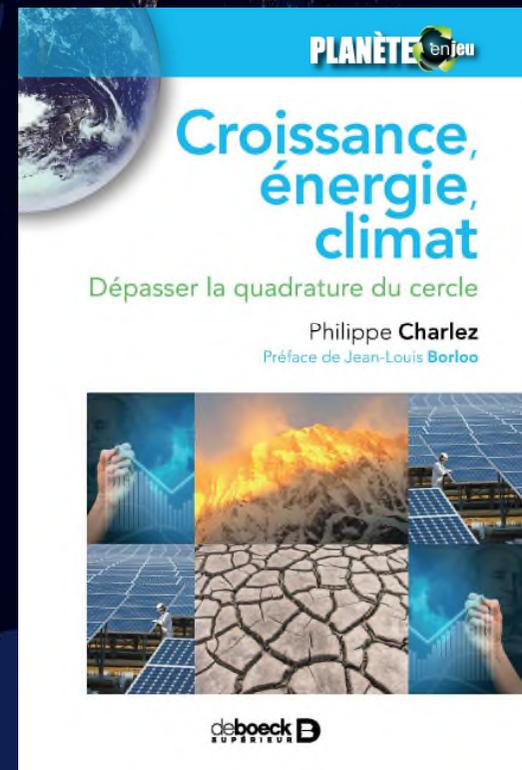
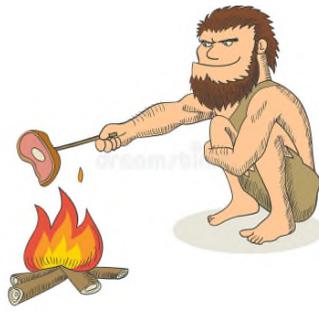


www.philippecharlez.com

philippecharlez@gmail.com

$$L = \sqrt{\pi}$$

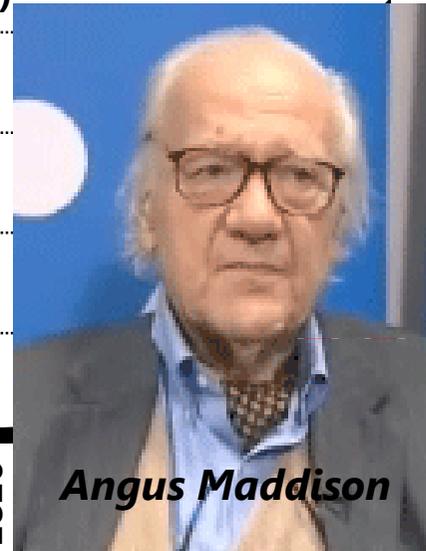
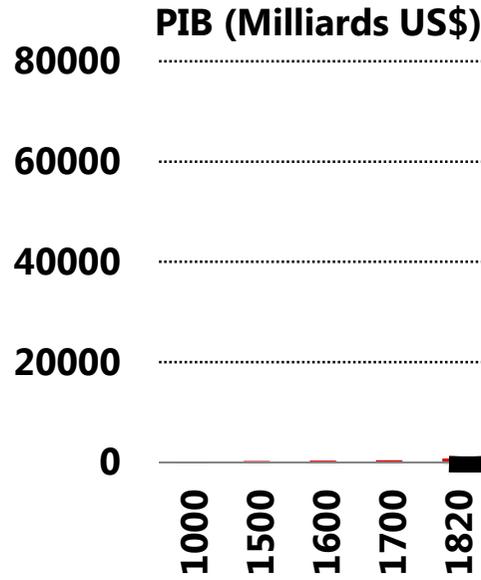




500000 BC



Cuivre : 4500 BC  
Bronze : 3000 BC  
Fer : 1000 BC



Angus Maddison



3500 BC

Ramses II 1300 BC



Ben Hur an zero



Diligence début XIXe



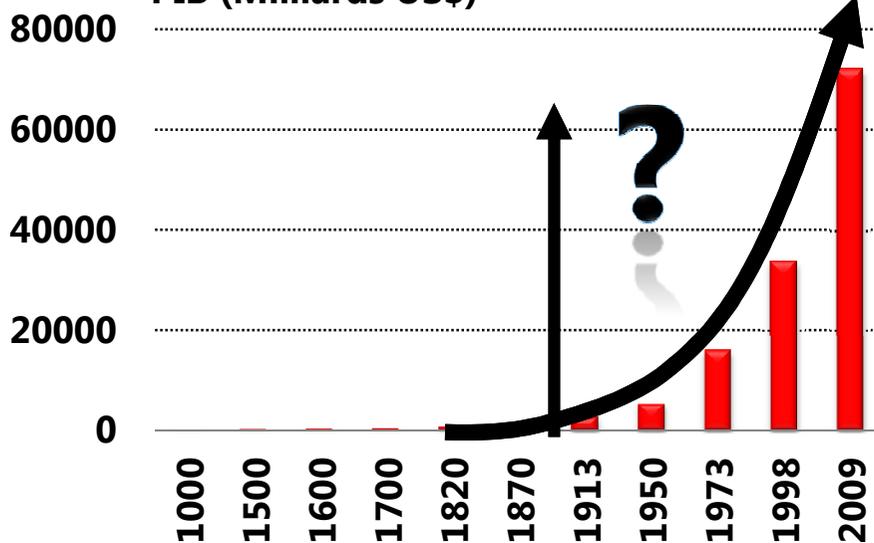
500000 BC



Energie mécanique

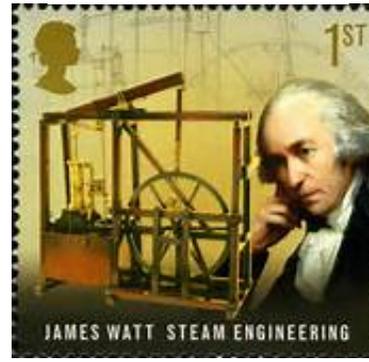
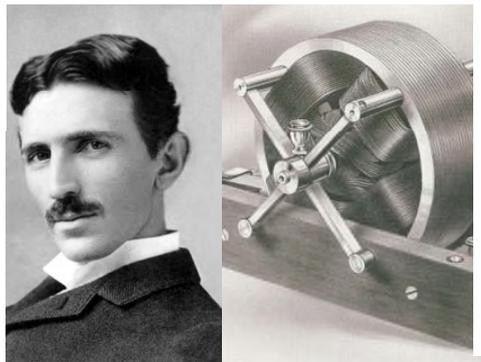
Chaleur

PIB (Milliards US\$)



Nicolas Tesla

James Watt



Moteur électrique

Machine à vapeur

Michel Faraday

Electricité

Energie mécanique



Générateur électrique

# Rendement surfacique du bois

Par hectare sur 20 ans		
<b>Bois</b>	<b>600 MWh</b>	<b>10000</b>
<b>Pétrole</b>	<b>6 TWh</b>	



Nucléaire



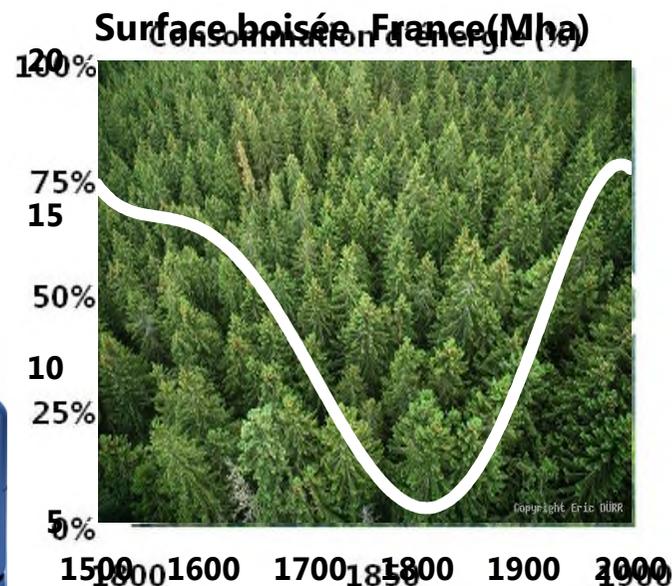
Charbon



Pétrole



Gaz





**Nucléaire**



**Charbon**



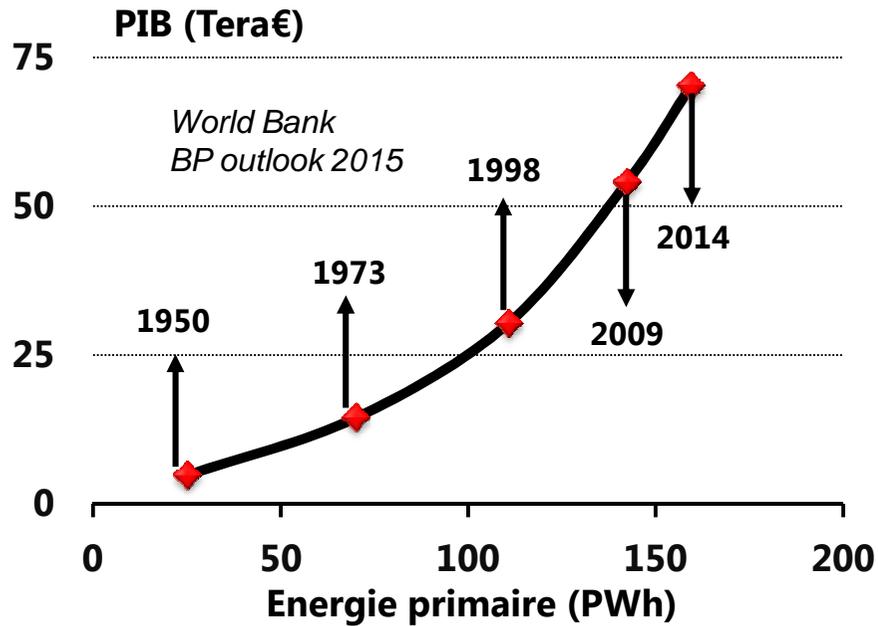
**Pétrole**



**Gaz**

Type	Rapport de surface
Solaire	180
Vent	670
Bois	10000

# La relation croissance / énergie



$$\text{Intensité énergétique} = \frac{\text{Energie}}{\text{PIB}}$$

kWh/€

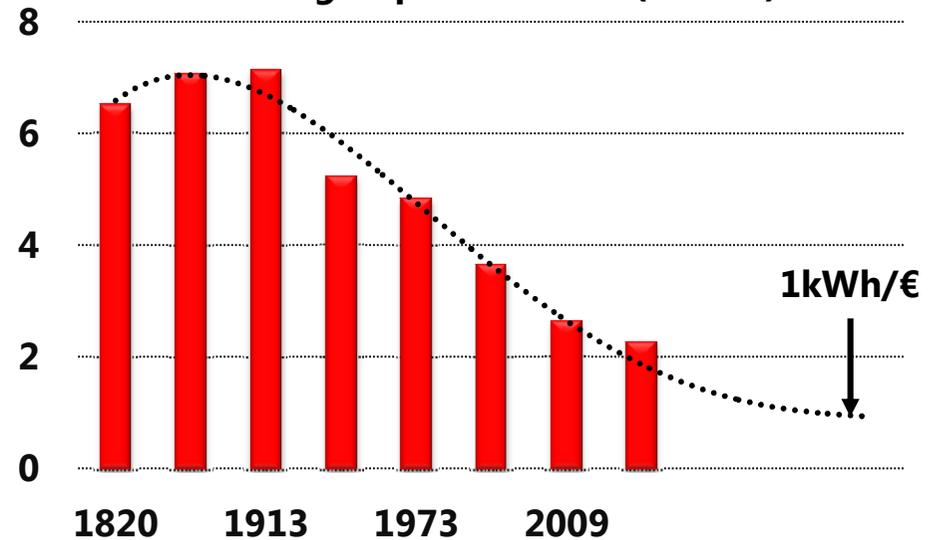
Russie	4,7
Inde	4,0
Chine	3,7
Monde	2,3
Etats Unis	1,7
France	1,1
Allemagne	1,0
Royaume Uni	0,8

kWh/€

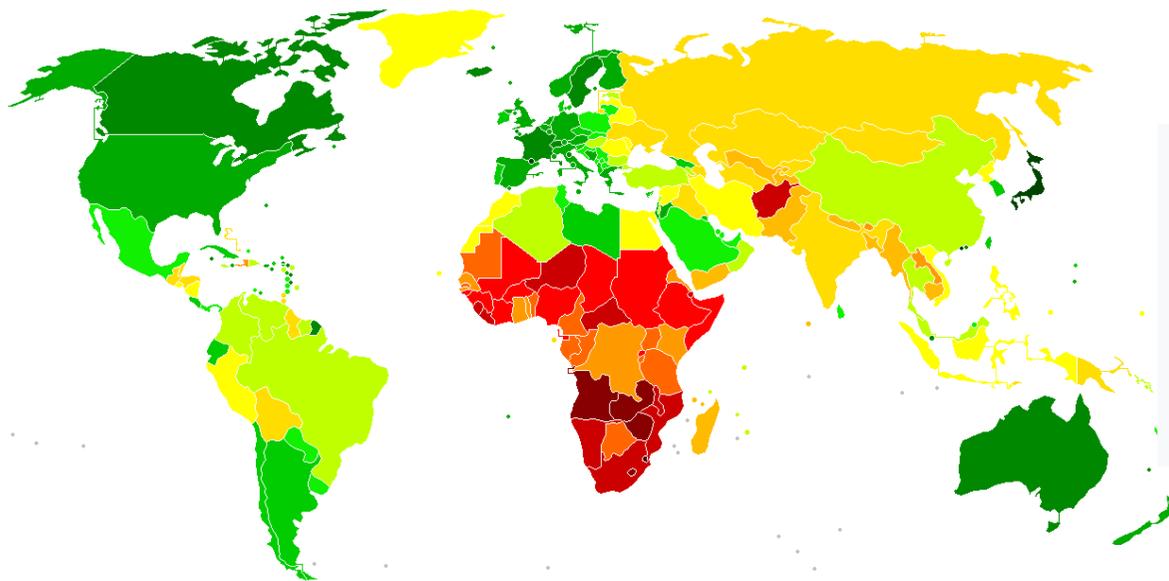


Syndrome du pauvre

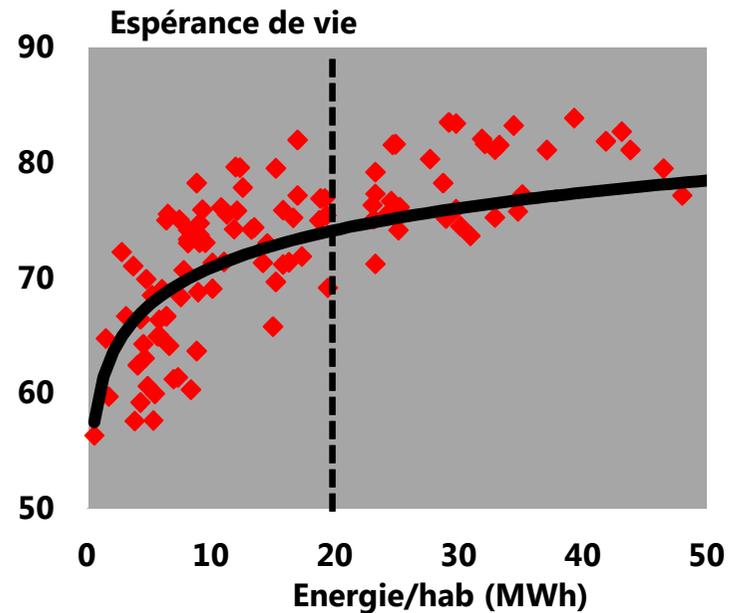
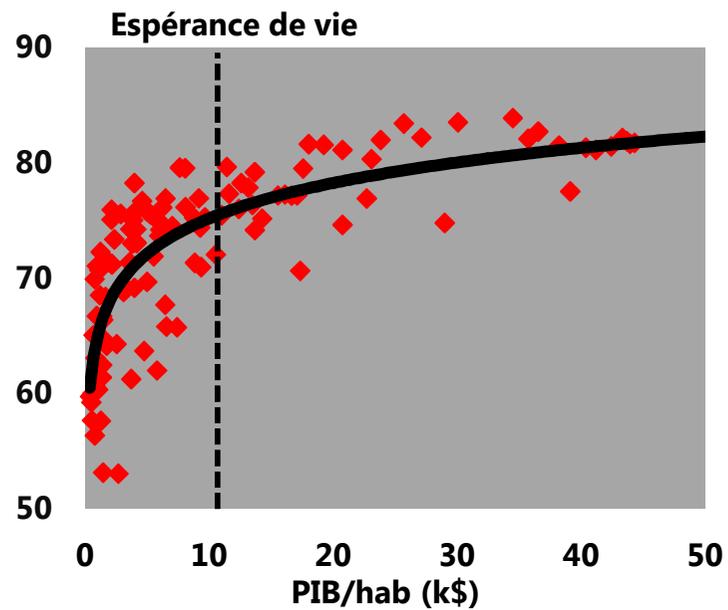
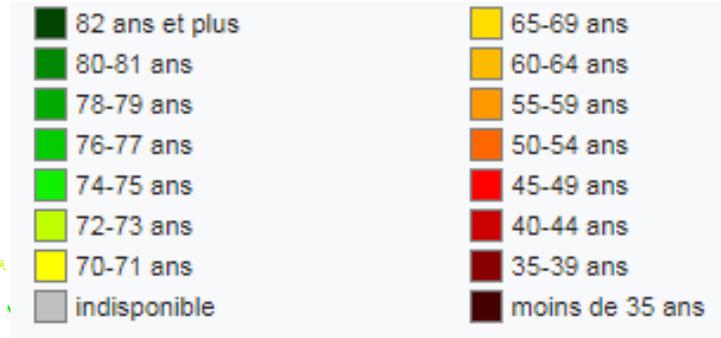
Intensité énergétique mondiale (kWh/€)



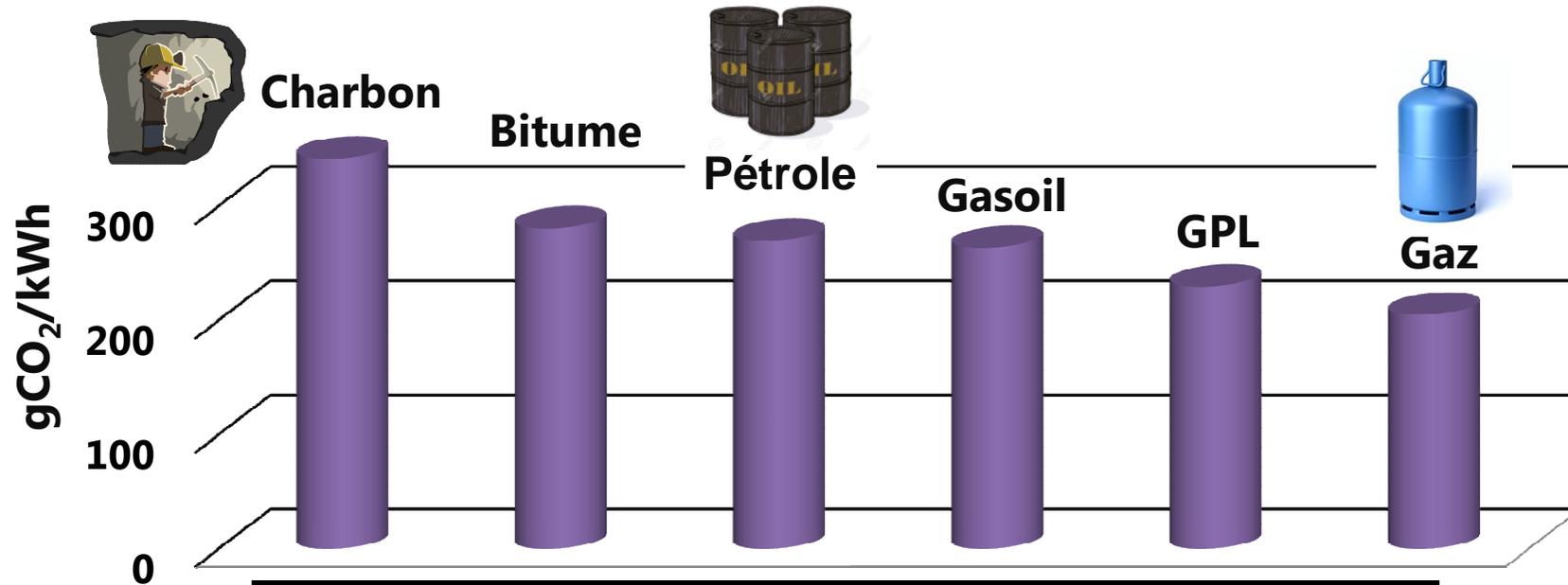
# Croissance, énergie et développement



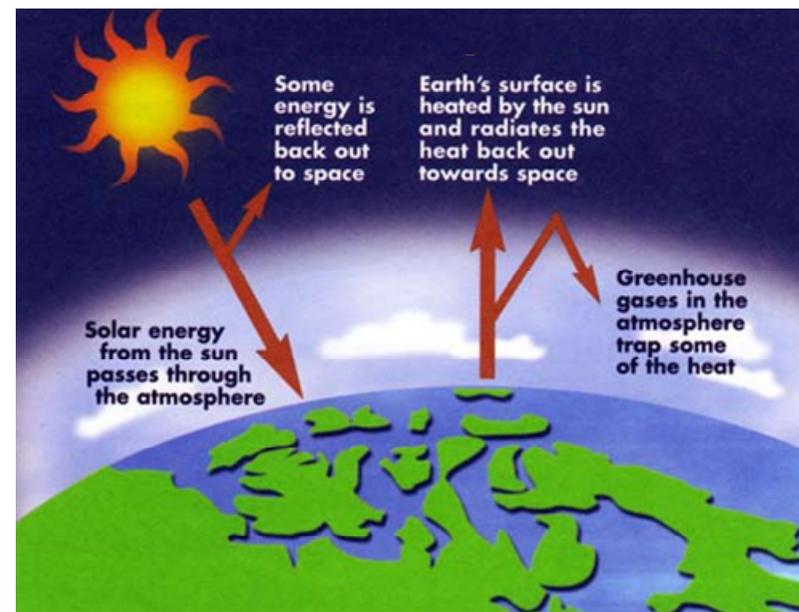
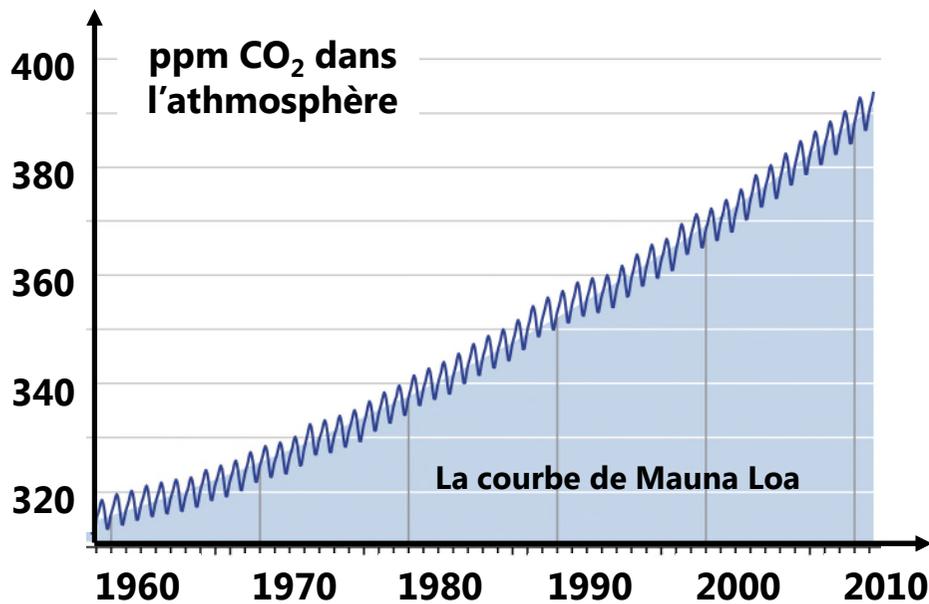
## Carte de l'espérance de vie



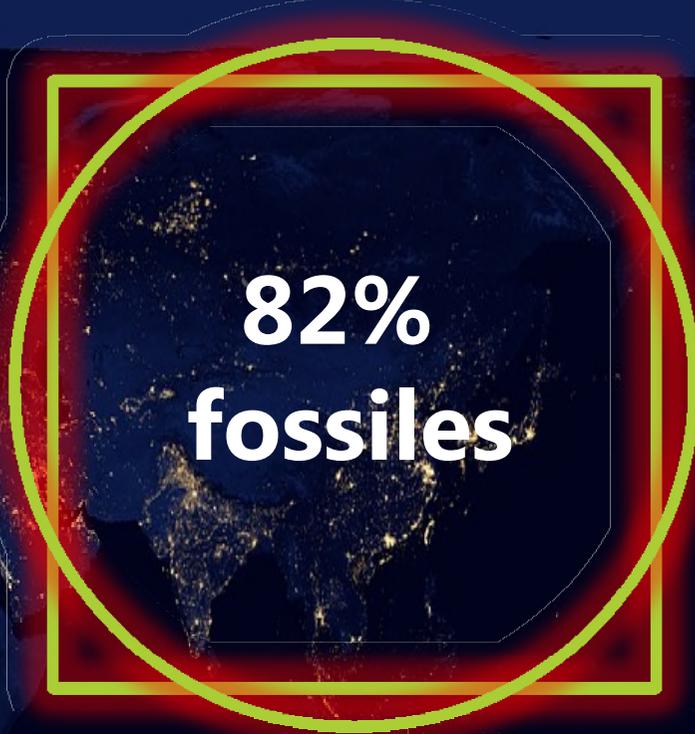
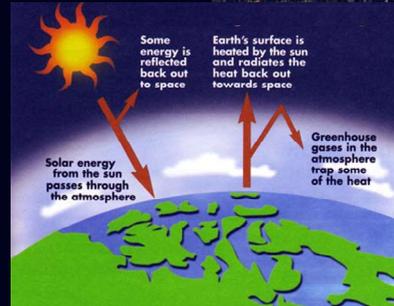
# Combustion des énergies fossiles et émission des GES



**Emissions annuelle de CO<sub>2</sub> « fossiles » = 33,2 Gtonnes**



# La quadrature du cercle



82%  
fossiles

## Dépasser la quadrature du cercle?

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{MWh}} \times \frac{\text{MWh}}{\text{k€}} \times \frac{\text{k€}}{\text{hab}} \times \text{hab}$$

### Equation de Kaya

1. Croissance démographique
2. Croissance économique
3. Intensité énergétique
4. Pouvoir d'émission

### Deux leviers pour réduire les émissions

- Déplacer les fossiles vers les énergies décarbonnées
- Réduire l'intensité énergétique

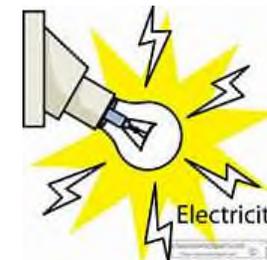
# L'énergie : cinq usages principaux



**Transports**



**Habitat**



**Electricité**

Usage	Charbon	Pétrole	Gaz	Non fossiles	% mix
Transports	0%	92%	2%	7%	19%
Habitat	7%	16%	32%	46%	15%
Industrie	43%	19%	31%	6%	22%
Petrochimie	9%	74%	17%	0%	7%
Electricité	47%	5%	22%	25%	38%

# Remplacement du pétrole dans les transports

## Les transports

- 92% de pétrole
- 26% des émissions de CO<sub>2</sub>

Train	5%
Camions	17%
Voitures	30%
Bateaux	31%
Avions	17%

78% des émissions  
« transports »

Gaz comprimé



Gaz liquéfié



Francisco (gaz liquéfié)



Camions

&

Bâteaux

Voitures



### Inconvénients

- ✓ Autonomie (150 km)
- ✓ Charge : 6 to 10 heures
- ✓ Disponibilité du lithium
- ✓ Disponibilité du cobalt

Puissance (kW)	Temps (heures)
3	6 à 10
22	1
>1MW	2 min

1000 kW = 800 lave linges

# Déplacement du mix électrique vers les renouvelables

## L'électricité c'est

- 41% de charbon
- 22% de gaz
- 40% émissions de CO<sub>2</sub>

Charbon	41%	
Pétrole	4%	
Gaz	22%	
Nucléaire	11%	78%
Hydro	16%	
Renouvelables	6%	

	Eolien	Solaire
Etats-Unis	4%	0,4%
Chine	3%	0,5%
Allemagne	9%	5,7%
Espagne	19%	4,9%
France	3%	1,1%

France : réduire de 25% le nucléaire en 7 ans

**77% nucléaire**  
**60 réacteurs 1 GW**  
**60 GW**



	France	Allemagne
Type	Rapport (TWh/GW)	Rapport (TWh/GW)
Nucléaire	7,0	7,2
Eolien	1,9	2,0
Solaire PV	1,1	1,0



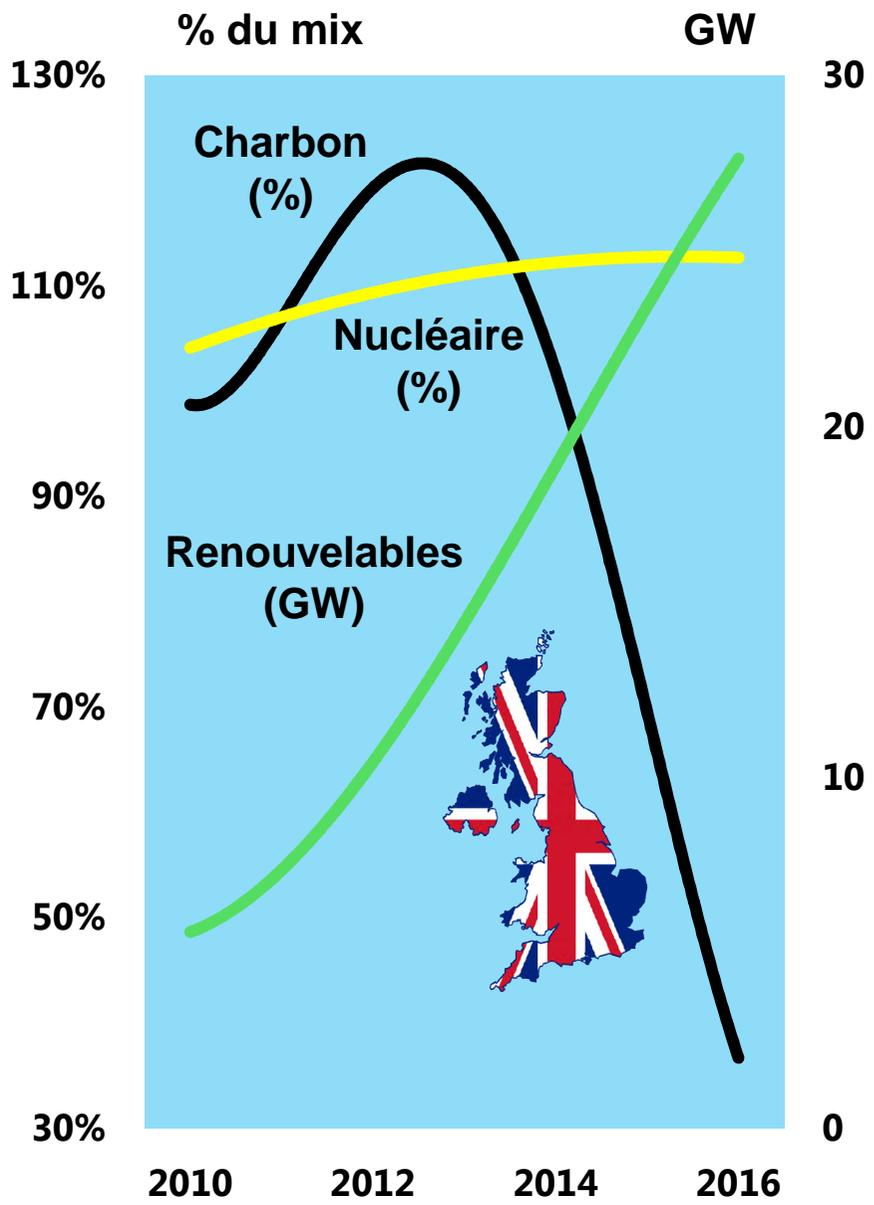
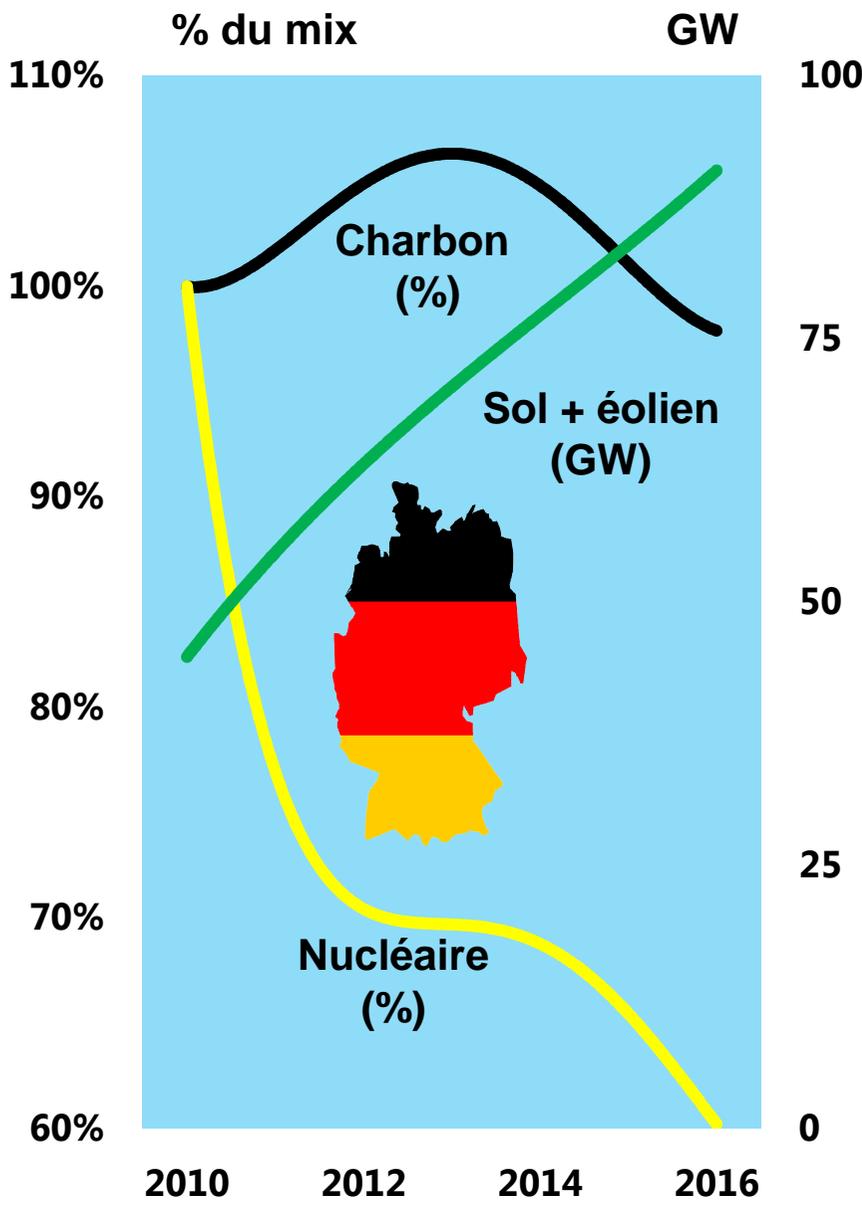
**5000 éoliennes en 2017**

**-20 GW nucléaire**  
**+ 70 GW éolien**  
**+ 35000 éoliennes de 2 MW**

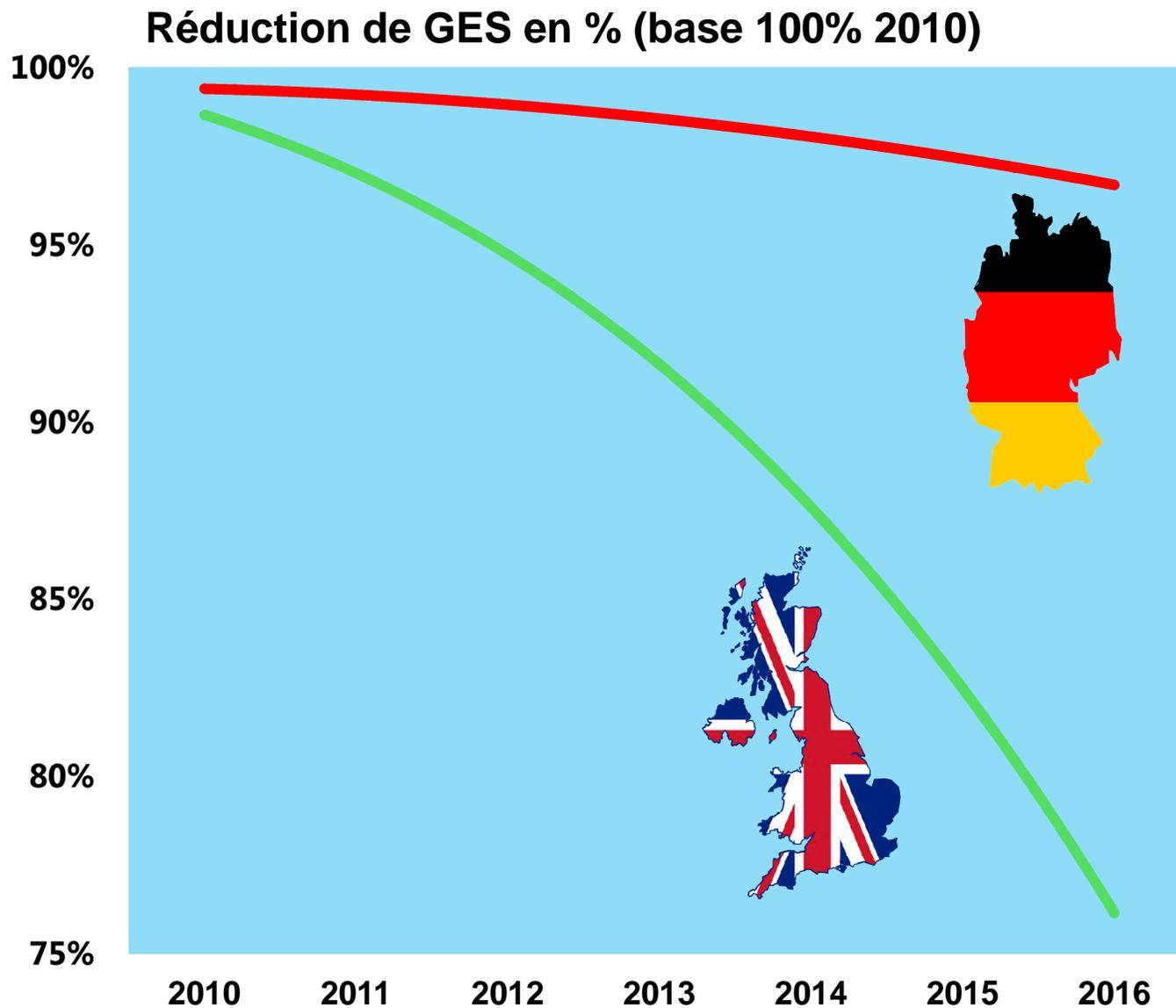


**40000 éoliennes eq en 2025**

# Allemagne et Grande Bretagne : des stratégies opposées



# Allemagne et Grande Bretagne : effets pervers



# Améliorer le rendement de la génération électrique

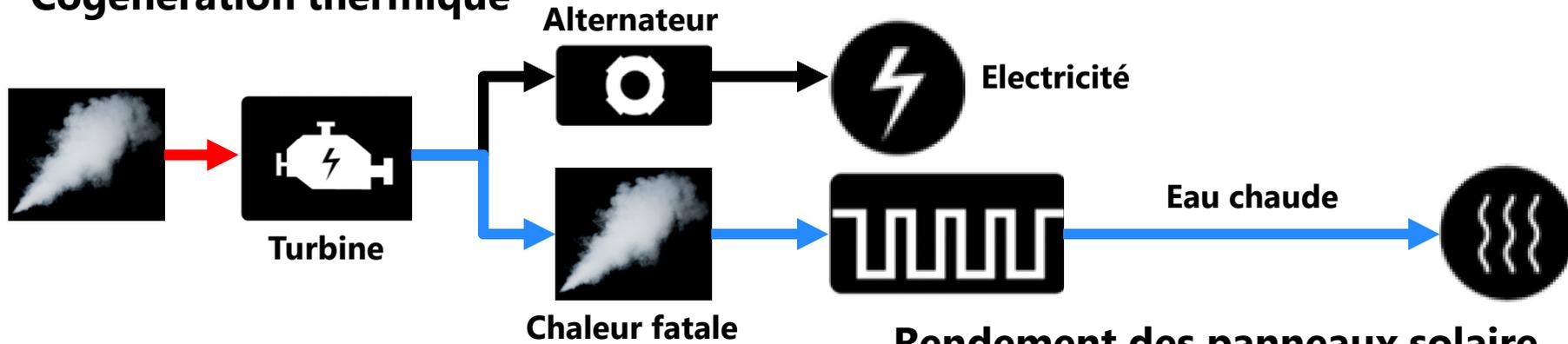
	Rendement
Charbon	35%
Pétrole	32%
Gaz	38%
Non fossiles	53%
Total	40%



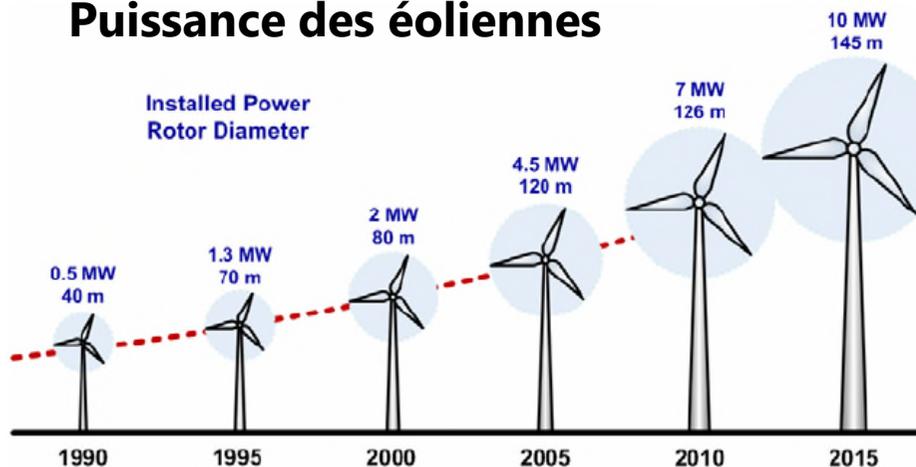
1 kWh d'électricité c'est presque 3 kWh d'énergie primaire



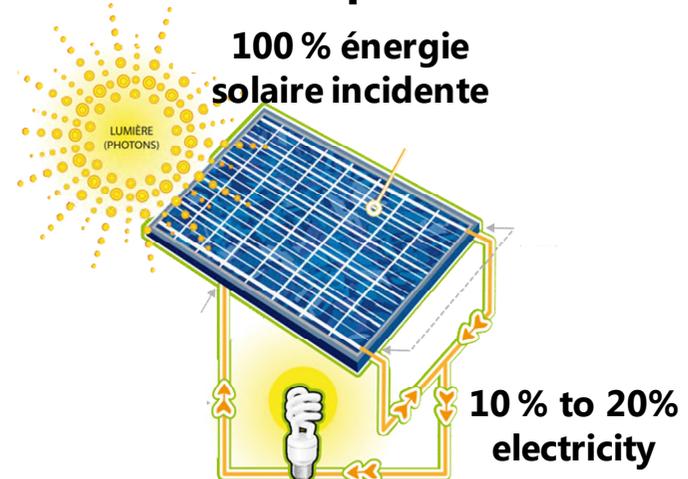
## Cogénération thermique



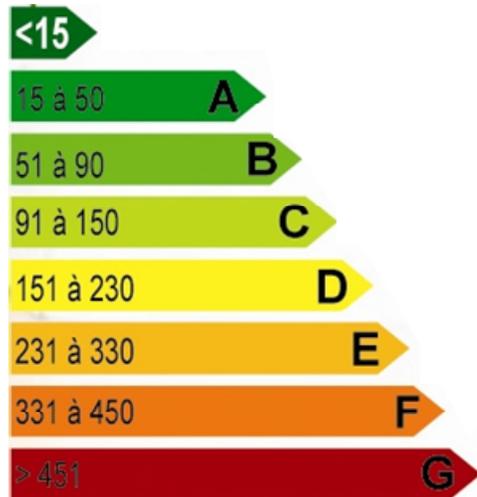
## Puissance des éoliennes



## Rendement des panneaux solaires



# Réduire la consommation des passoires énergétiques



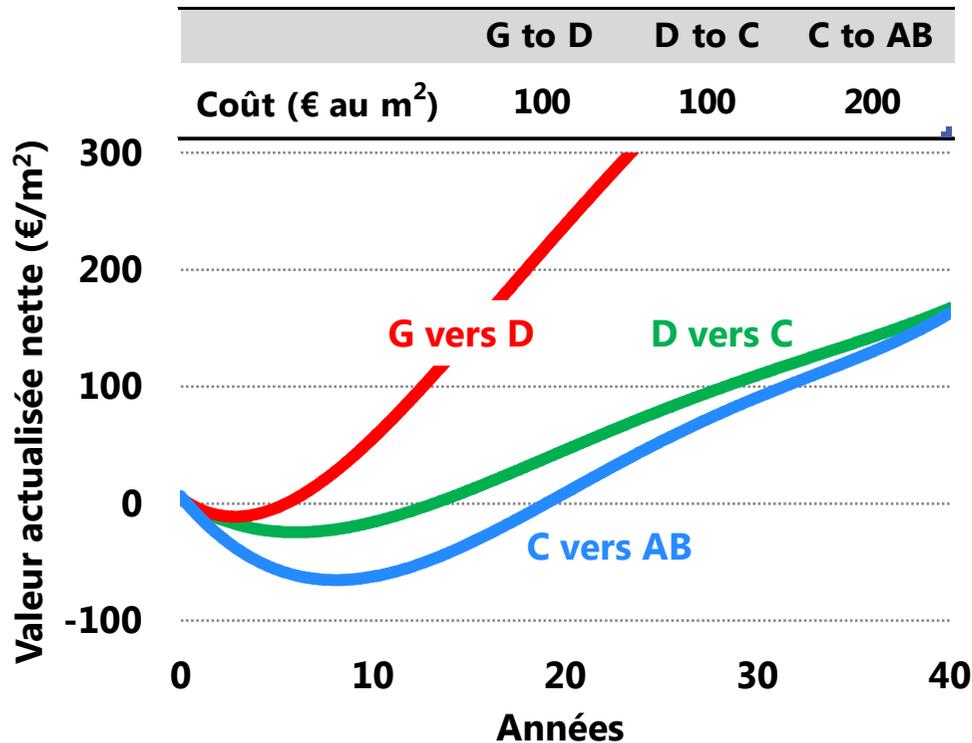
Catégorie	%	Coût (G€)
AB	7%	0,8
C	14%	3,2
D	31%	11,1
E	33%	17,4
F	13%	9,5
G	2%	1,9
	100%	44

## G vers D

- ✓ Coût 80 G€
- ✓ Economie 12 G€/an
- ✓ Retour sur 7 ans

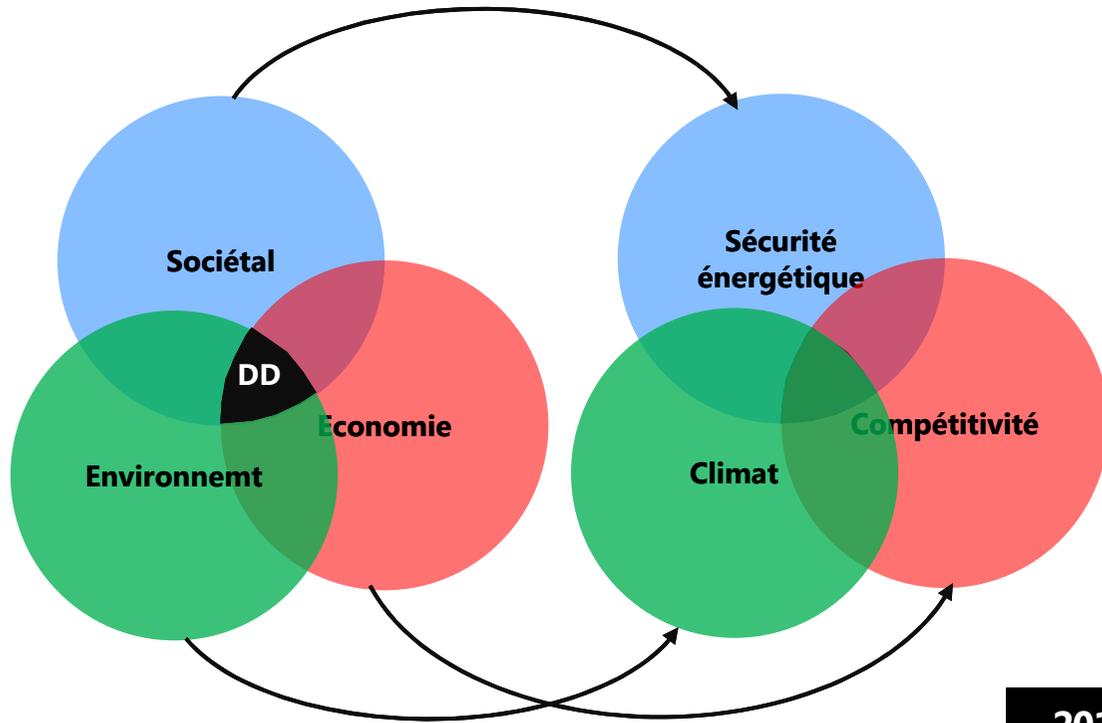


Syndrome du pauvre



L'inefficacité de l'incitation fiscale

# COP 21 & three leverages of the transition

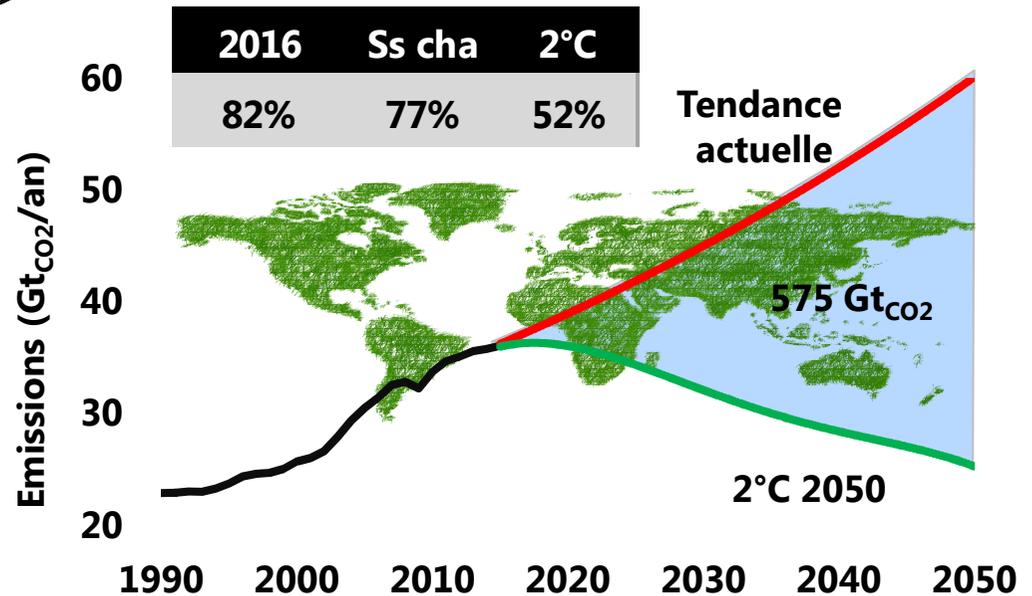


**COP15**  
**2008**  
**Copenhagen**  
**2°C 2050**



**COP21**  
**2015**  
**Paris**  
**1,5°C 2100**

Pays	% effort
Chine	31%
Etats-Unis	13%
Europe	6%
Reste monde	50%

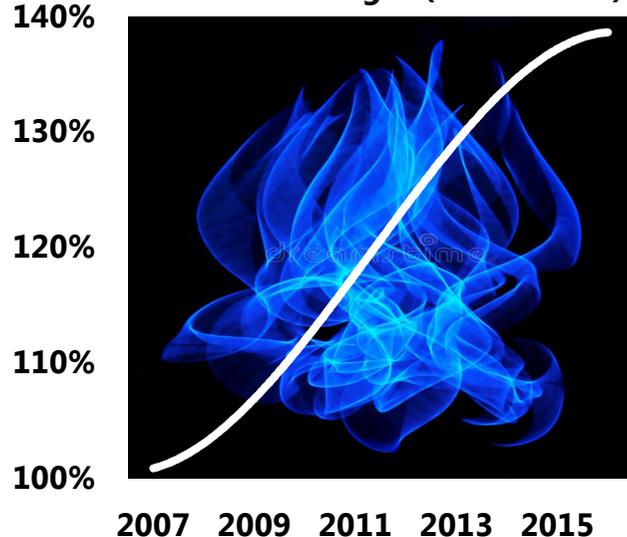


# Etats-Unis : sécurité énergétique retrouvée



2015 : 86%		
2050		
	Ss cha	2°C
Charbon	21%	9%
Pétrole	26%	17%
Gaz	32%	28%
Fossiles	77%	52%

Production de gaz (base 1 2007)



Charbon

vers

gaz



Capacité solaire + éolien (GW)



100%



85%

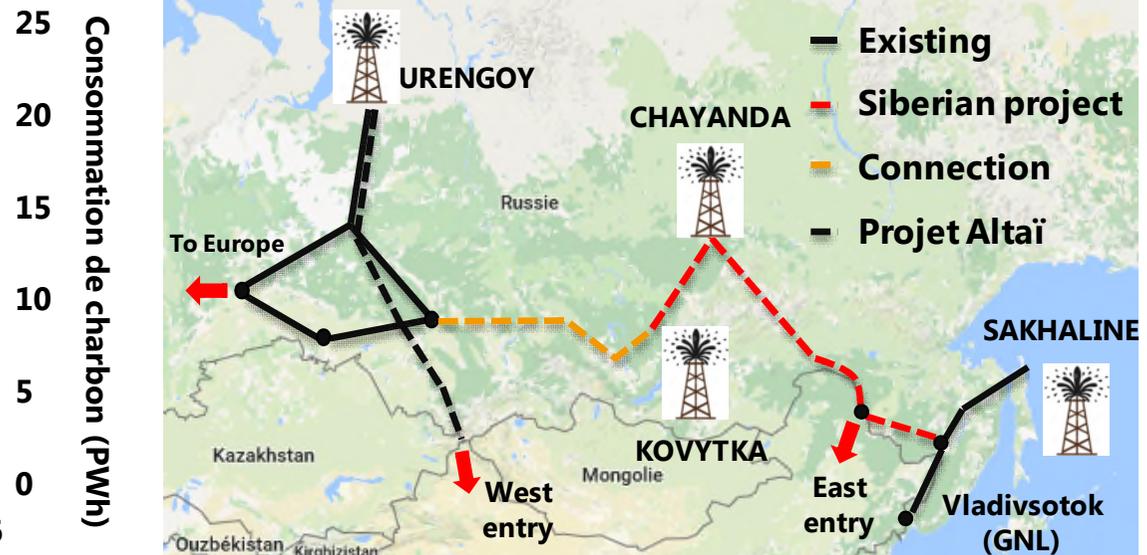
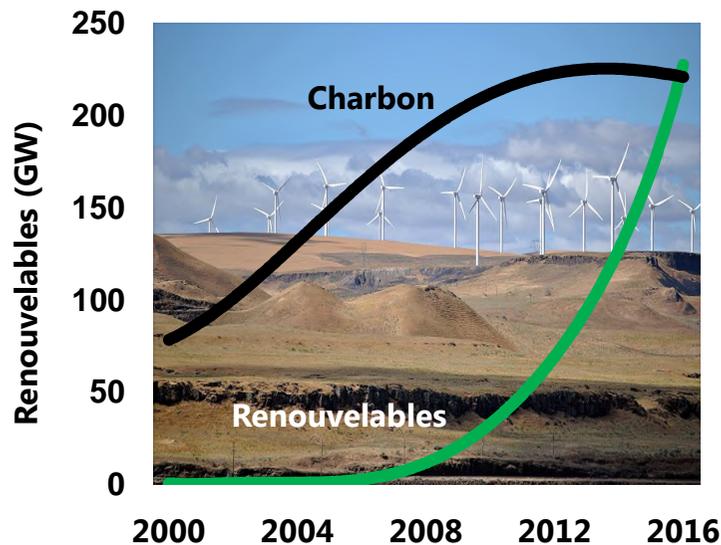
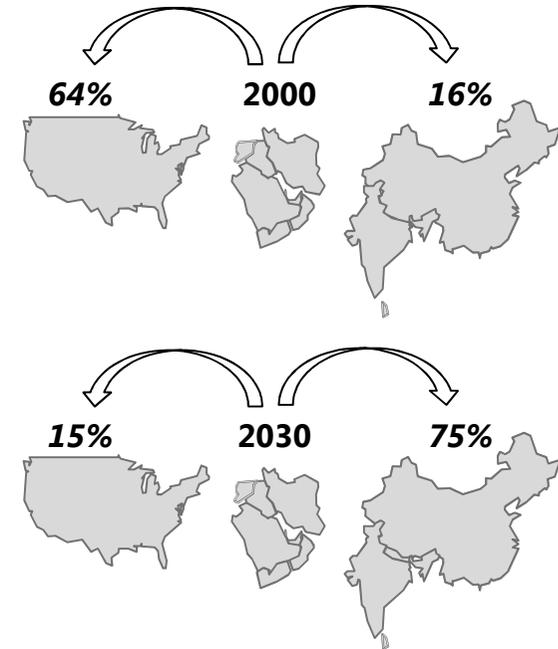
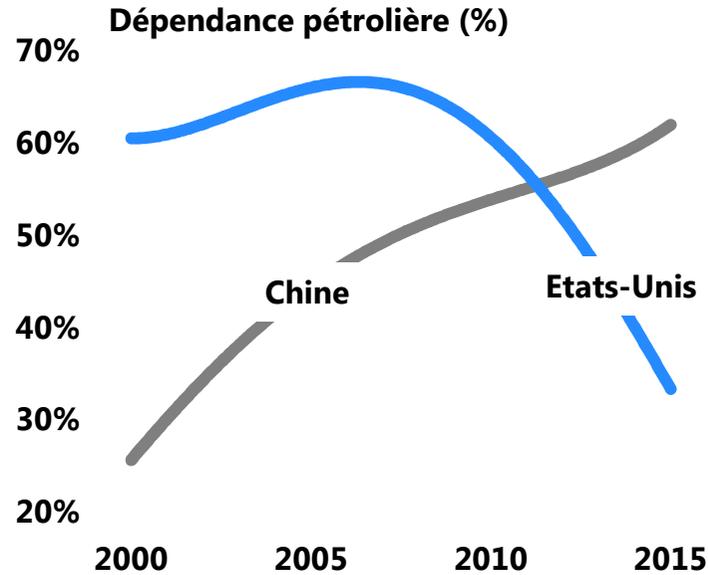
100% 90% 80% 70% 60%

Consommation de charbon

# Chine : sécurité énergétique et GES



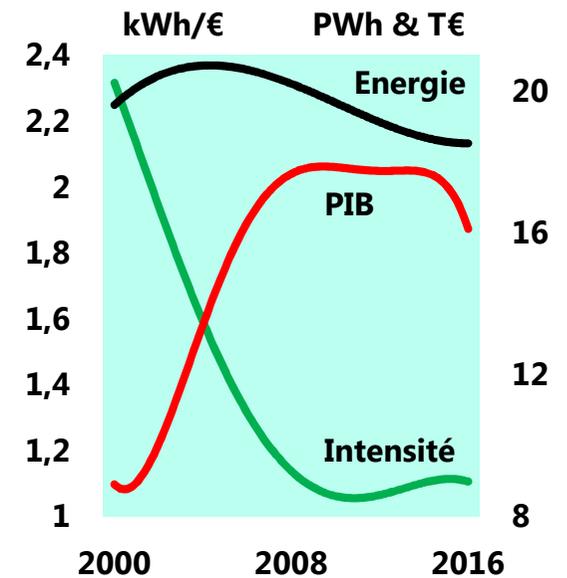
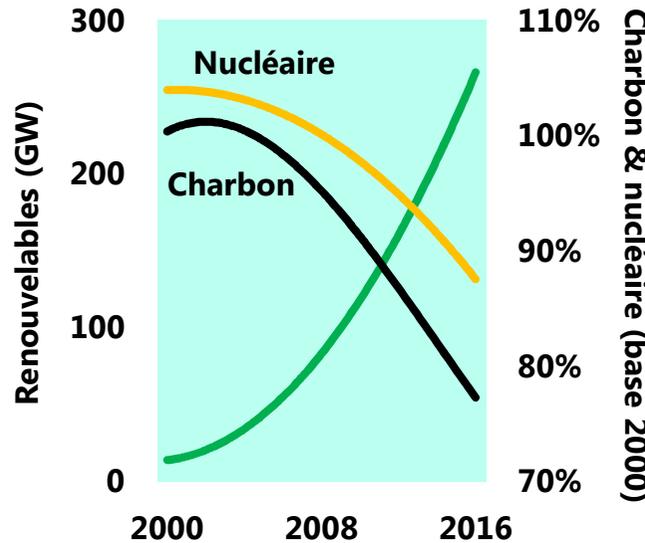
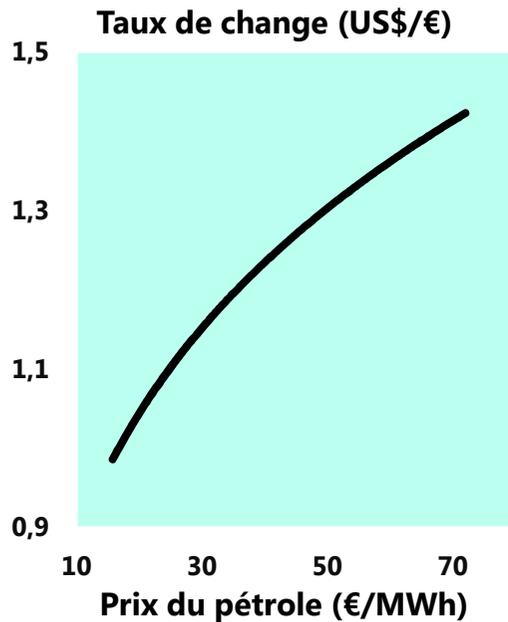
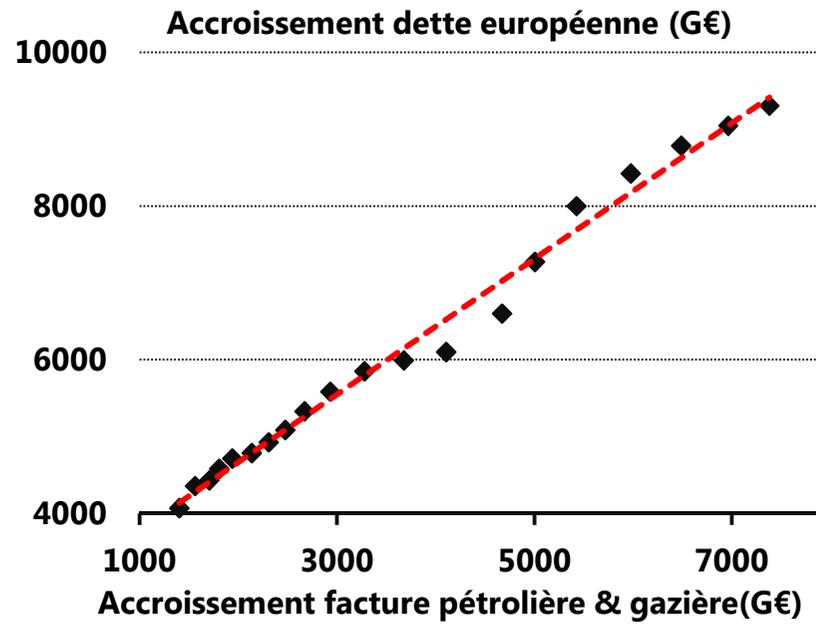
2015 : 89%		
2050		
	Ss cha	2°C
Charbon	55%	31%
Pétrole	19%	9%
Gaz	15%	21%
Fossiles	89%	62%



# Europe



2015 : 77%		
2050		
	Ss cha	2°C
Charbon	10%	5%
Pétrole	25%	15%
Gaz	32%	22%
Fossiles	67%	41%

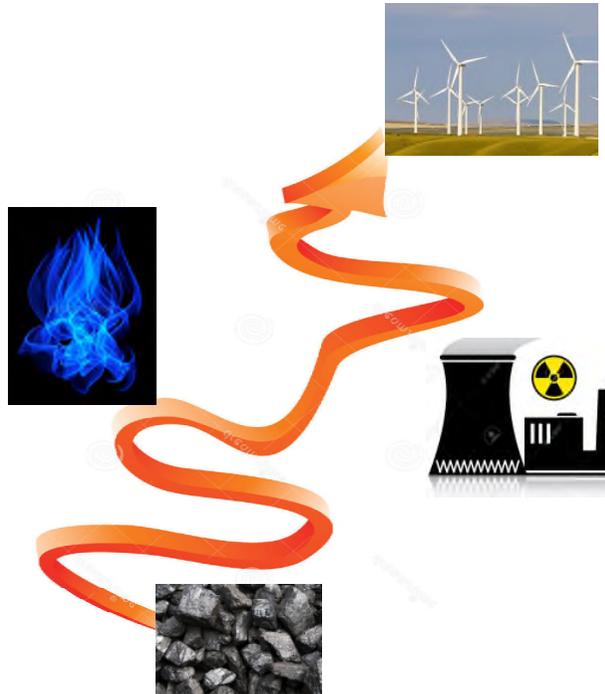


# Conclusion : les illusions d'une société de croissance



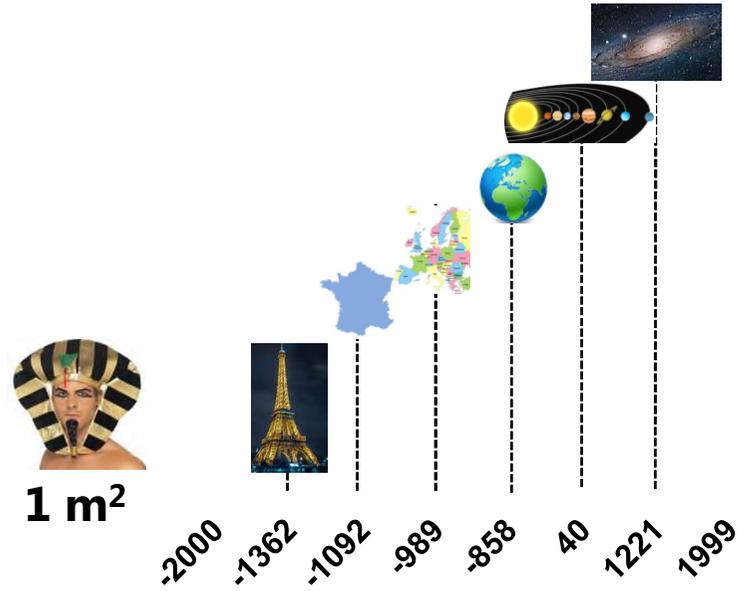
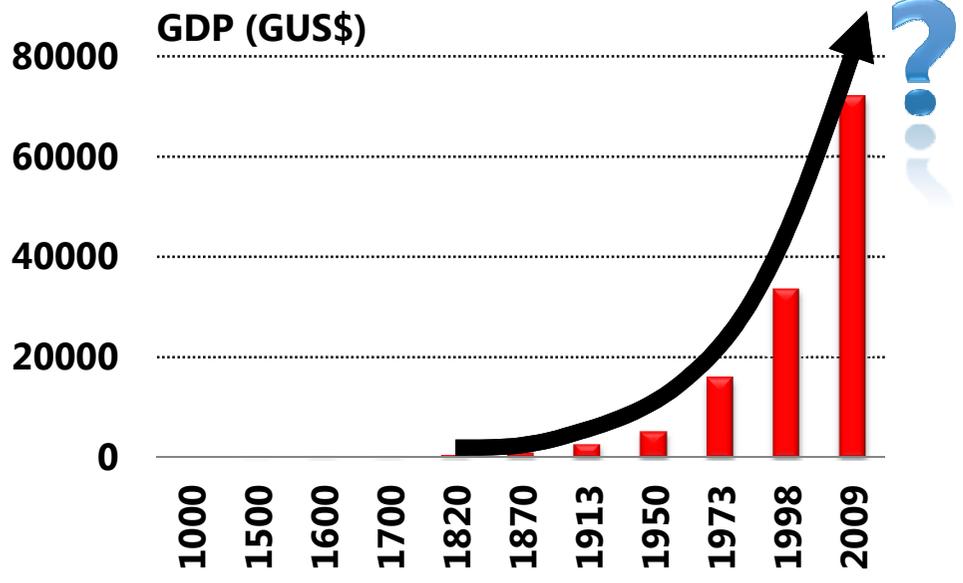
Syndrome du pauvre

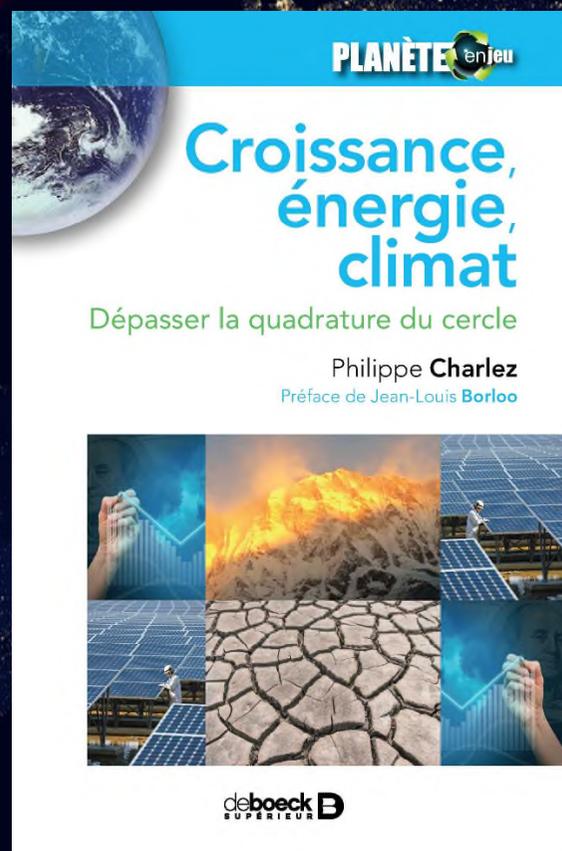
Réduire l'intensité énergétique est le levier plus efficace



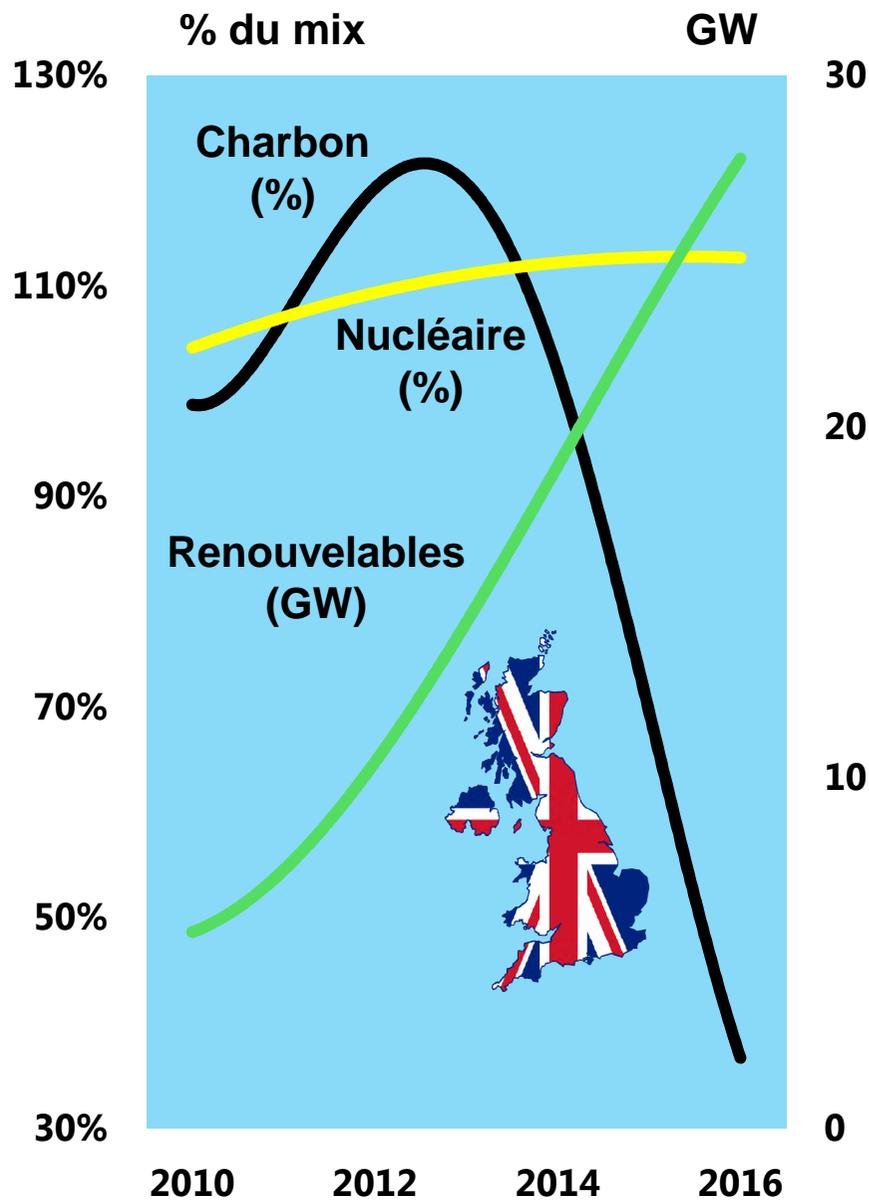
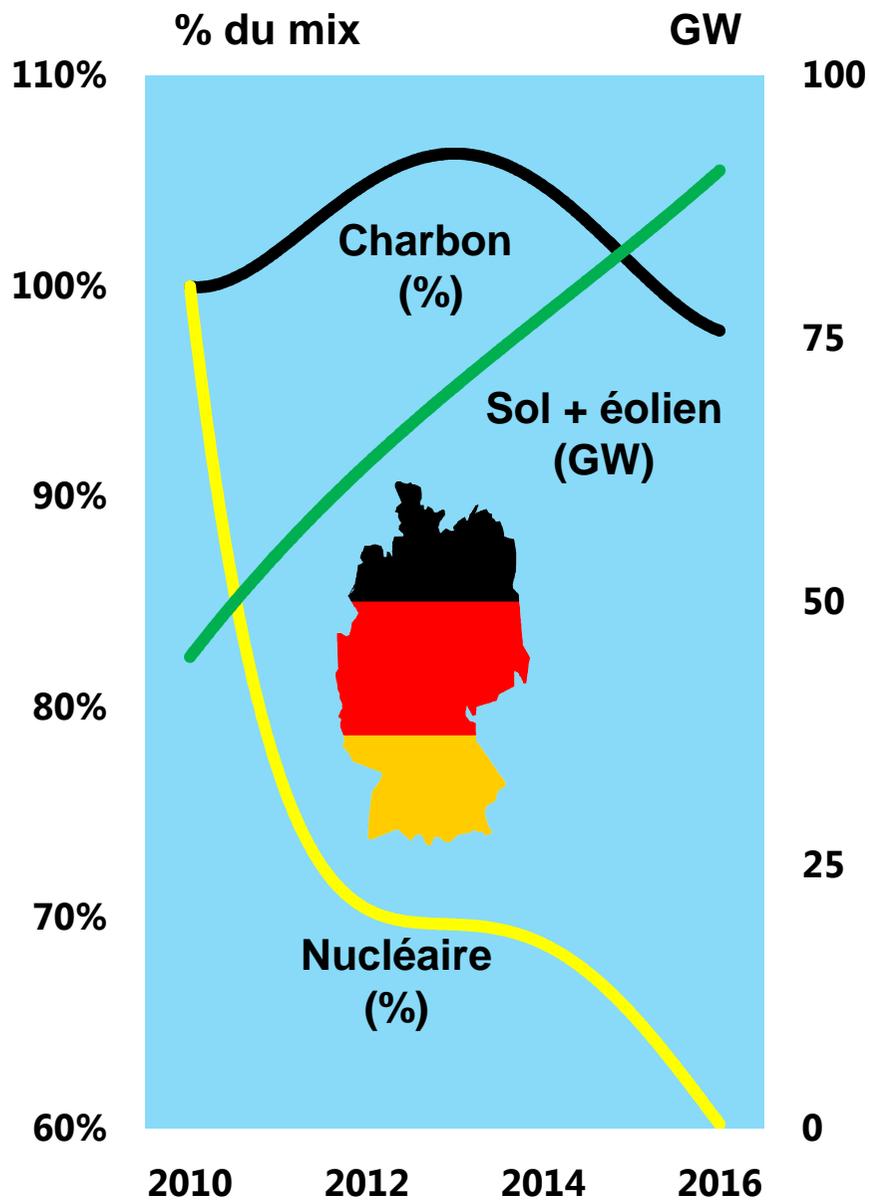
**Transition sans frontières**

70% des échanges Commerciaux sont intra Europe

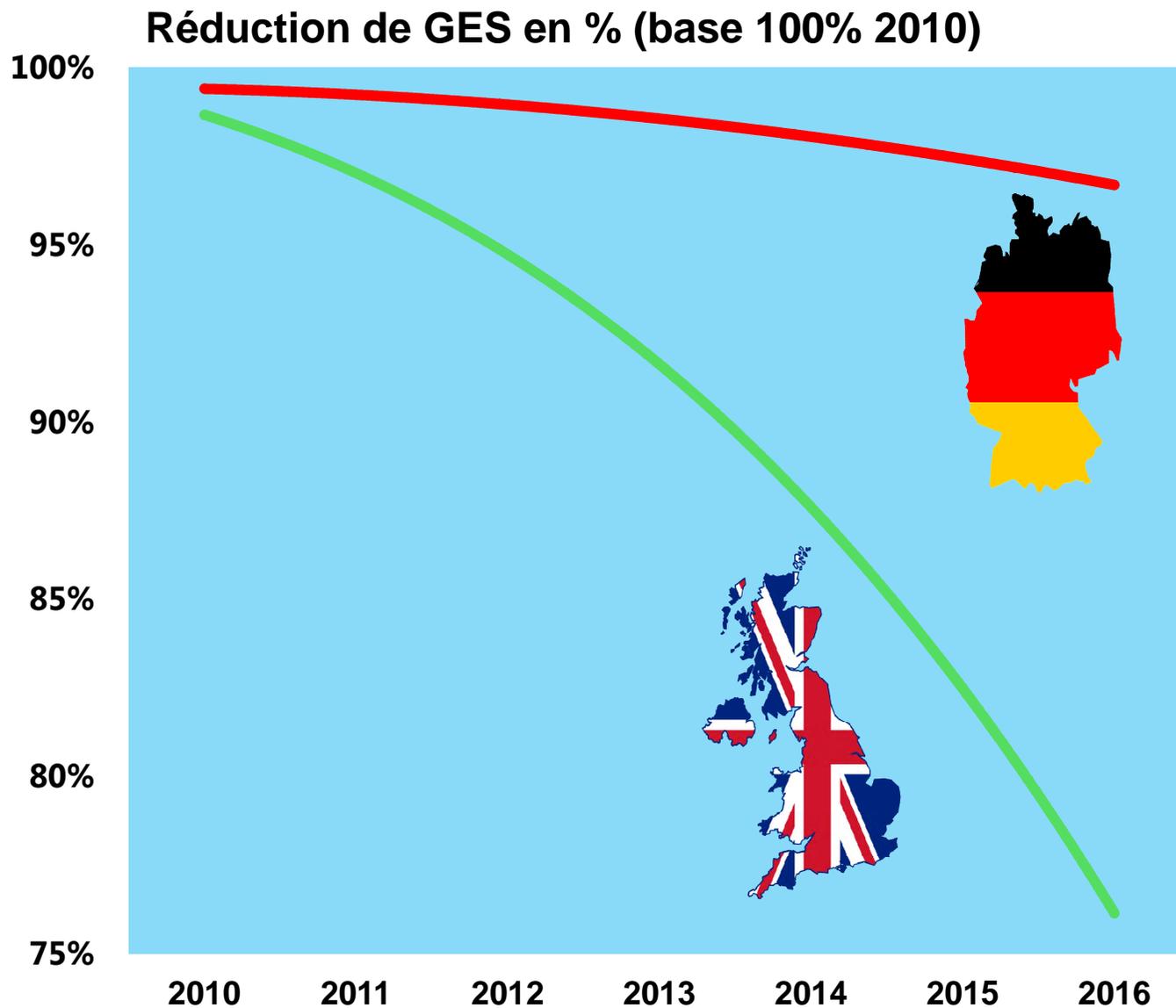




# Allemagne et Grande Bretagne : des stratégies opposées



# Allemagne et Grande Bretagne : effets pervers



# Remplacement du pétrole dans les transports

<b>Aujourd'hui</b> - 1,2 milliards de voitures - 3 millions de VE	<b>Aujourd'hui</b> - 95 Mbopd - 55% de transports, 30% voitures	<b>Voitures</b> 16 Mbpd
<b>2040</b> - 2 milliards de voitures - pas de VE	<b>Voitures</b> 26 Mbpd	<b>Delta</b> - 7 Mbpd
<b>2040</b> - 2 milliards de voitures - 500 millions de VE	<b>Voitures</b> 19 Mbpd	
<b>2040</b> - 2 milliards de voitures - Pas de VE mas conso/3	<b>Voitures</b> - 9 Mbopd - $\Delta = -15$	