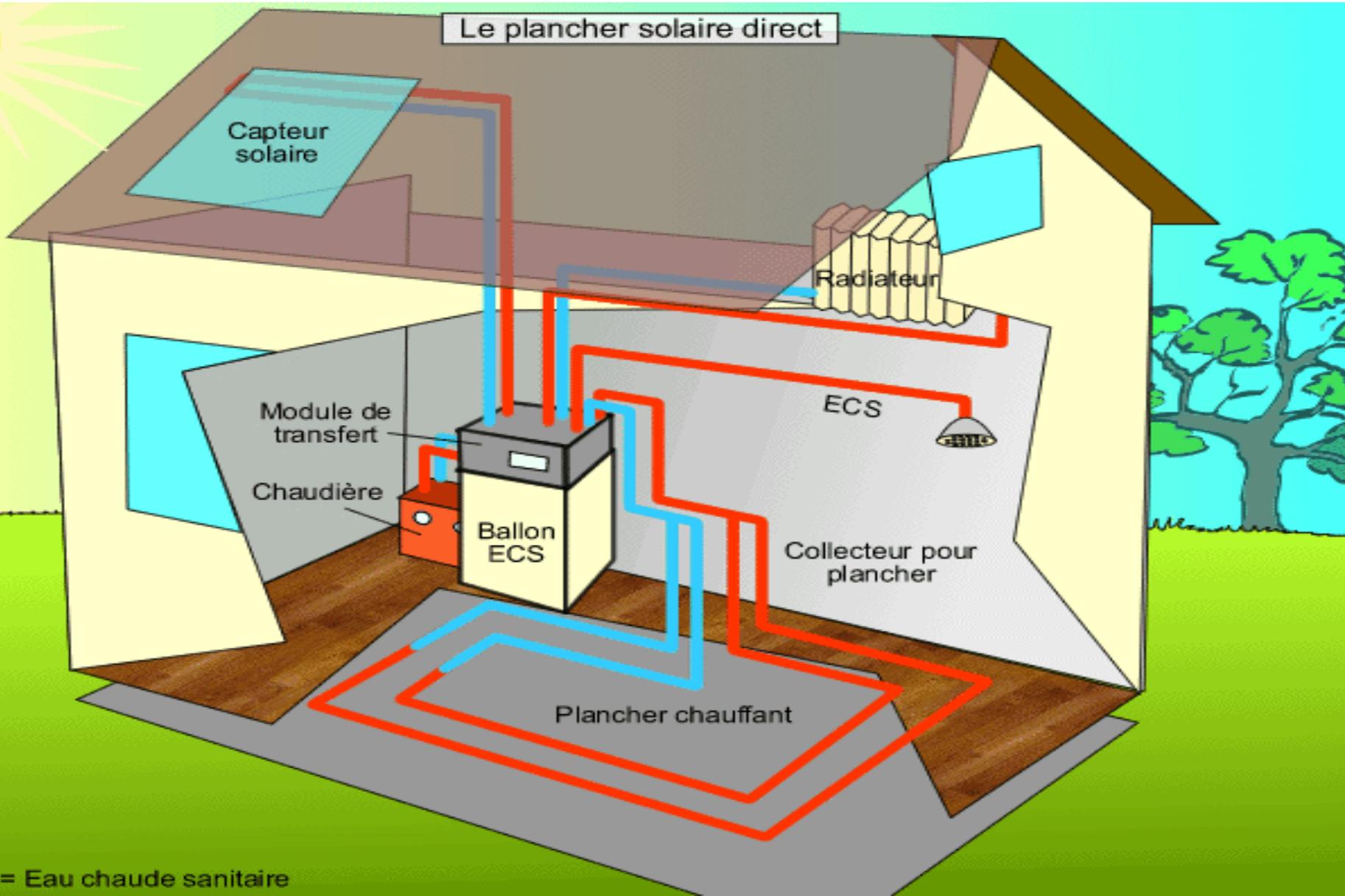
C'est le stock qui est exploité : 1 km<sup>3</sup> que l'on refroidit de 20 °C produit 13 MW pendant 20 ans

# EnR : la biomasse

Filières de production de la biomasse



# Chauffage solaire



# La filière bois énergie

- 1<sup>ère</sup> énergie renouvelable en France et dans le monde
- Chauffage, cuisson, cogénération



Insert



Foyer fermé



Chaudière



Poêle

# Géothermie : Schéma d'une exploitation du Dogger en Ile de France

## Principe d'un chauffage urbain géothermique



# Pompes à chaleur géothermales

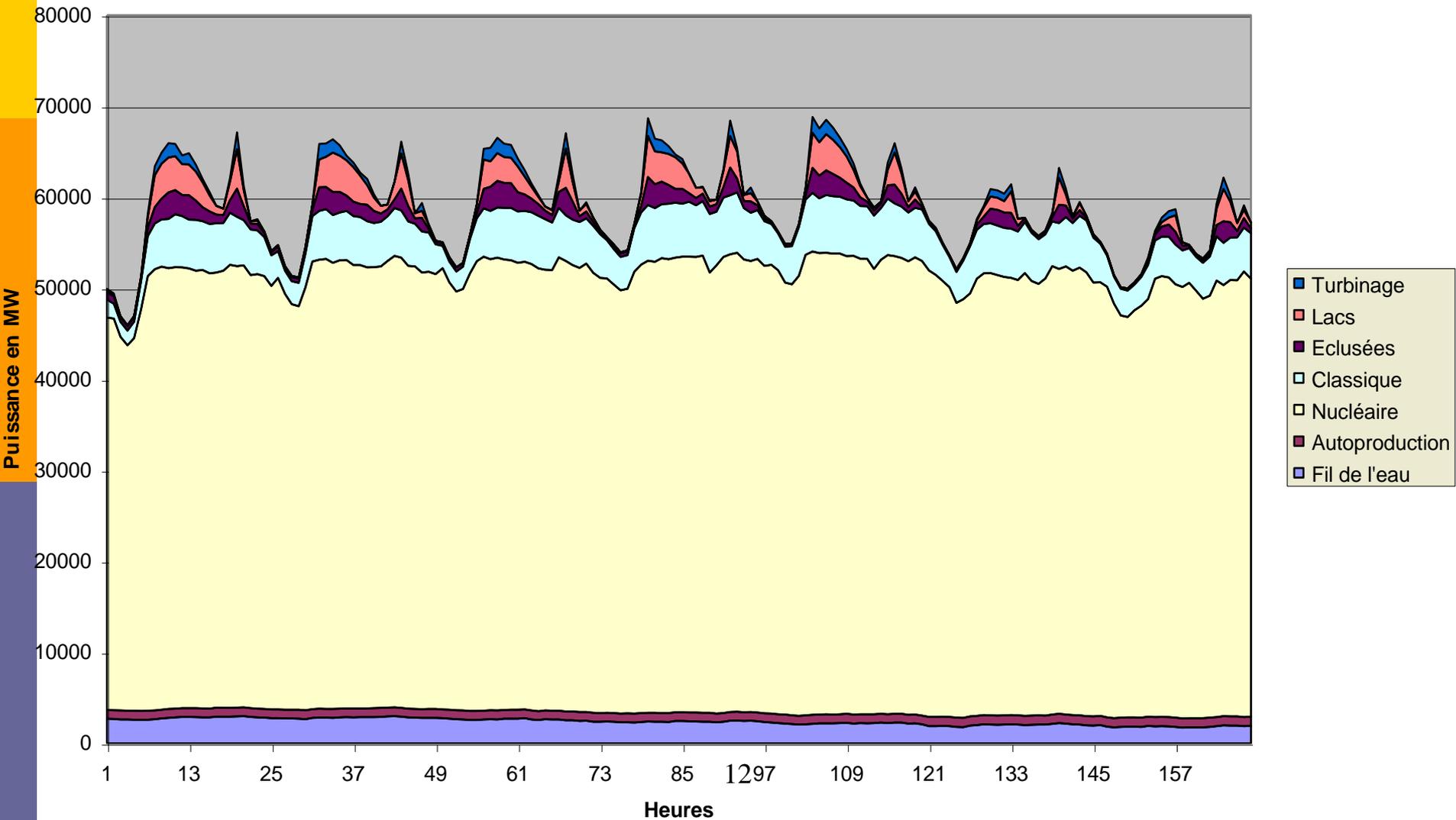


# Maisons sans chauffage/climatisation

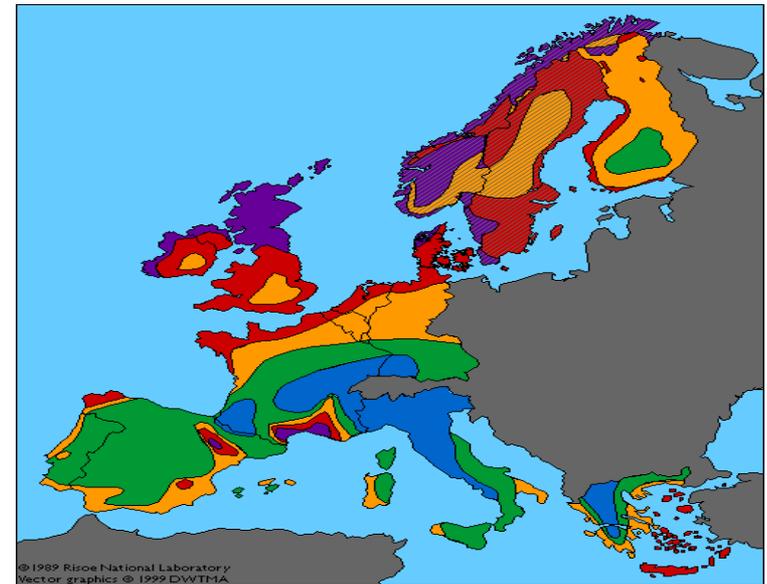
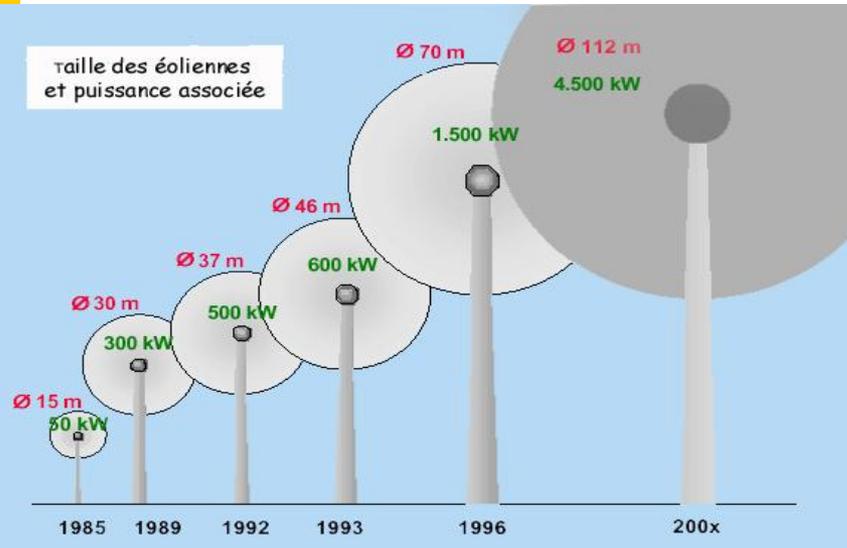
---



# Hydraulique : idéale pour l'équilibre offre demande



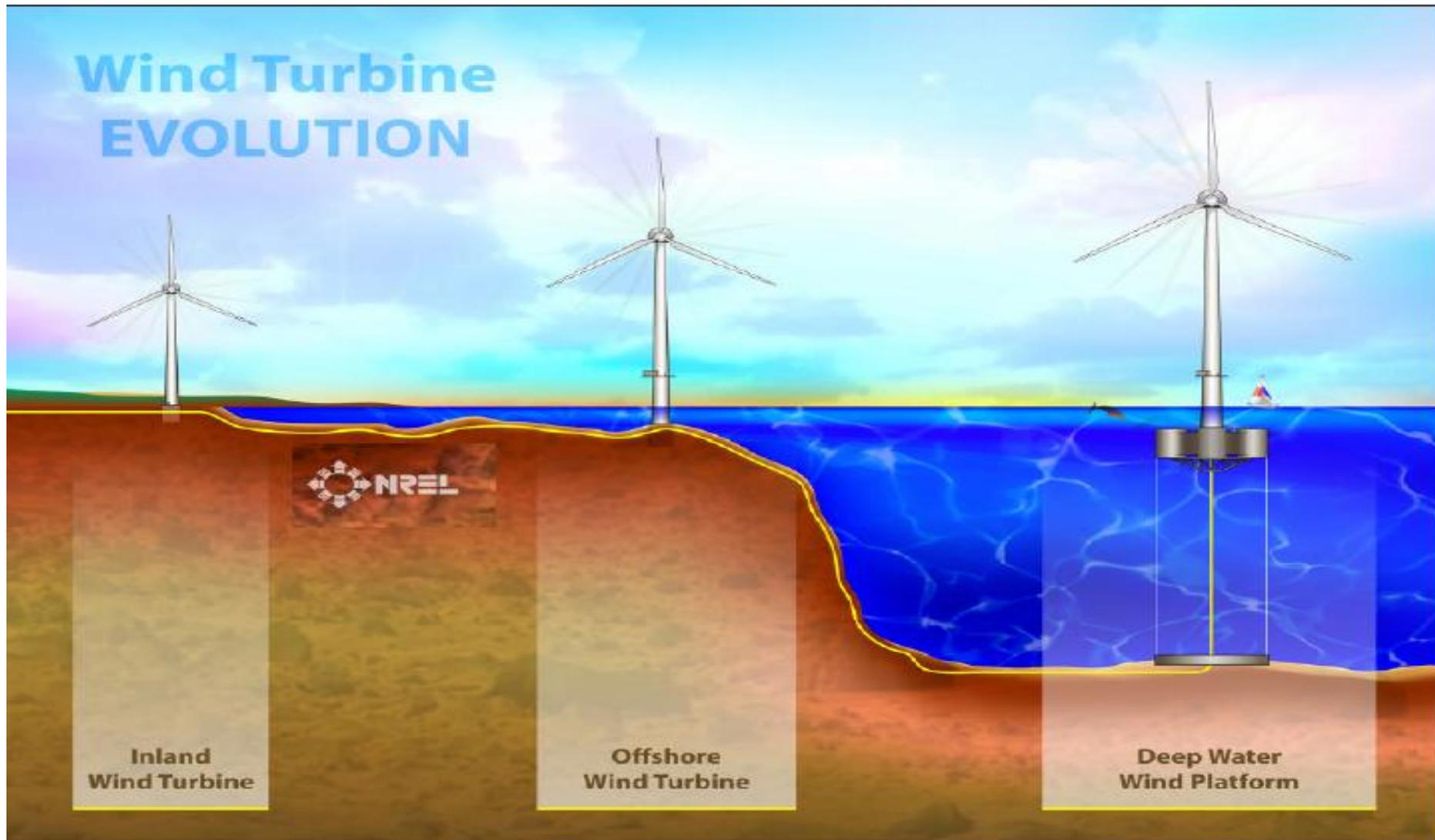
# Energie éolienne



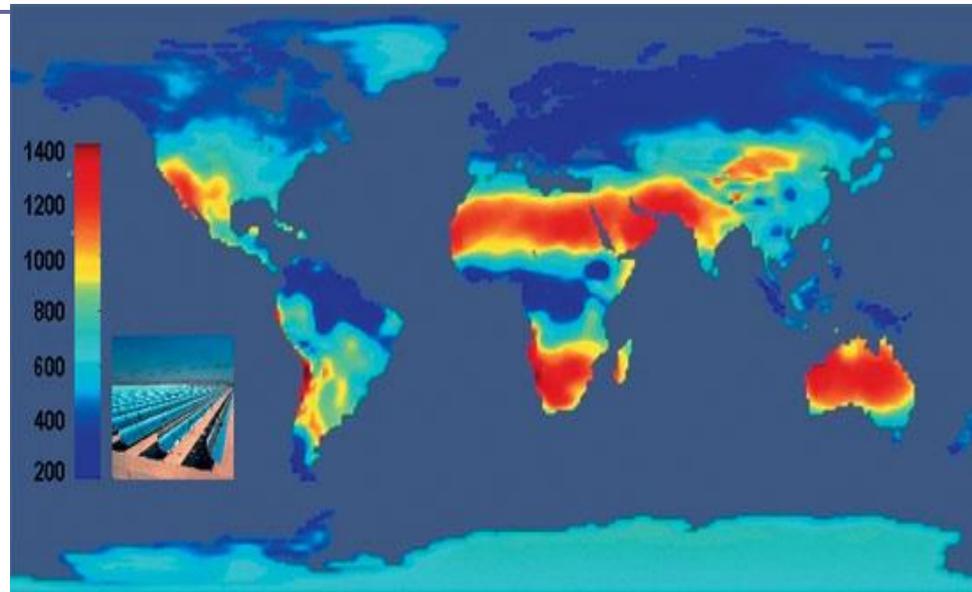
	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>						
	>6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>9.0	>800	>11.5	>1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<5.5	<200	<7.0	<400
			>7.5							
			5.5-7.5							
			<5.5							



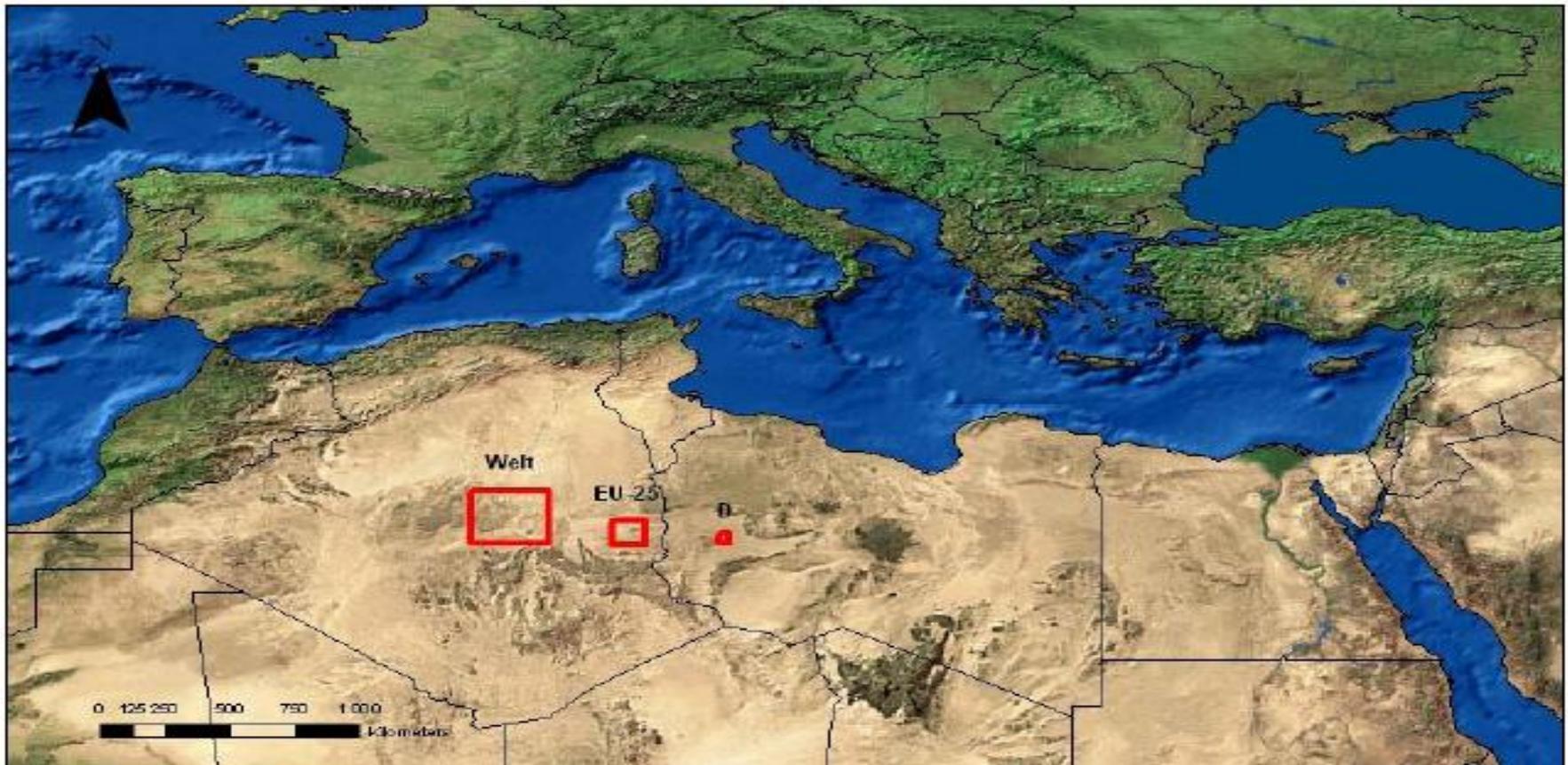
# Eolien : de la terre vers la mer



# Solaire thermodynamique

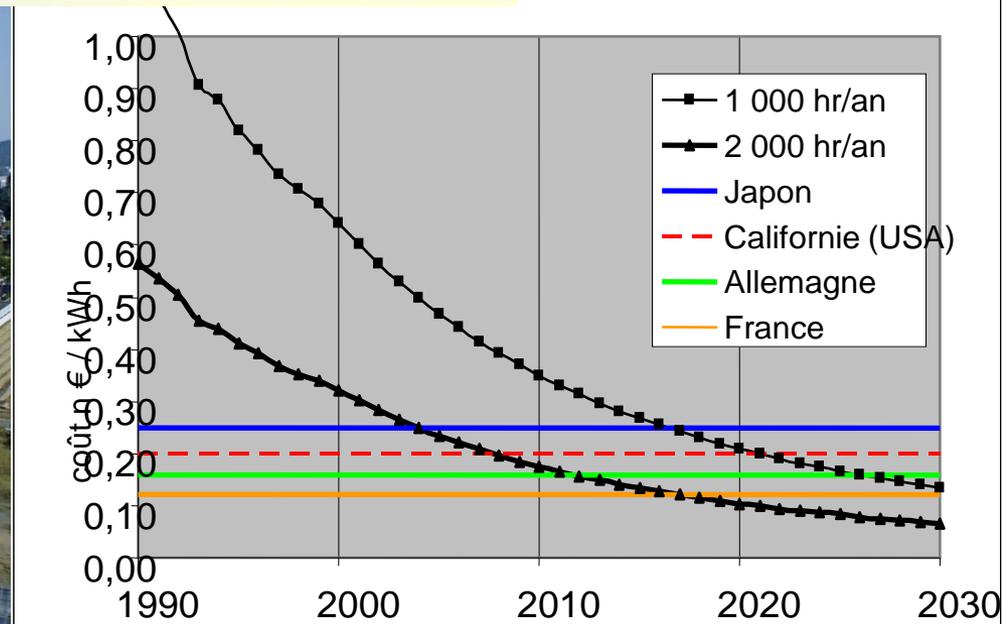
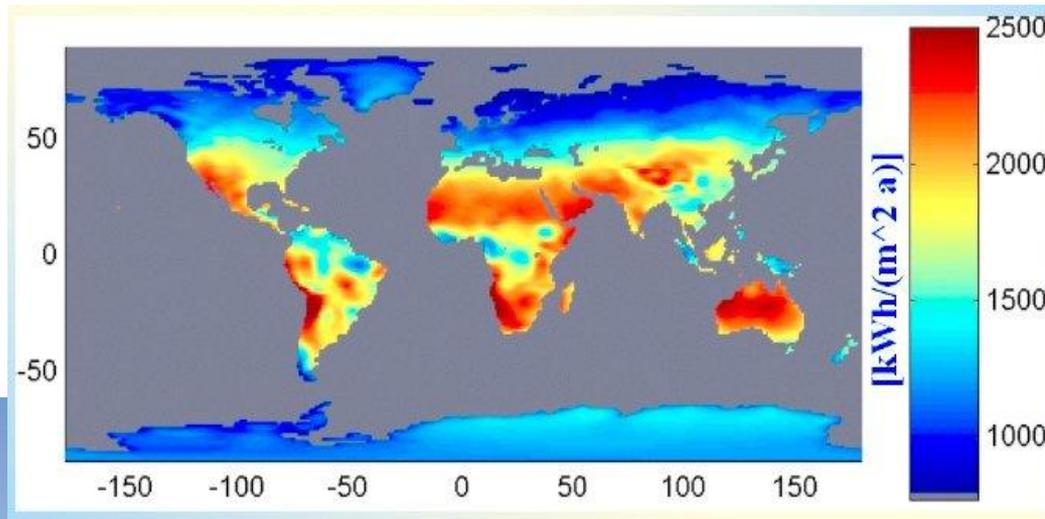


# Solaire thermodynamique



**Fig. 12: Theoretical space requirement to meet the electricity demand of the world, Europe (EU-25) and Germany (Data from DLR, 2005).**

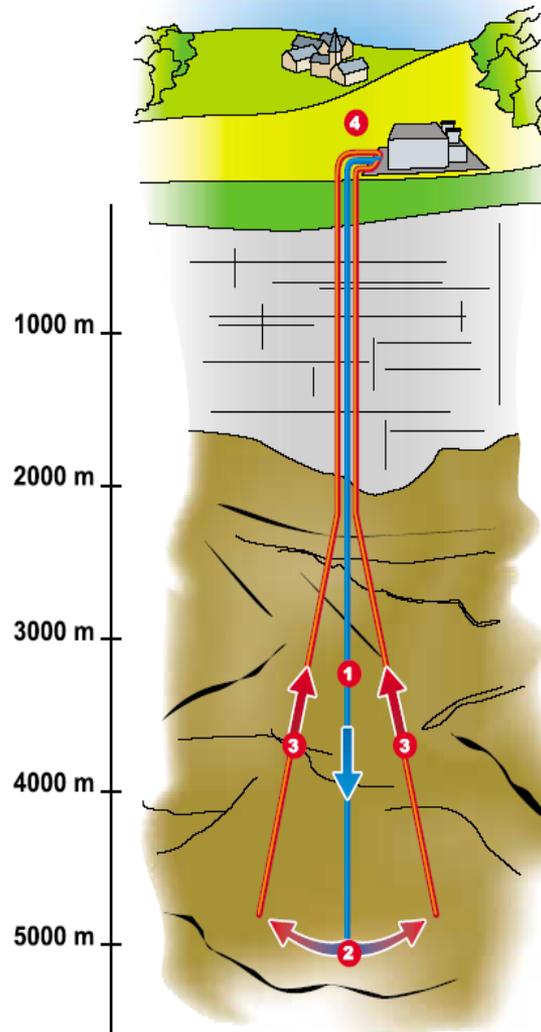
# Solaire photovoltaïque



# Un granite peut-il produire de l'électricité ?

## Le pilote scientifique de Soutz-sous-Forêts

- 1 Injection d'eau froide à 5 000 m de profondeur par le puits central
- 2 Circulation d'eau dans les fractures et réchauffement au contact de la roche chaude (200°C)
- 3 Extraction de l'eau réchauffée du sous-sol par deux puits de production
- 4 En surface, transformation par l'intermédiaire d'un échangeur thermique



□ 1 km<sup>3</sup> de roches refroidis de 20 °C = 13 MW pendant 20 ans



# Les énergies de la mer

## WAVE ENERGY



**Pelamis**  
Floating, articulated device  
Assembling of the first offshore wave farm off Northern Portugal  
(Ocean Power Delivery, UK)



**Wave Dragon**  
Slack-moored overtopping  
Sea testing in Nissum Bredning, Denmark  
(Wave Dragon ApS, Denmark)



**Limpet**  
Shore-based OWC plant  
in Islay, Scotland  
(Wavegen, UK)



**OE Buoy**  
Floating OWC system  
Sea testing in Galway Bay Test Site, Ireland  
(Ocean Energy Ltd, Ireland)



**AWS**  
Submerged device  
Sea testing off Northern Portugal  
(AWS II BV, Netherlands)



**PowerBuoy**  
Free-floating point absorber  
Sea testing in Hawaii  
(Ocean Power Technologies, USA)

## TIDAL CURRENT ENERGY



**The Blue Concept**  
Sea testing in Norwegian Strait of Kvalsundet, Norway  
(Hammerfest Strom AS, Norway)



**Kinetic Hydro Power Systems (KHPS)**  
Turbine tested in East River, USA  
(Verdant Power, USA)



**Seaflow**  
Sea testing off Lynmouth, Devon, UK  
(Marine Current Turbines Ltd, UK)



**Submerged Ducted Rim**  
Sea testing at Race Rocks, BC, Canada  
(Clean Current Power Systems Incorporated, Canada)



**Enermar system**  
Sea testing in the Strait of Messina, Italy  
(Ponte di Archimede, Italy)



**Open-Centre Turbine**  
Installation in Orkney, Scotland  
(OpenHydro, Ireland)

## SALINITY GRADIENT



Experimental set-up for membrane development for harnessing salinity gradient energy Osmotic Power  
(Statkraft SF, Norway)

## THERMAL GRADIENT



Demonstration of 1 MW OTEC Device Thermo-dynamic Rankine cycle  
(Saga University, Japan)

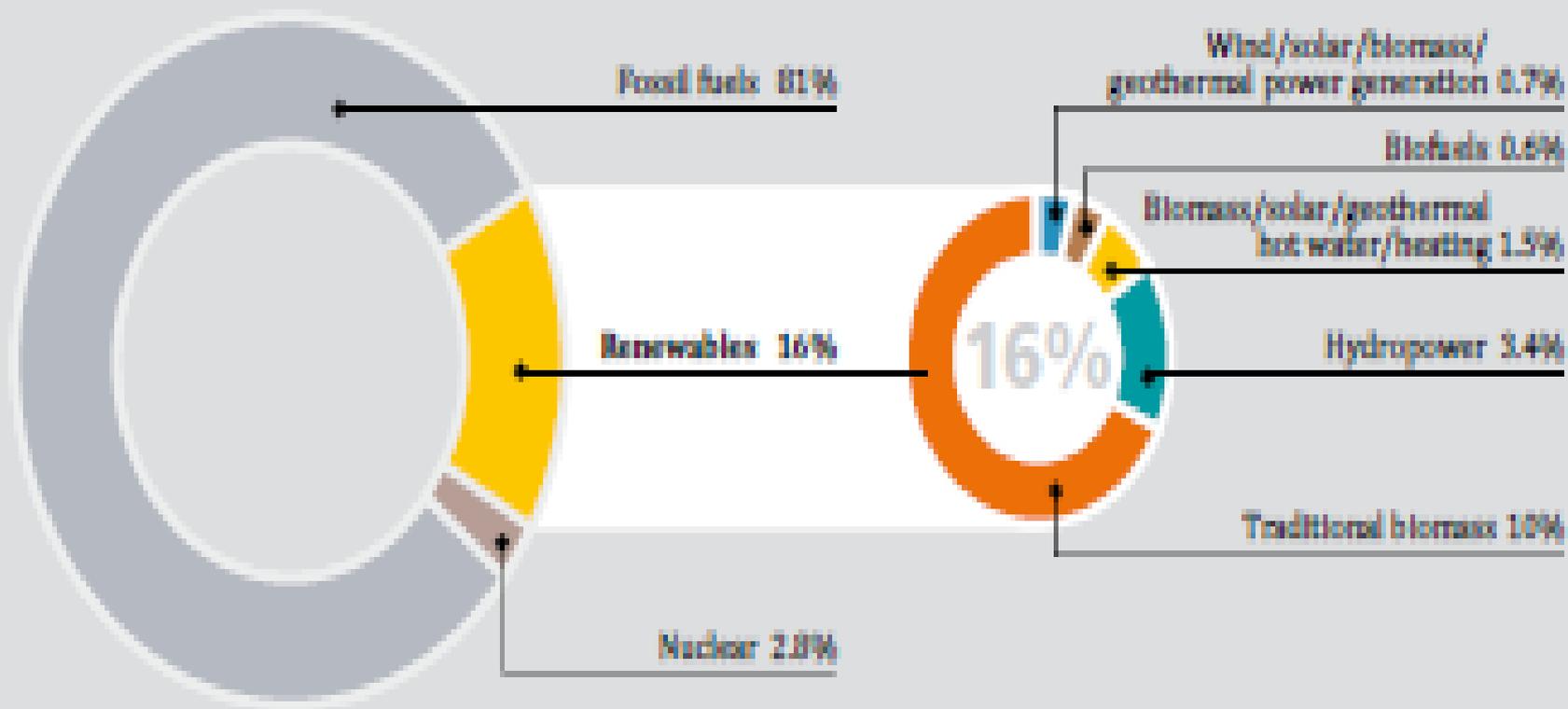


Experimental 30 kW OTEC system  
(Saga University, Japan)

# Bilan énergétique mondial 2009

Source : REN21

Figure 1. Renewable Energy Share of Global Final Energy Consumption, 2009

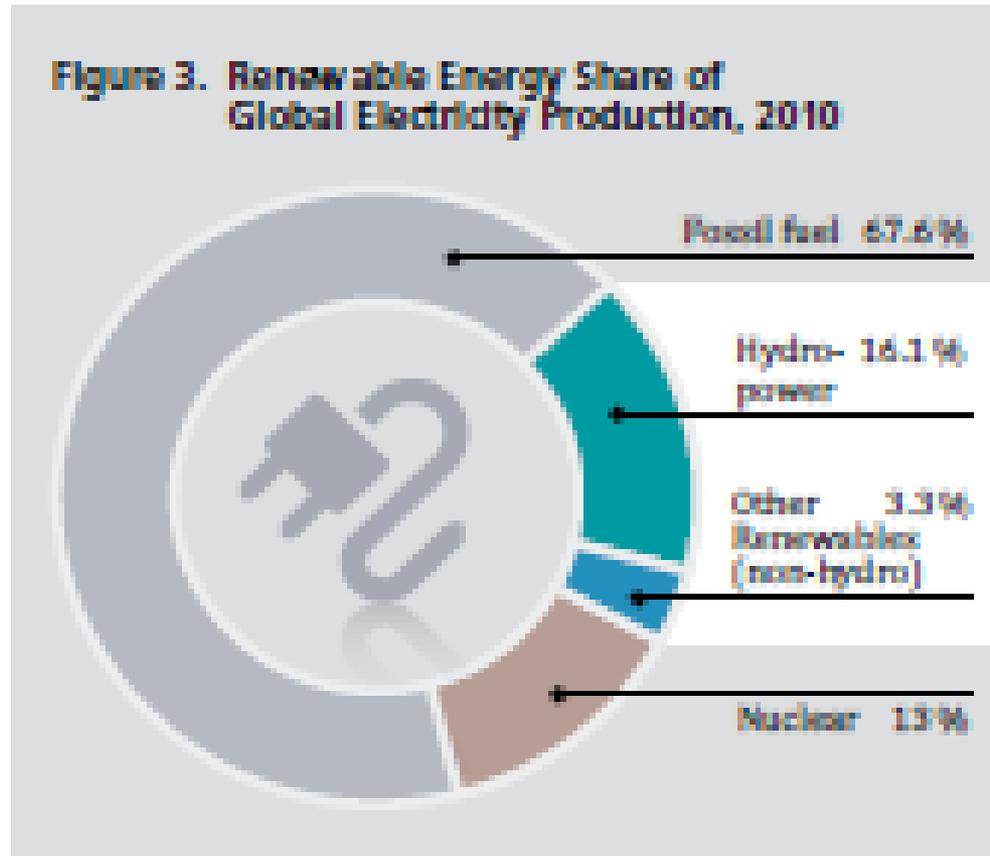


# Bilan électrique mondial 2009



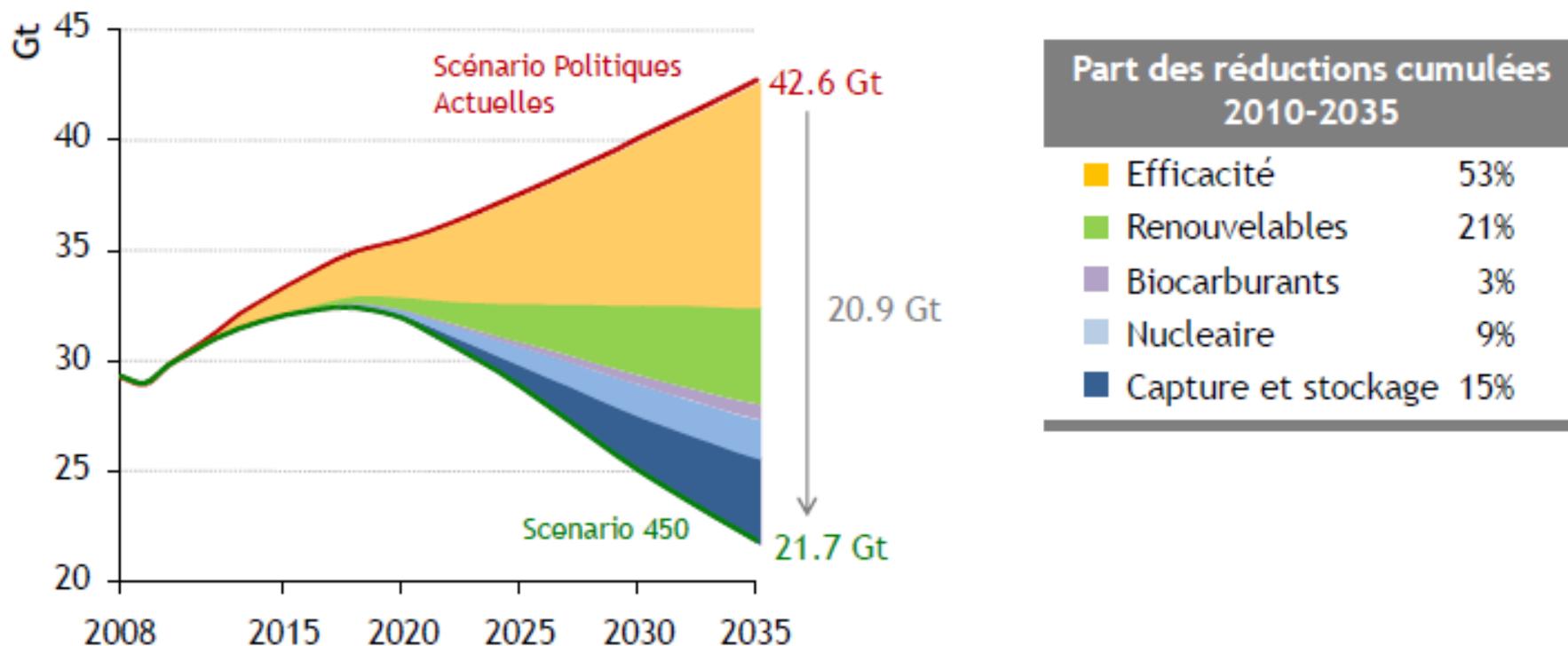
Source REN21

**Figure 3. Renewable Energy Share of Global Electricity Production, 2010**



# La place des EnR dans la prévention du changement climatique selon l'AIE

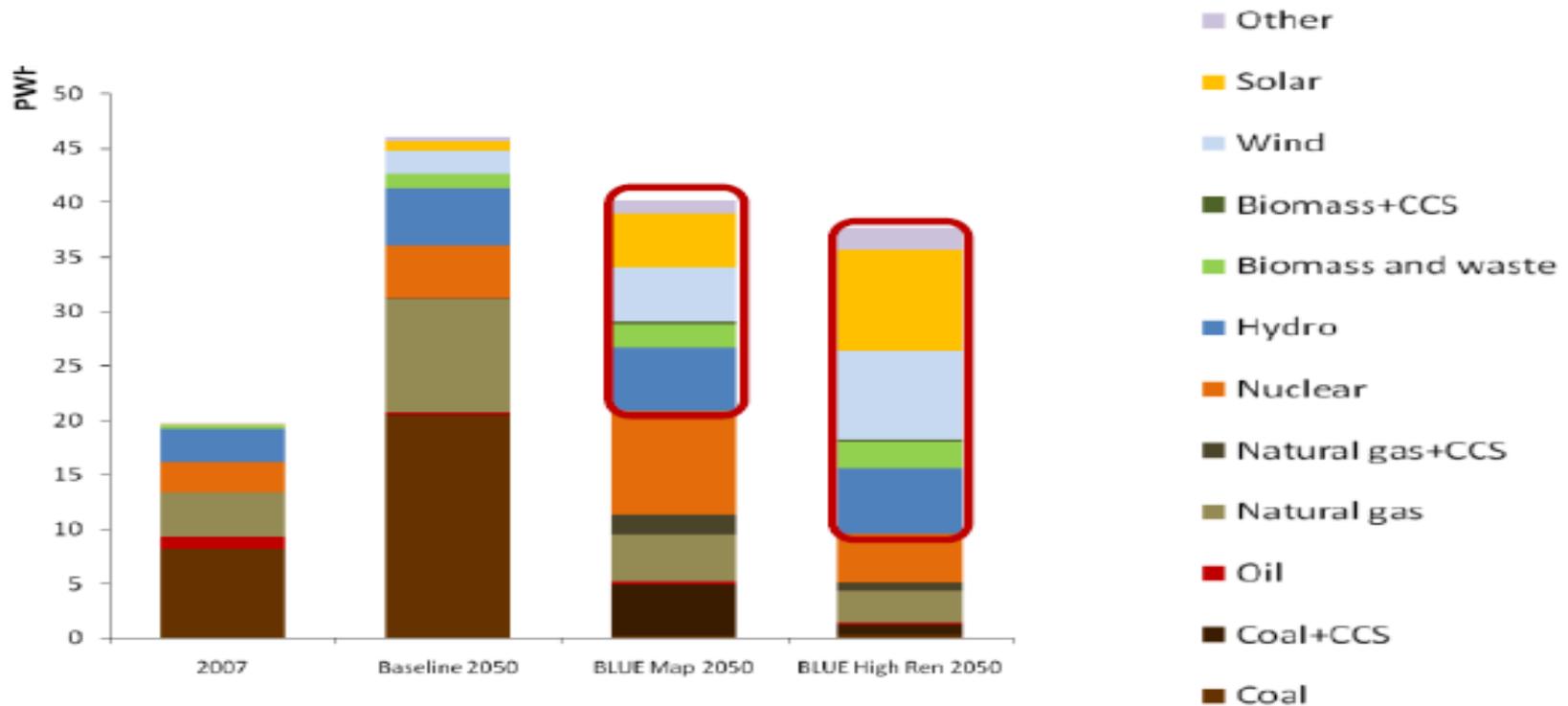
Les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> dues à l'énergie dans le scénario 450 par rapport au scénario "Politiques actuelles"



*Les renouvelables offrent la deuxième contribution aux réductions d'émissions de CO<sub>2</sub>*

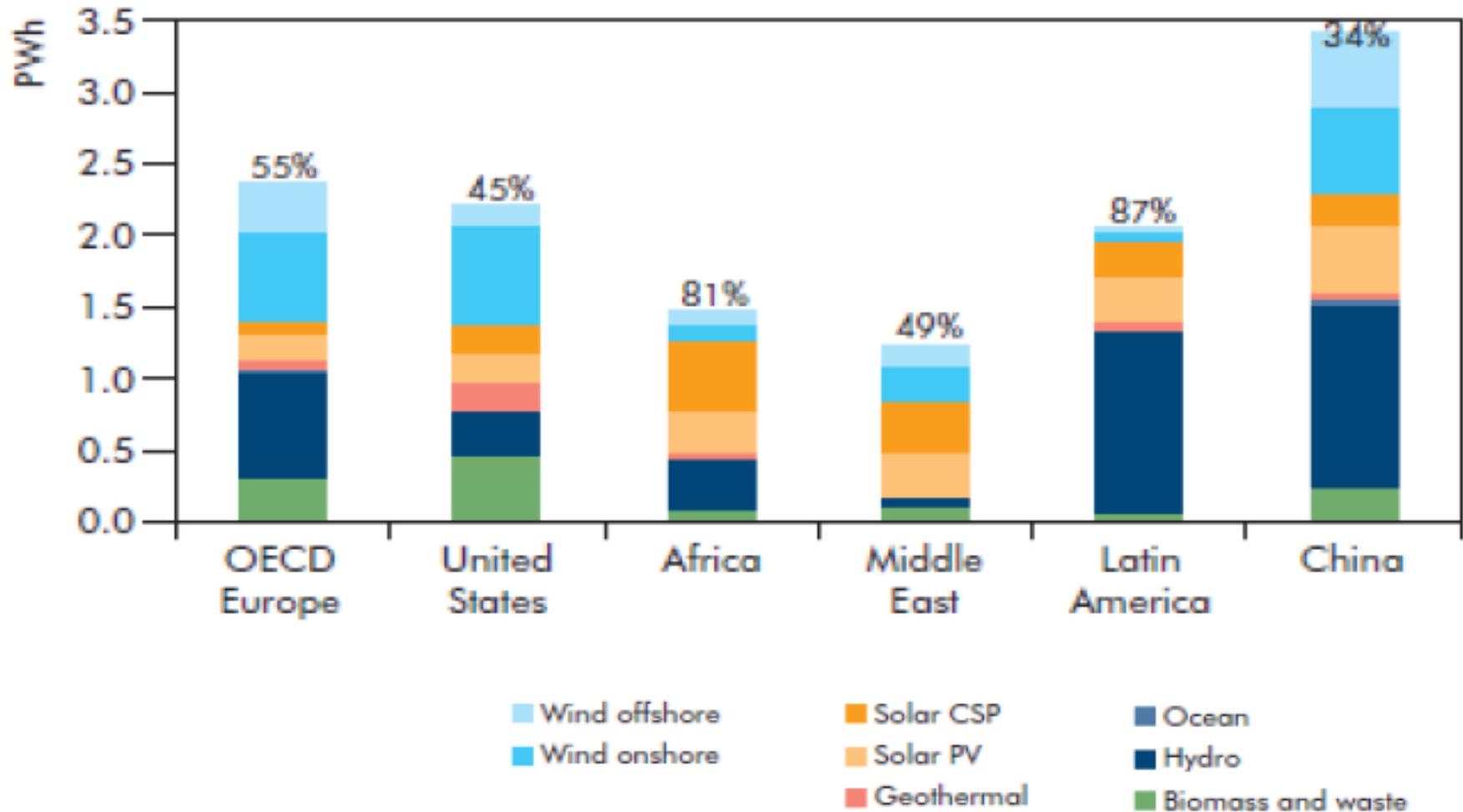
# Part des EnR dans le mix électrique selon les scénarios AIE

## The primary role of renewables in the BLUE scenarios



**Renewables provide from almost half to three quarters of the global electricity mix in 2050**

# Le mix d'électricité renouvelable dans les grandes régions du monde en 2050 selon l'AIE



**The mix varies according to resources**

# Plus d'EnR dans l'électricité

## A quelles conditions ?

---

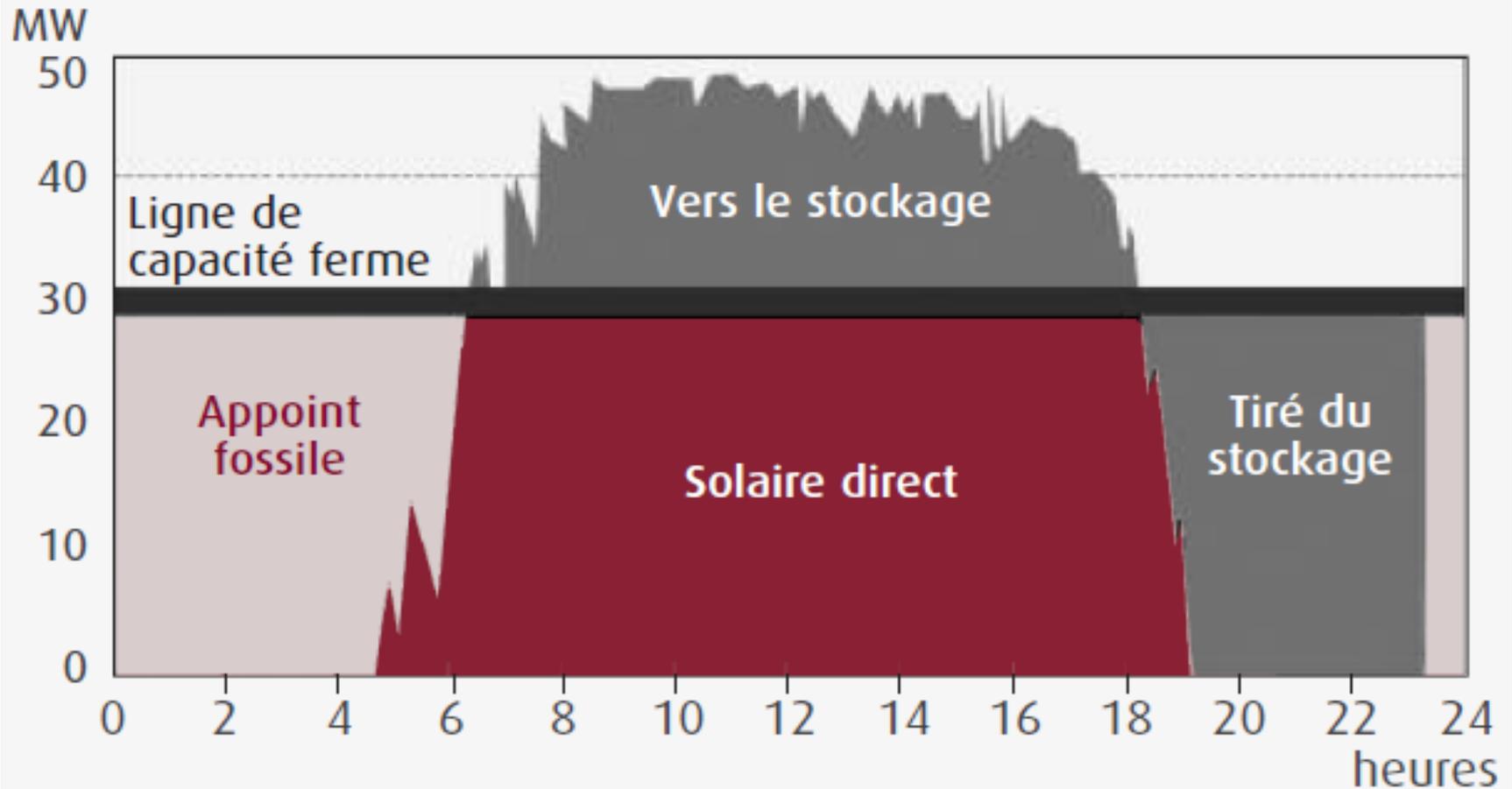


- Contraintes : coûts, variabilité, facteur de capacité
- Possibilités :
  - ❖ Hydraulique : potentiel saturé en Europe
  - ❖ + d'interconnexions avec les zones les plus ventées ou ensoleillées
  - ❖ Stockage : STEP, batteries de VE
  - ❖ Management de la demande
  - ❖ Géothermie
  - ❖ Biomasse
  - ❖ Appui flexible des fossiles en dernier recours

# Desertec



# Exemple : Centrales solaires thermodynamiques

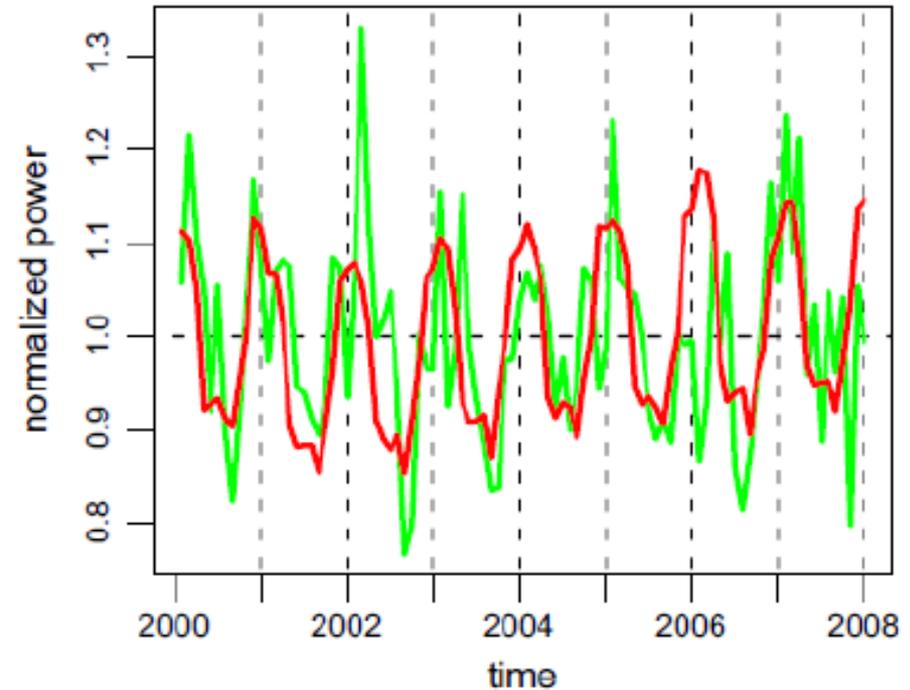
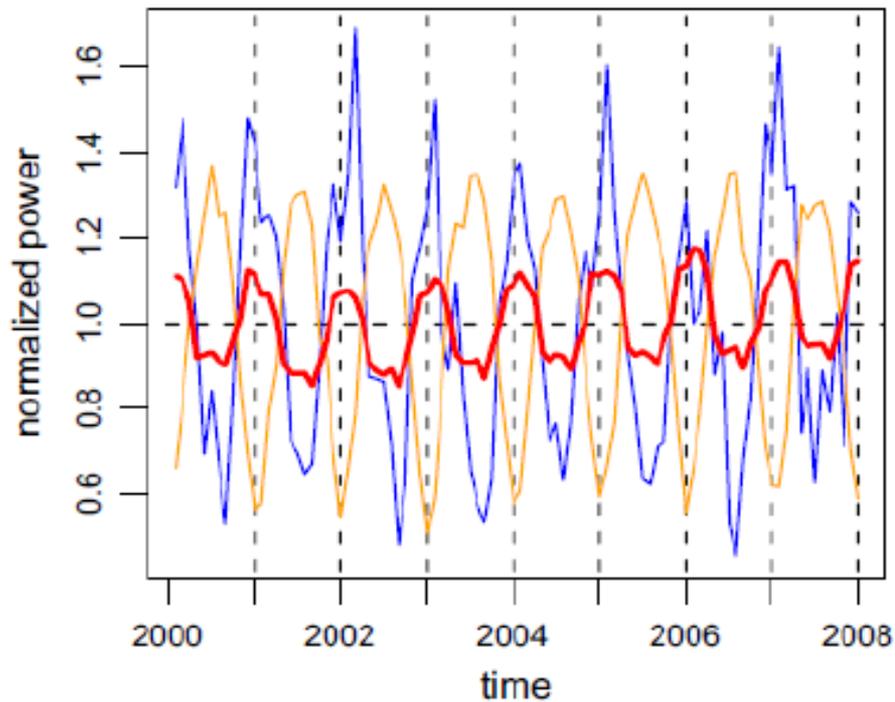


Source : GEYER Michael, 2007, in AIE. *Technology Roadmap: Concentrating Solar Power*. Paris : AIE / OCDE, mai 2010.

# Interconnexion : le foisonnement des sources variables et de la demande



**Un mix de 60% d'éolien et 40% de solaire varie selon les saisons comme la courbe de charge de l'UE-27...**



**... Mais suppose d'importantes capacités de stockage**

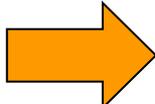
# Plus d'EnR dans les usages thermiques

---

- Via l'électricité : pompes à chaleur, usages performants dans l'industrie,...
- Biomasse : chaleur seule ou cogénération
- Géothermie
- Solaire : eau chaude, procédés industriels, valorisation des apports gratuits dans le bâtiment
- Les réseaux de chaleur comme vecteur
- Stockage intersaisonnier souterrain ?

# Plus d'EnR dans les transports

---

- Via l'électricité : véhicules électriques et hybrides rechargeables, transports en commun, ferroutage, camions hybrides électrifiés sur autoroutes...
- Biocarburants (nouvelles générations ?), « dopés » à l'énergie solaire (40 % des intrants autoconsommés)
- Carburants solaires : PV ou CSP  H<sub>2</sub>

# Conclusions

---

- La ressource n'est pas un problème
- La compétitivité progresse rapidement mais doit encore progresser
- Le soutien par les politiques publiques reste une nécessité
- Le stockage est la clé d'une diffusion large des EnR

---

# Merci

[www.enr.fr](http://www.enr.fr)