



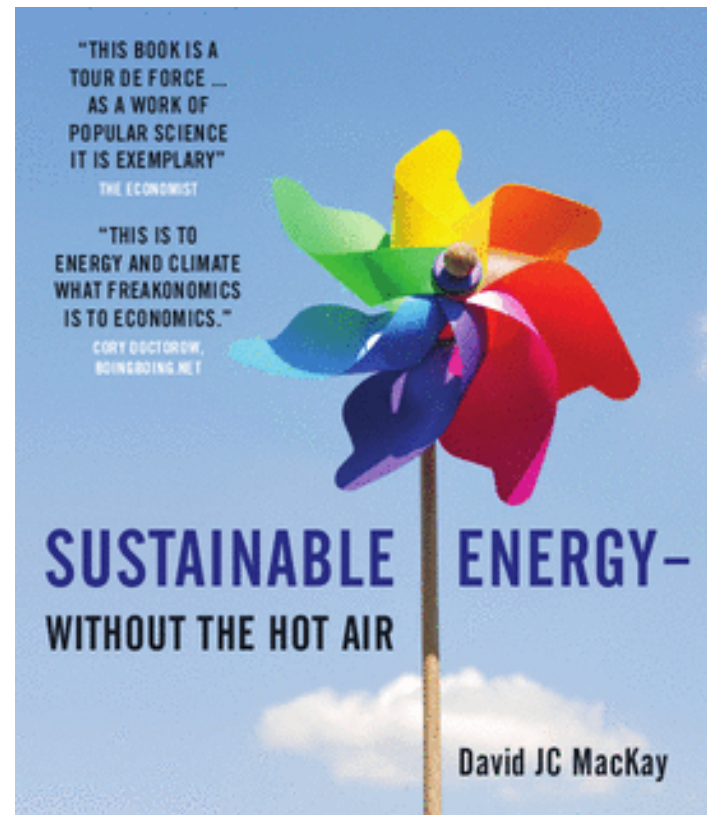
Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter...

Roger HUBERT

ARB, Collège Belgique (Namur), le 6 mars 2018

roger.hubert77@gmail.com – www.rogerhubert.fr

A David MacKay (1967-2016)



Répondez à ces questions avant le début de la présentation...

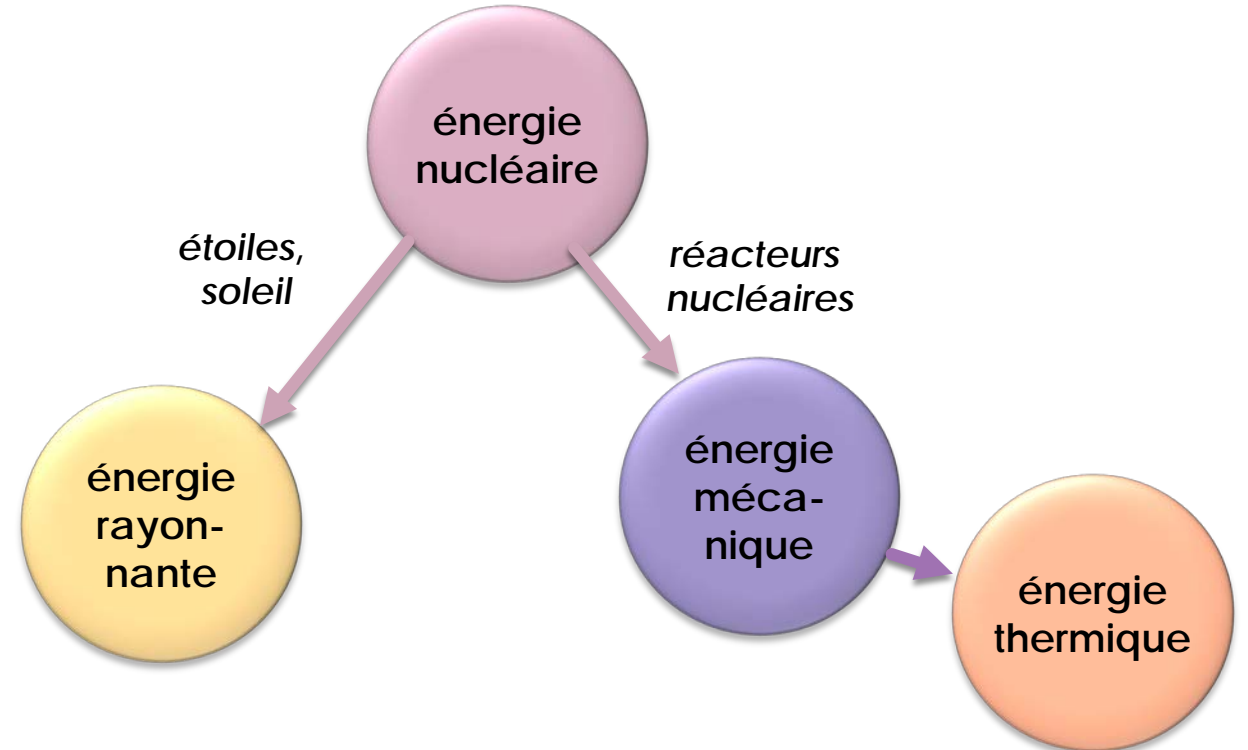
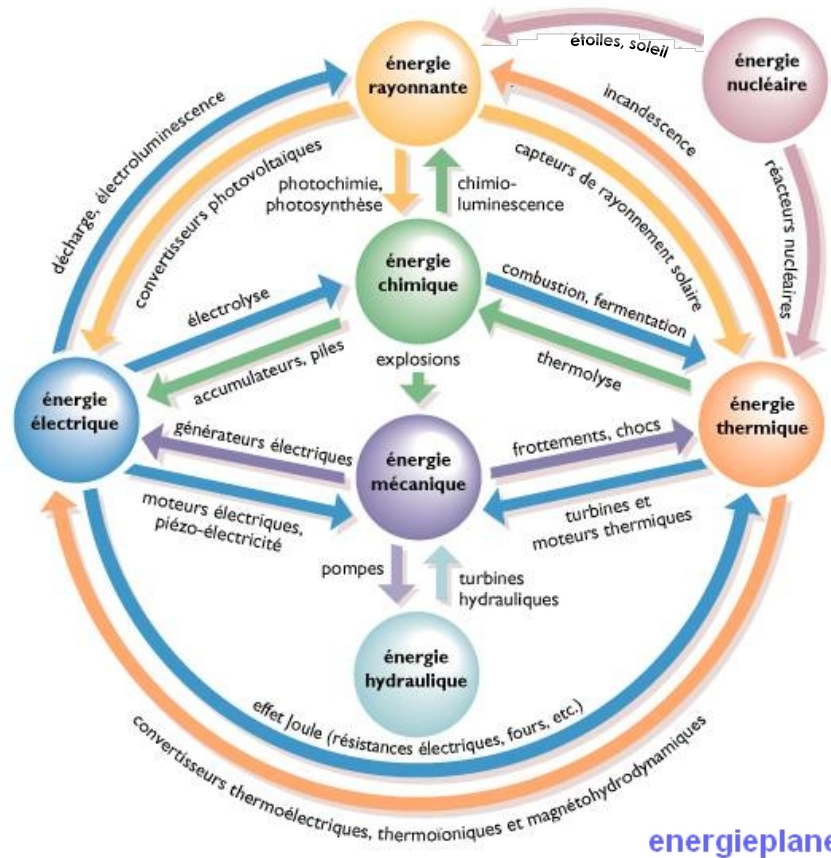
- ▶ quelle est l'empreinte énergétique moyenne d'un belge? 0 200 kWh/jour
- ▶ quelle est la part de l'électricité dans notre consommation d'énergie ? 0 50%
- ▶ quelle est la part des renouvelables dans notre électricité? 0 100%
- ▶ quelle est la part de l'éolien et du solaire dans notre approvisionnement énergétique global? 0 20%
- ▶ quelle surface de panneaux solaires faut-il installer pour remplacer une centrale nucléaire (1000 MW)? 0 50 km²
- ▶ quelle était la surface nette des panneaux solaires installés en Belgique fin 2016? 0 50 km²
- ▶ Positionnez la France, la Belgique et l'Allemagne par rapport à l'empreinte CO₂ de leurs électricités respectives 0 500 gCO₂/kWh

Au commencement, il y avait...

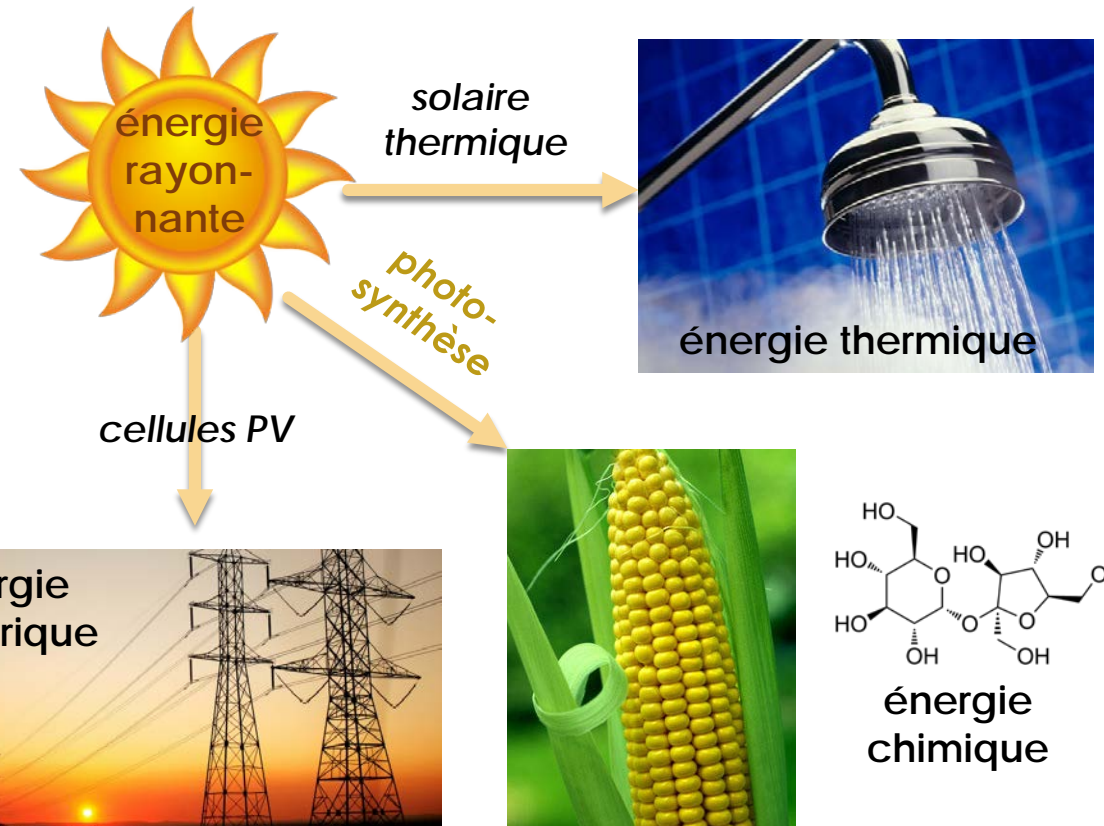
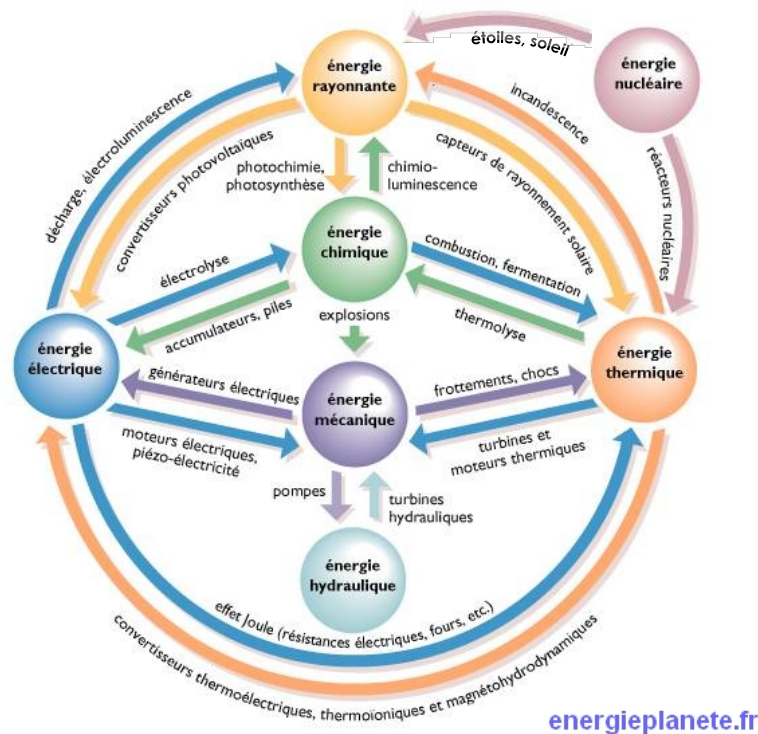


- ▶ La première source d'énergie de l'univers est d'origine... **nucléaire**:
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$
- ▶ Fusion d'atomes légers (H, He) en atomes de plus en plus lourds, jusqu'à produire, lors des explosions de supernovas, des isotopes fissibles...
- ▶ Fusion et fission produisent en outre des radiations électromagnétiques (lumière, chaleur...)

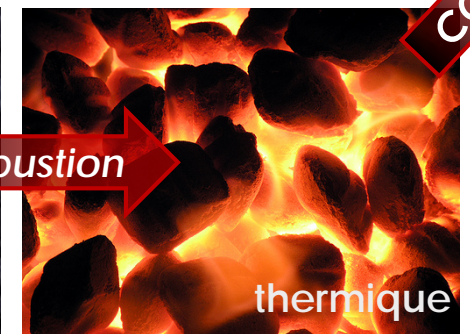
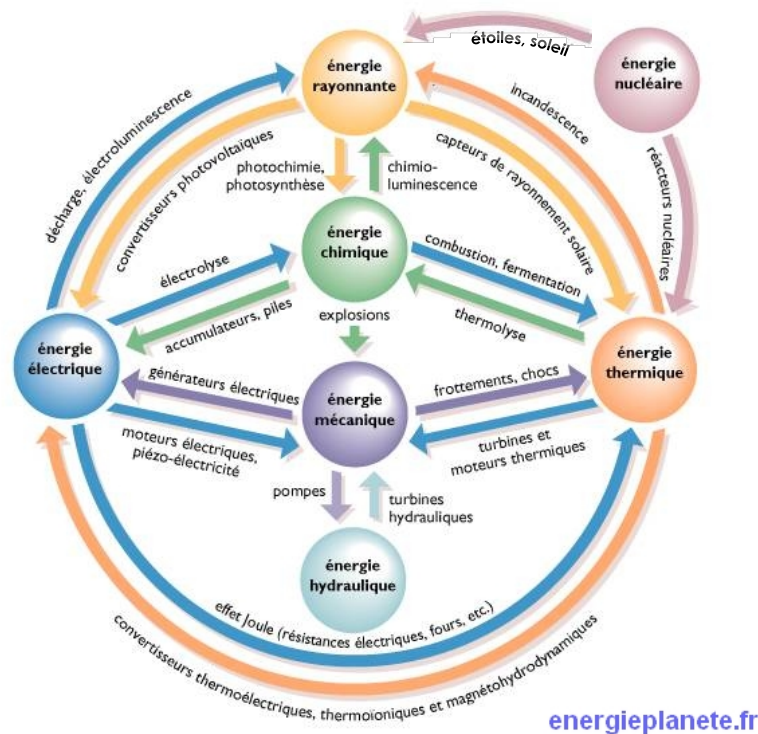
Rien ne se perd, rien ne se gagne...



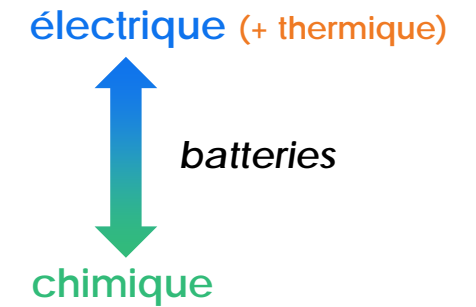
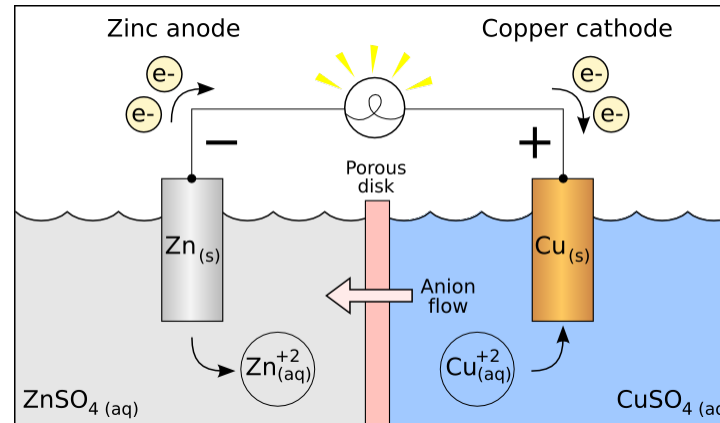
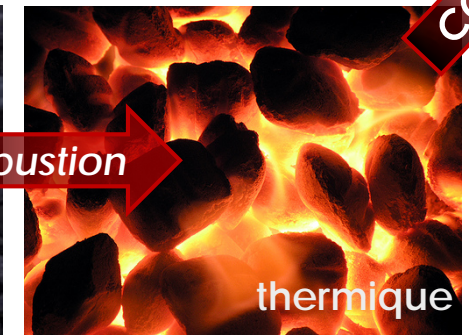
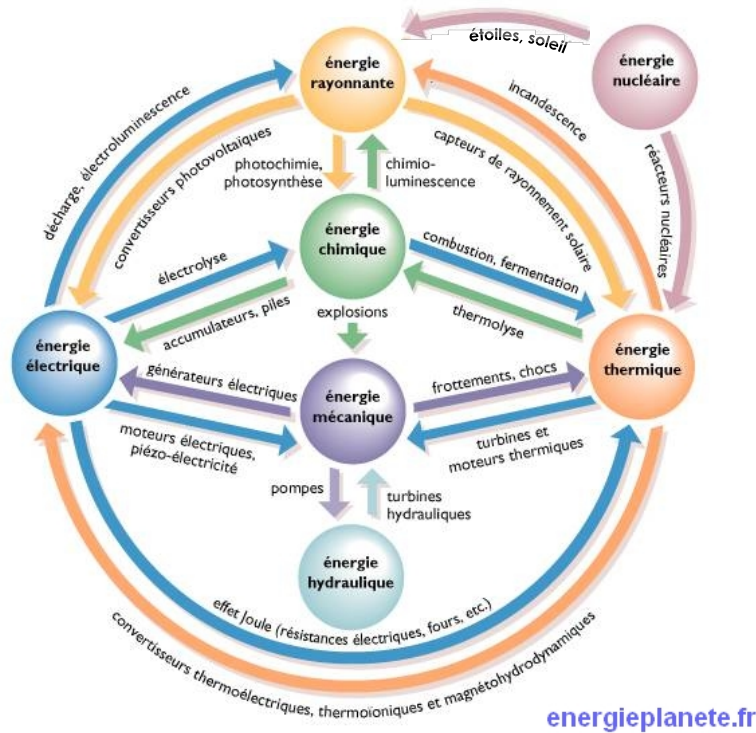
Que ferions-nous sans le soleil...



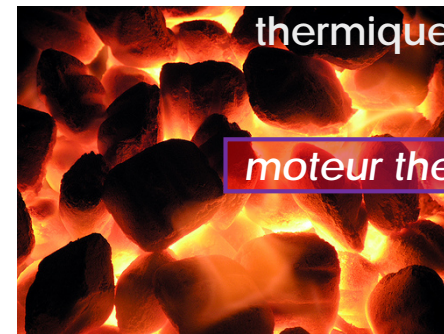
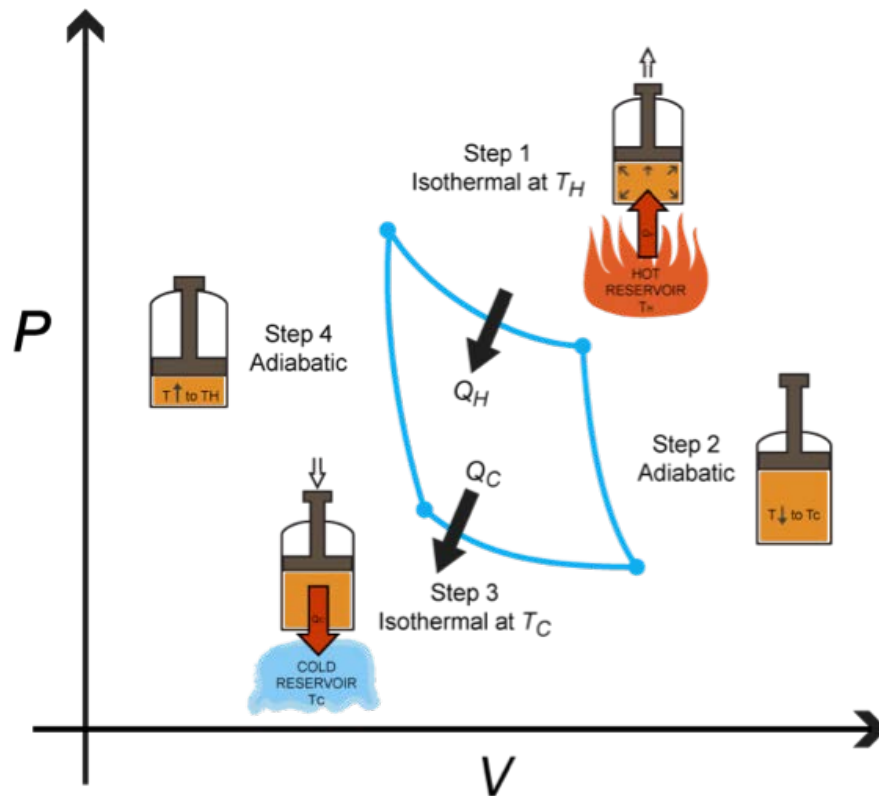
Le cycle du CO₂ ...



Le cycle du CO₂ ...



Ici commencent les désagréments...



moteur thermique

Un moteur thermique est une machine de Carnot - rendement maximum:

$$\eta = 1 - \frac{T_{Cold}}{T_{Hot}}$$

	T_C (K)	T_H (K)	η max	η eff.
auto	373	1173	68%	15-25%
centrale	325	850	61%	30-40%

Le solde reste à l'état de chaleur (presque toujours perdue!) ↙

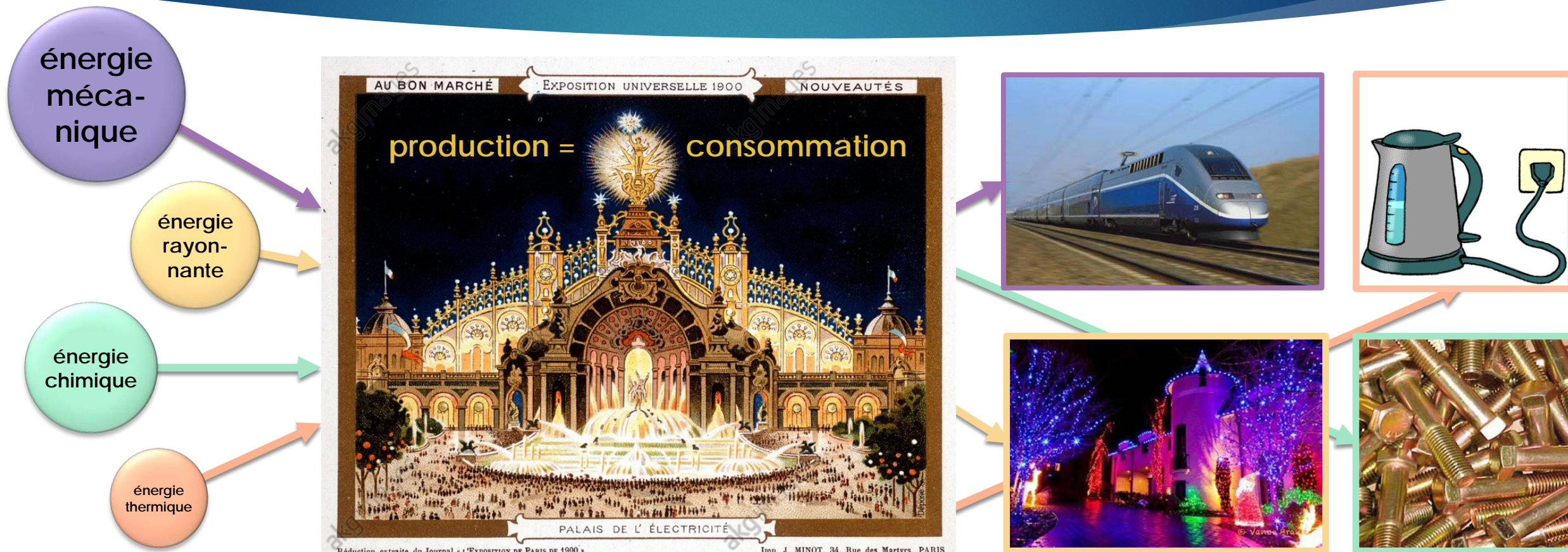
Ça roule... ou pas...

L'énergie mécanique est cinétique ou potentielle !



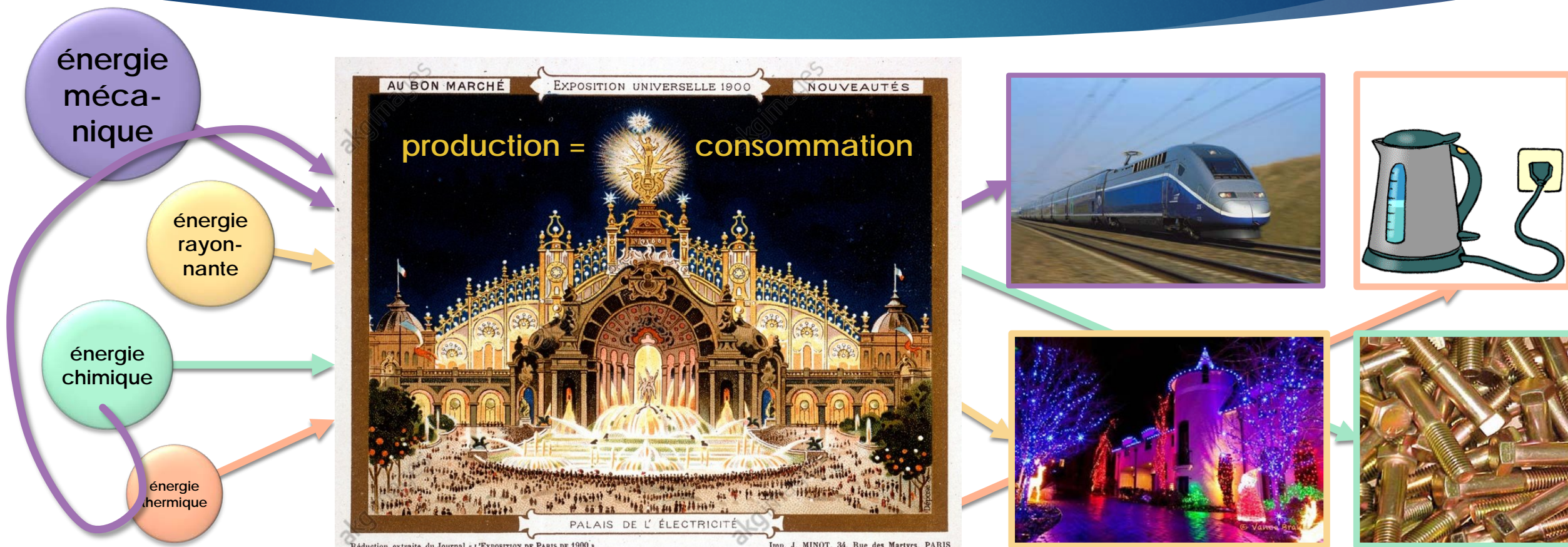
électricité

La fugace fée électricité...



Les greniers du palais sont toujours vides...

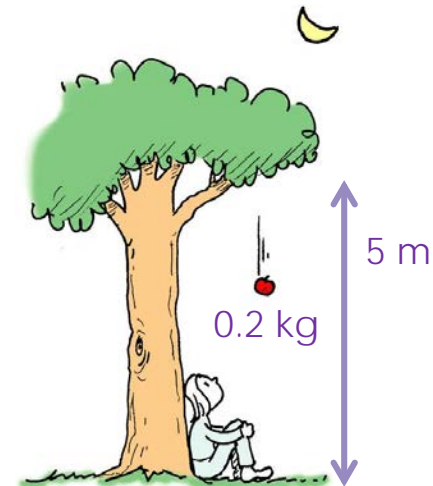
La fugace fée électricité...



Les greniers du palais sont toujours vides...

L'énergie, ça se mesure comment?

- ▶ en joules: $1\text{J} = 1\text{N} \times 1\text{m}$ (le travail d'une force de 1N sur une distance de 1m)
- ▶ en calories:
 - ▶ 1 calorie = énergie nécessaire pour élever la température de 1 g d'eau de 1°C
 - ▶ 1 calorie = 4.1855 joules
- ▶ en kWh, MWh, GWh, TWh, PWh:
 - ▶ un appareil d'une puissance de 1 watt consomme 1 joule/seconde $\Rightarrow 1\text{J} = 1\text{W} \times 1\text{s}$
 - ▶ $1\text{ kWh} = 1\,000\text{ W} \times 3\,600\text{ s} = 3\,600\,000\text{ joules} = 3.6\text{ MJ}$
 - ▶ $1\text{ TWh} = 10^9\text{ kWh} = 3.6 \times 10^{15}\text{ J} = 3\,600\,000\,000\,000\,000\text{ joules}$
- ▶ 1 kWh (thermodynamique), c'est aussi *environ*: 0.1 litre d'essence, 0.088 m³ de gaz naturel, 30 g d'hydrogène, 200 g de bois, 3.67 m³ d'eau à une hauteur de 100 m ...



"Travail" = $mgh \approx 10\text{ J}$
 = $2.8 \times 10^{-6}\text{ kWh}$ (*)

(*) à ces joules mécaniques, s'ajoutent évidemment les joules chimiques de l'aliment pomme: 54 kcal/100g, soit... pour 200g 452100J ou 0.126 kWh

Ne confondez pas kW et kWh!



► Réfrigérateur

- Consommation d'énergie annuelle: 116 kWh (théorique)
- Puissance nominale (non spécifiée): ≈ 100 W
- Puissance moyenne effective: $116 \text{ kWh} / (365 \times 24 \text{ h}) = 13.2$ W

► Aspirateur

- Moteur de 1500 W pour une puissance d'aspiration élevée...
- Consommation théorique : 54.5 kWh/an
- Puissance moyenne effective: 6.2 W



Ne confondez pas kW et kWh!



► Réfrigérateur

- Consommation d'énergie annuelle: 116 kWh (théorique)
- Puissance nominale (non spécifiée): ≈ 100 W
- Puissance moyenne effective: $116 \text{ kWh} / (365 \times 24 \text{ h}) = 13.2$ W

► Aspirateur

- Moteur de 1500 W pour une puissance d'aspiration élevée...
- Consommation théorique : 54.5 kWh/an
- Puissance moyenne effective: 6.2 W



Ce que cela va vous coûter...

Ne confondez pas kW et kWh!



► Réfrigérateur

- Consommation d'énergie annuelle: 116 kWh (théorique)
- Puissance nominale (non spécifiée): $\approx 100 \text{ W}$
- Puissance moyenne effective: $116 \text{ kWh} / (365 \times 24 \text{ h}) = 13.2 \text{ W}$

► Aspirateur

- Moteur de 1500 W pour une puissance d'aspiration élevée...
- Consommation théorique : 54.5 kWh/an
- Puissance moyenne effective: 6.2 W

Ce que le réseau doit pouvoir vous fournir au moment où vous le décidez...



Ce que cela va vous coûter...



Énergie? Vous avez dit «énergie»?

Énergie? Vous avez dit «énergie»?

Larousse: "Capacité d'un système à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il est en interaction. Grandeur exprimant cette capacité"

Énergie? Vous avez dit «énergie»?

Larousse: "Capacité d'un système à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il est en interaction. Grandeur exprimant cette capacité"

L'énergie exprime donc notre capacité à transformer le monde, à modifier notre environnement!

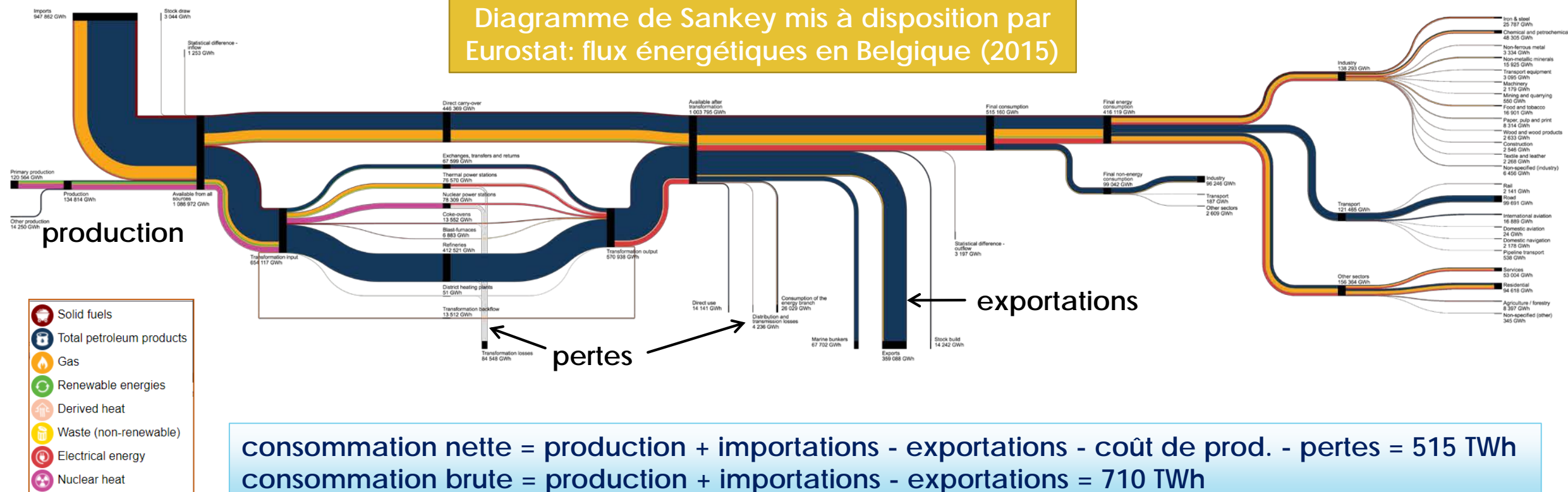


Et au total, ça nous fait combien?

importations

consommation

Diagramme de Sankey mis à disposition par Eurostat: flux énergétiques en Belgique (2015)



Mais c'est énorme...

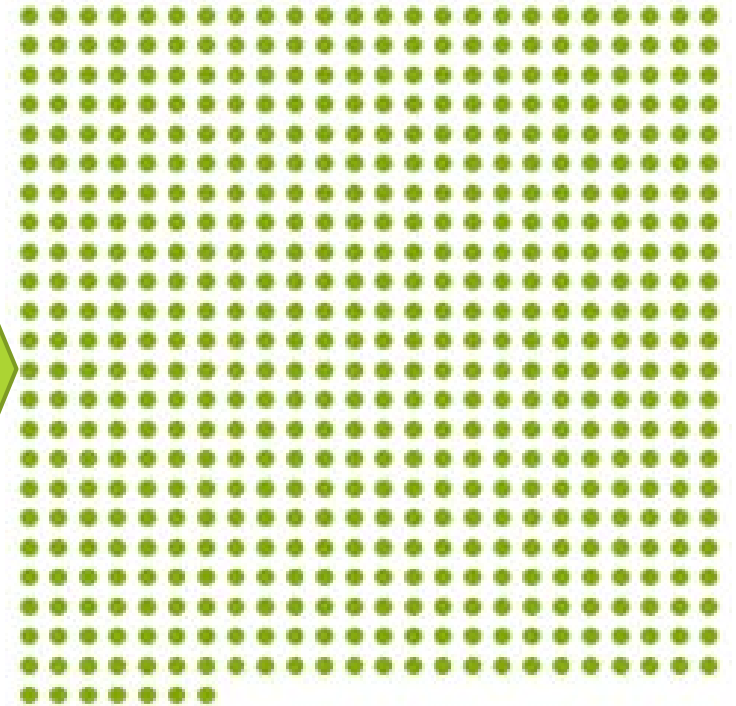
- ▶ 710 TWh/an pour la Belgique
- ▶ 11 millions de Belges
- ▶ 64 MWh/personne/an
- ▶ 177 kWh/personne/jour
- ▶ ≈ 90 kg CO₂/personne/jour
- ▶ ...et ceci, sans compter
l'énergie grise ($\approx 15-25\%^*$)

(*) une étude de 2010 pour la Grande-Bretagne (productrice d'énergie!) a estimé l'énergie grise nette (importée - exportée) à 18% de la consommation...
[X. Tang et al. Energy Policy 57(2013)418]

Mais c'est énorme...

- ▶ 710 TWh/an pour la Belgique
- ▶ 11 millions de Belges
- ▶ 64 MWh/personne/an
- ▶ 177 kWh/personne/jour
- ▶ ≈ 90 kg CO₂/personne/jour
- ▶ ...et ceci, sans compter l'énergie grise ($\approx 15-25\%^*$)

(*) une étude de 2010 pour la Grande-Bretagne (productrice d'énergie!) a estimé l'énergie grise nette (importée - exportée) à 18% de la consommation... [X. Tang et al. Energy Policy 57(2013)418]



556 réfrigérateurs/belge !

Vraiment énorme...



Imaginez: vous effectuez une ascension de 2000 m de dénivelé positif. Avec votre sac à dos, votre masse est de 90 kg. Combien d'énergie mécanique allez-vous dépenser?

Idée reprise d'une conférence de Jean-Marc Jancovici:
<https://fr.slideshare.net/JoelleLeconte/diaporama-jancovici-cit-des-sciences-paris-21112017>

Vraiment énorme...



Imaginez: vous effectuez une ascension de 2000 m de dénivelé positif. Avec votre sac à dos, votre masse est de 90 kg. Combien d'énergie mécanique allez-vous dépenser?

0.5 kWh

Idée reprise d'une conférence de Jean-Marc Jancovici:
<https://fr.slideshare.net/JoelleLeconte/diaporama-jancovici-cit-des-sciences-paris-21112017>

Vraiment énorme...



Idée reprise d'une conférence de Jean-Marc Jancovici:
<https://fr.slideshare.net/JoelleLeconte/diaporama-jancovici-cit-des-sciences-paris-21112017>

Imaginez: vous effectuez une ascension de 2000 m de dénivelé positif. Avec votre sac à dos, votre masse est de 90 kg. Combien d'énergie mécanique allez-vous dépenser?

0.5 kWh

alors que votre empreinte énergétique totale est d'environ **200 kWh** pendant cette même journée (énergie grise comprise)

Vraiment énorme...



Idée reprise d'une conférence de Jean-Marc Jancovici:
<https://fr.slideshare.net/JoelleLeconte/diaporama-jancovici-cit-des-sciences-paris-21112017>

Imaginez: vous effectuez une ascension de 2000 m de dénivelé positif. Avec votre sac à dos, votre masse est de 90 kg. Combien d'énergie mécanique allez-vous dépenser?

0.5 kWh

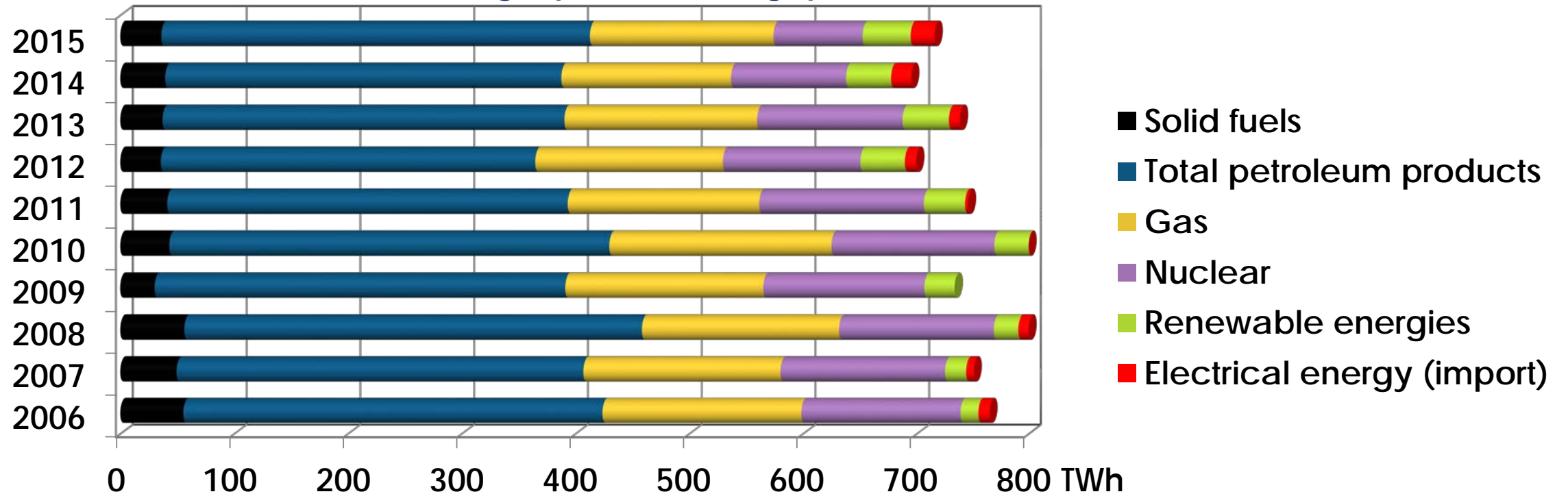
alors que votre empreinte énergétique totale est d'environ **200 kWh** pendant cette même journée (énergie grise comprise)

C'est donc comme si nous avions
400 esclaves
(mécaniques) à notre service...

Mais, au fait... qui sont les vrais esclaves?

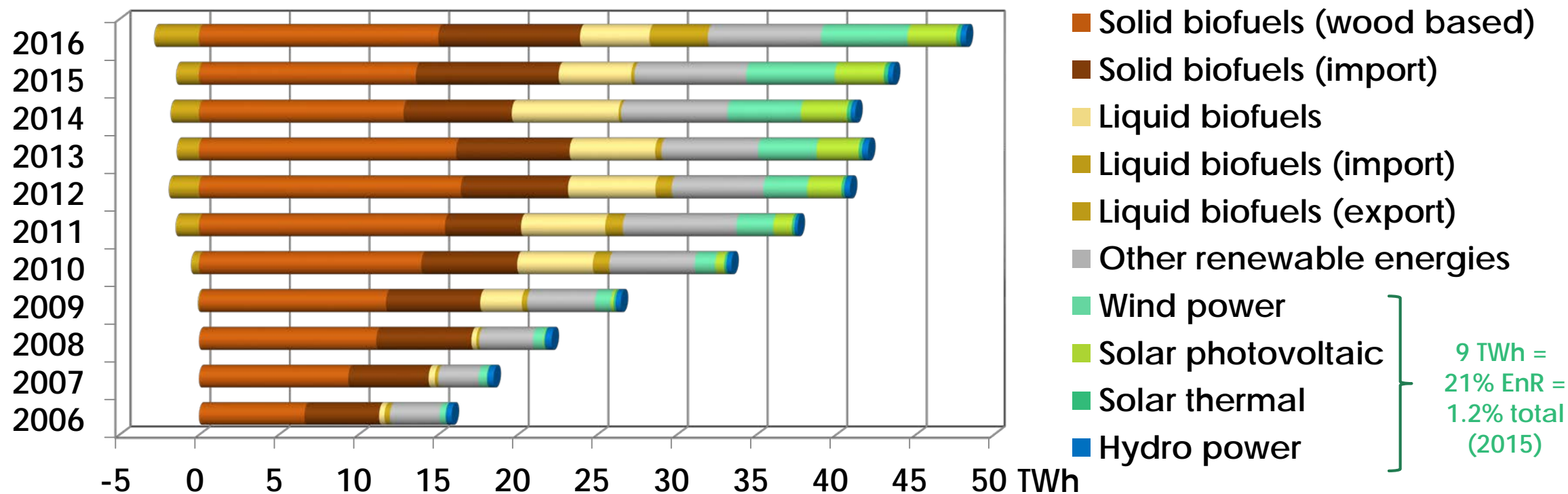
Elle vient d'où cette énergie?

Sources d'énergie primaire - Belgique



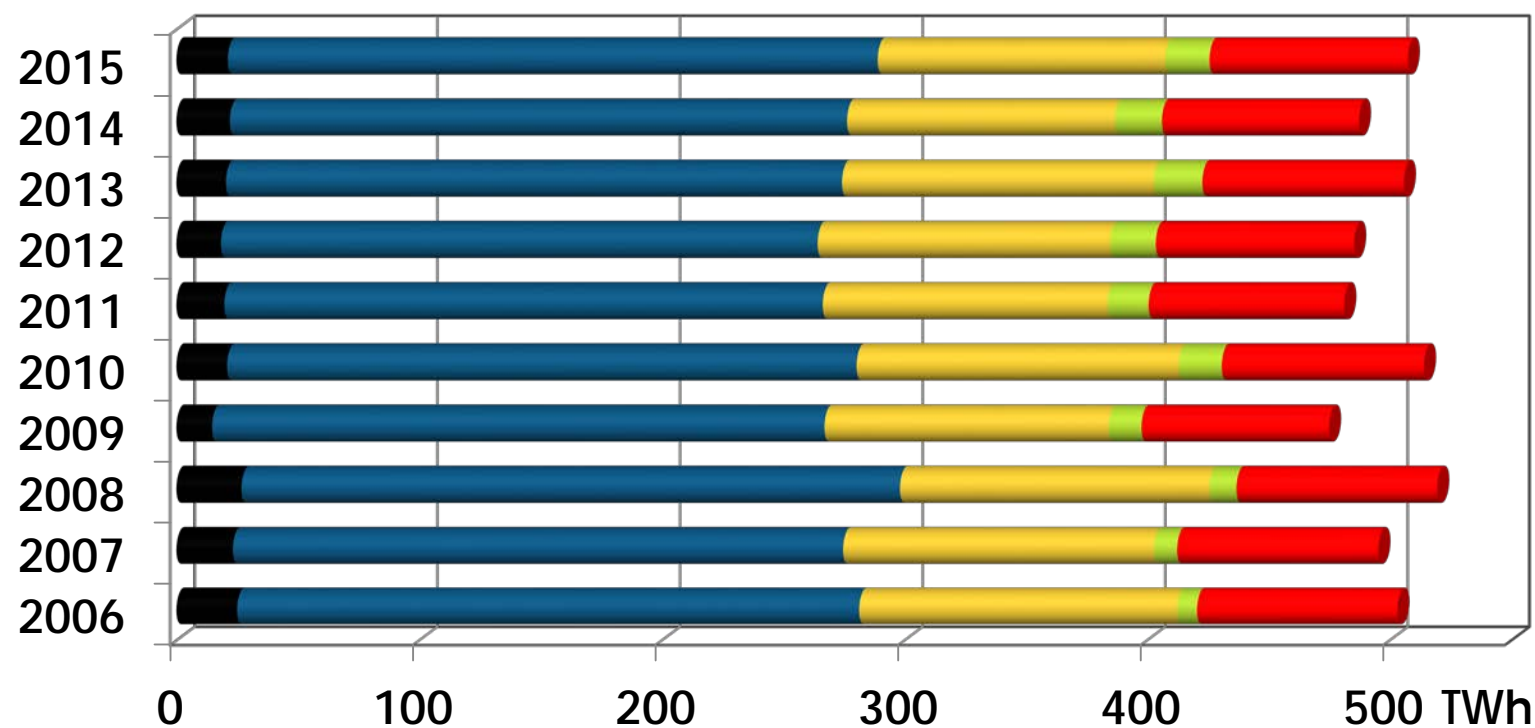
Sources d'énergies renouvelables

Belgique



Consommation finale d'énergie

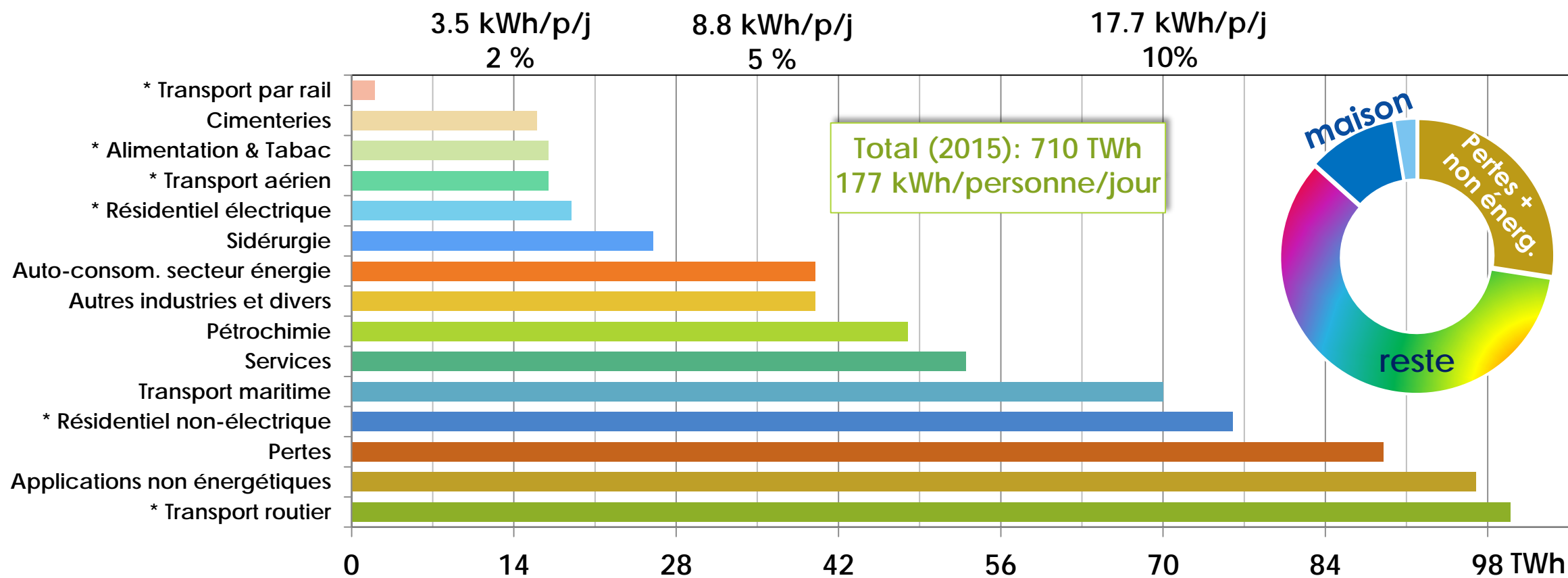
Belgique



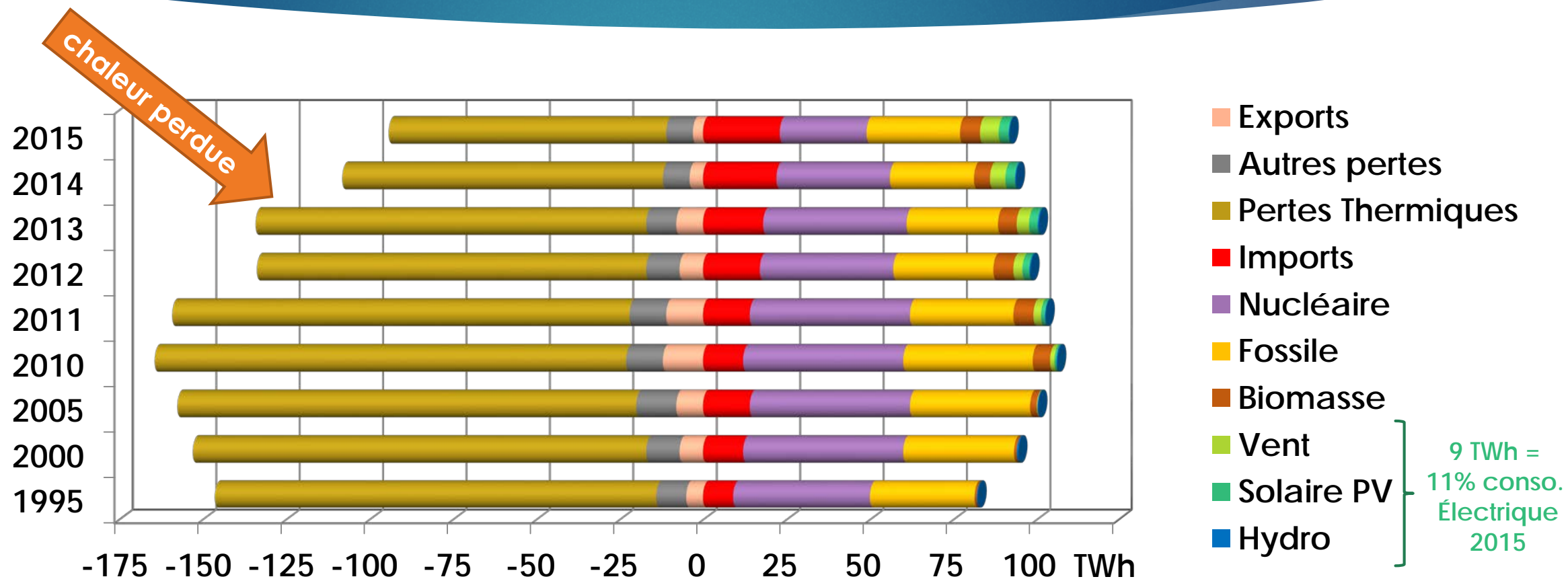
Sous quelle forme
consomme-t-on l'énergie?

- Solid fuels
- Total petroleum products
- Gas
- Renewables (non-elec)
- Electrical energy

Consommation d'énergie par secteur

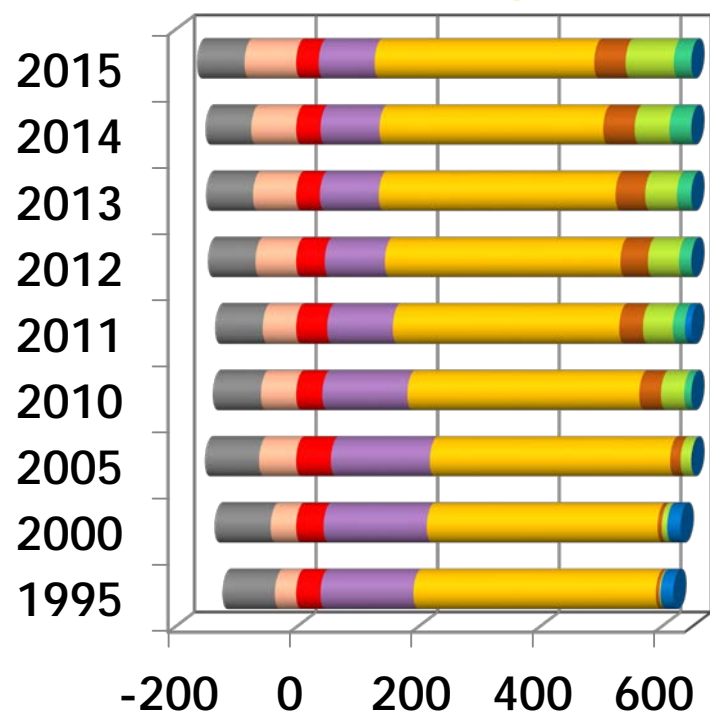


Production d'électricité en Belgique

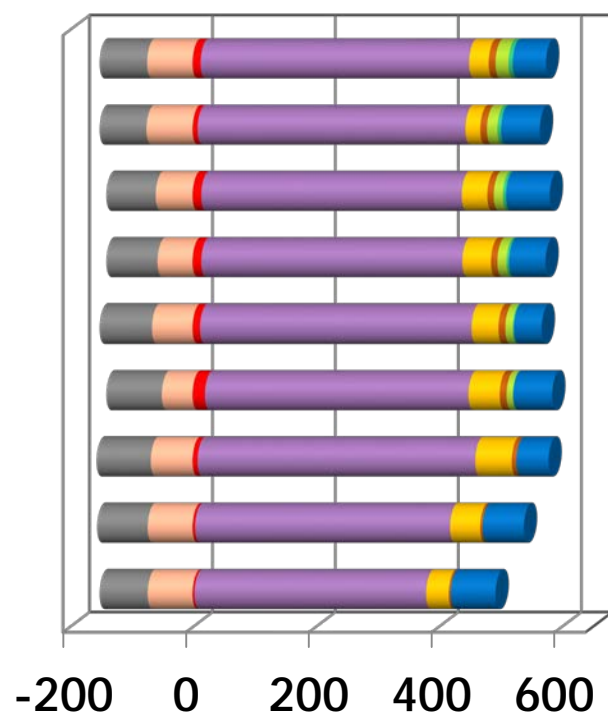


Production d'électricité BE-DE-FR

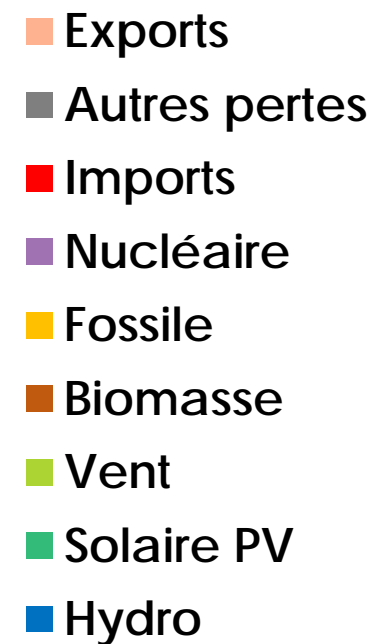
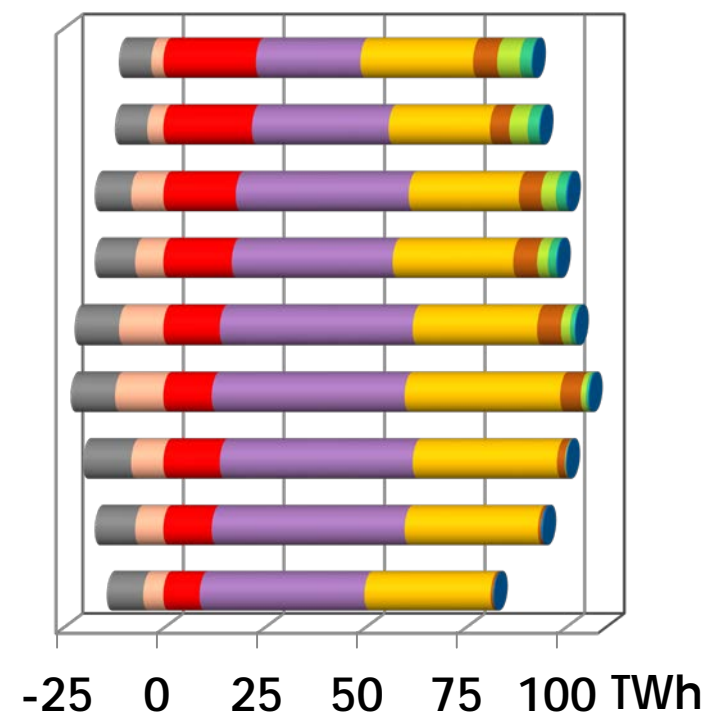
Allemagne



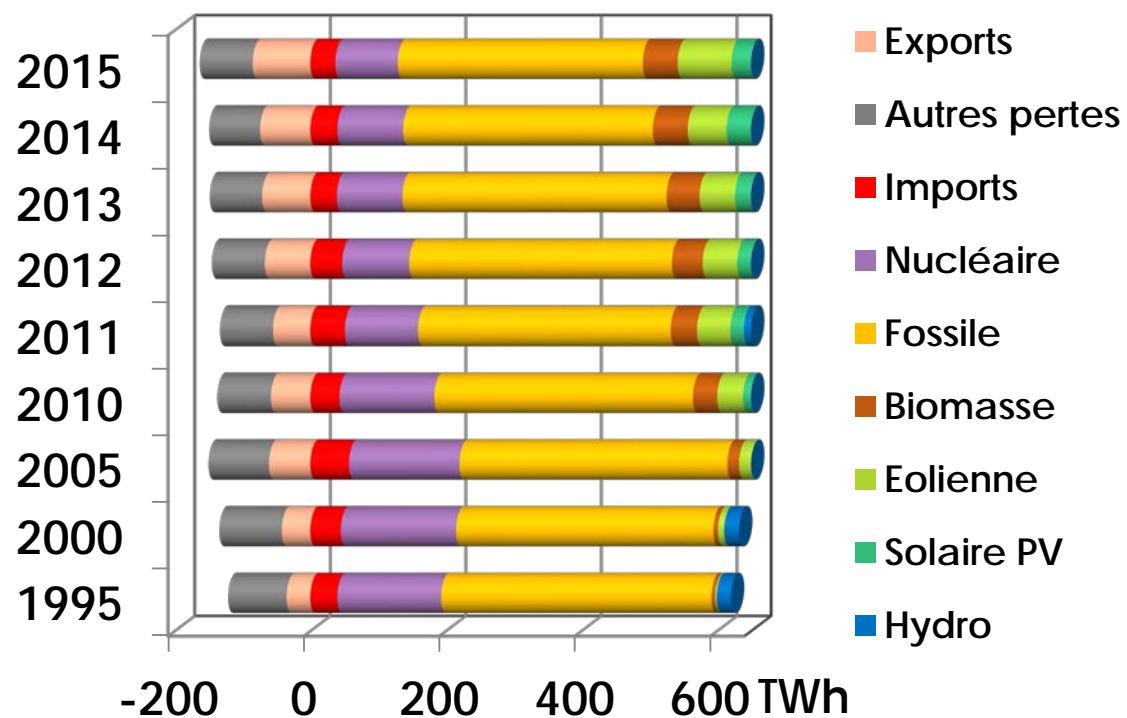
France



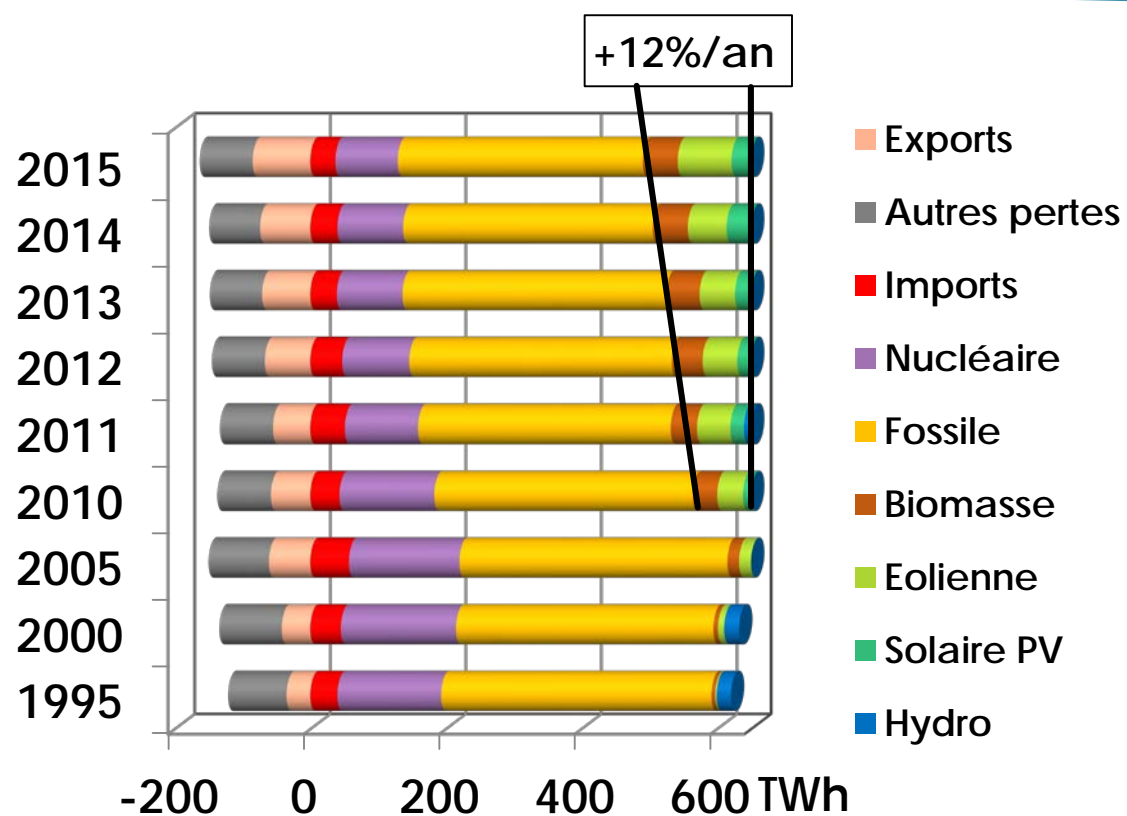
Belgique



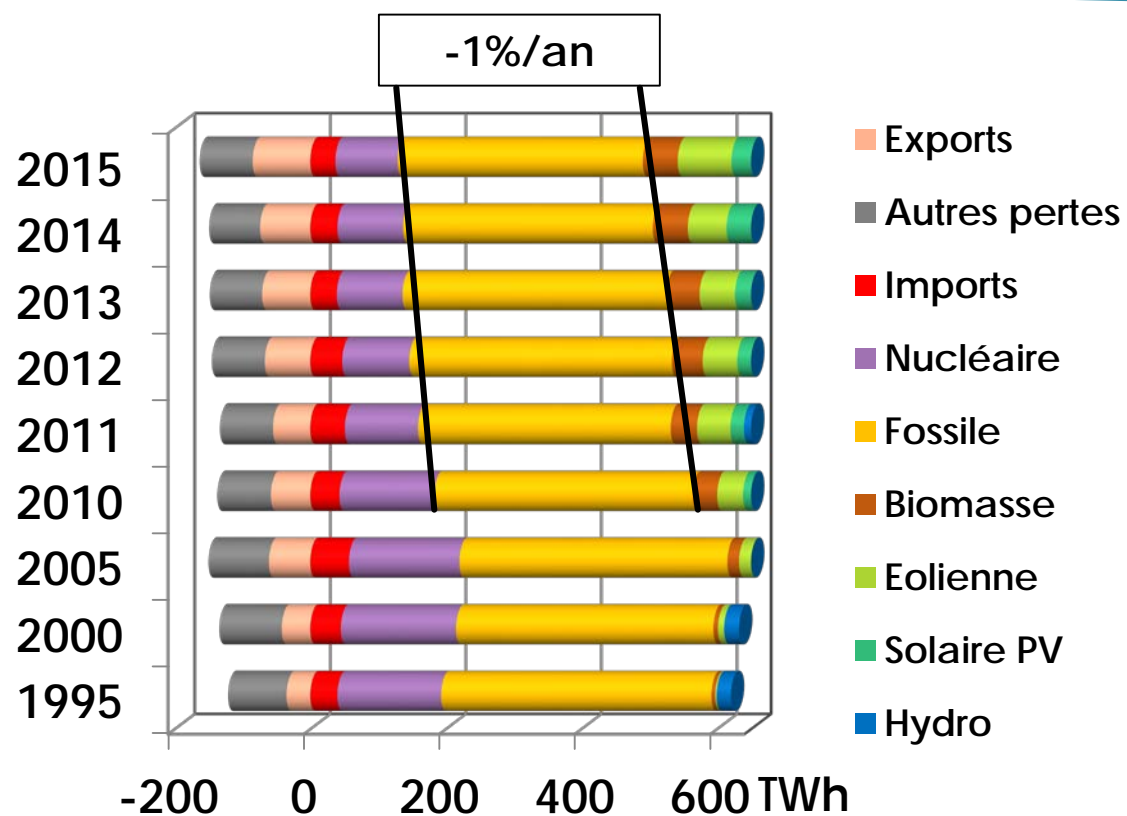
Electricité allemande en question



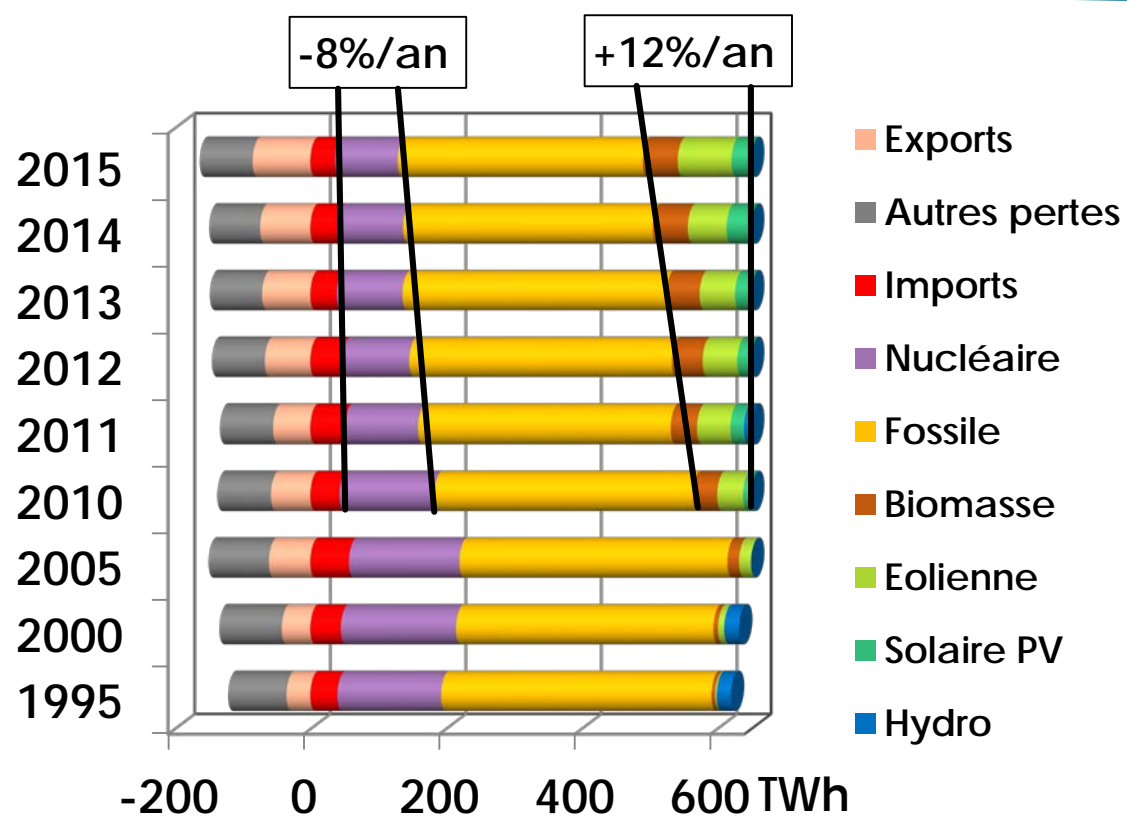
Electricité allemande en question



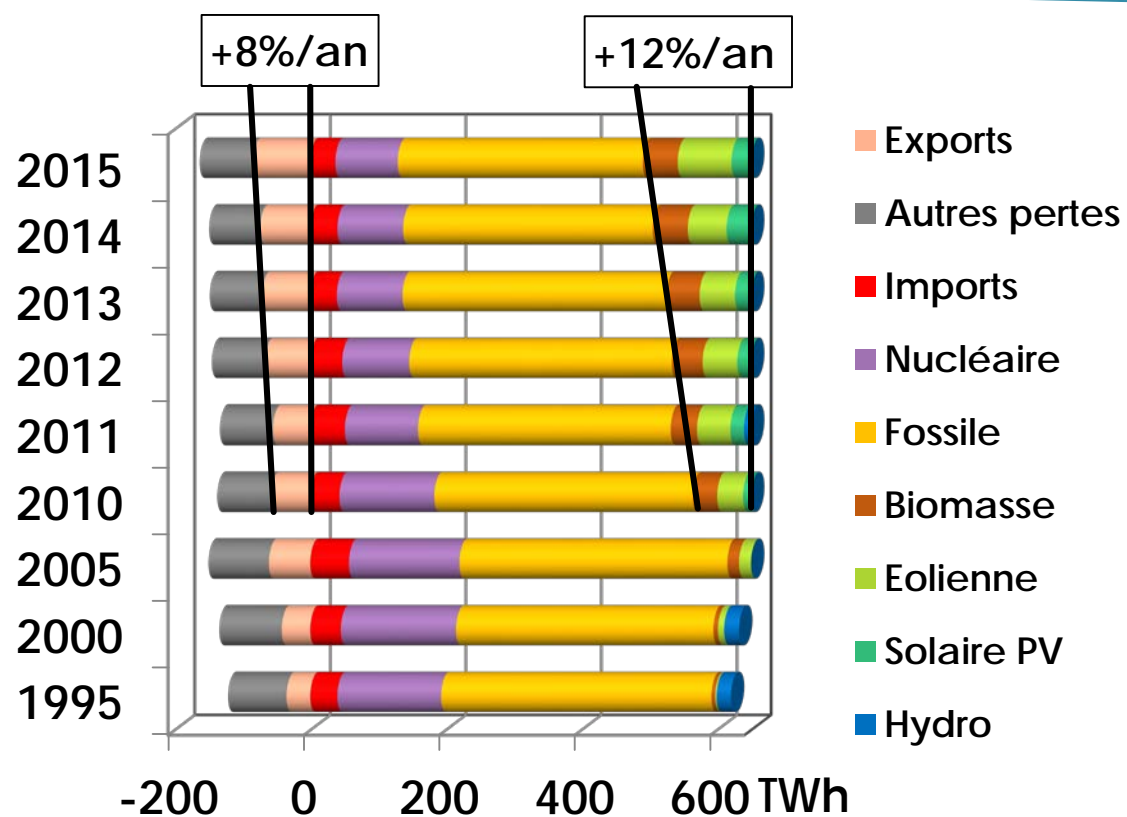
Electricité allemande en question



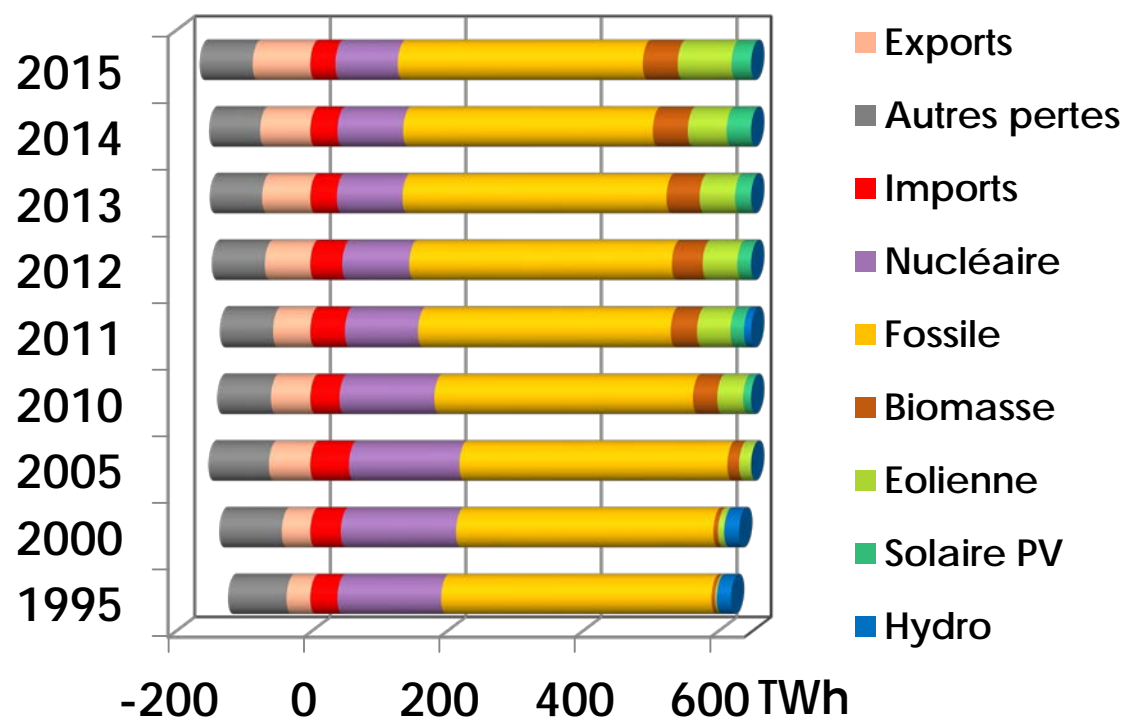
Electricité allemande en question



Electricité allemande en question

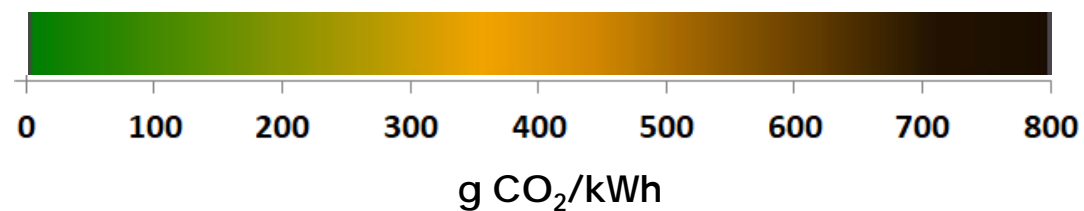
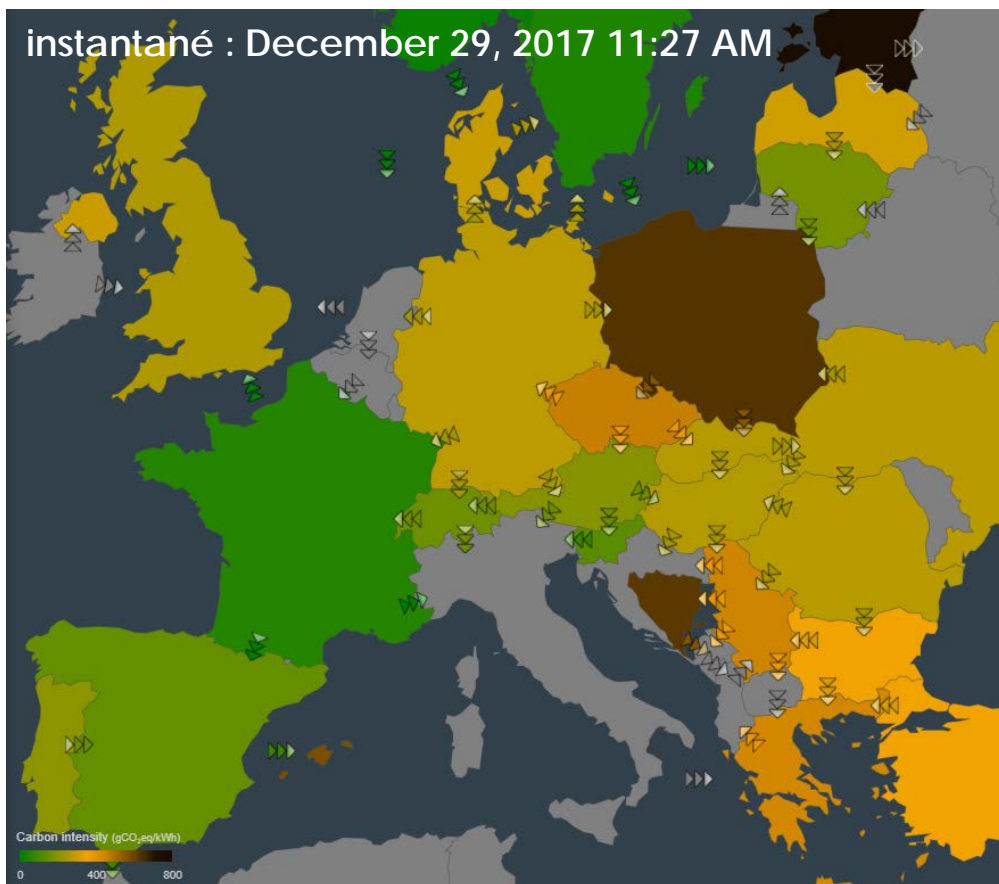


Electricité allemande en question



- ▶ Fukushima n'a pas bouleversé le paysage énergétique allemand...
- ▶ En 2015, les EnR ne couvraient encore que 27% de la production d'électricité. 53% était encore d'origine fossile (4/5 = charbon)
- ▶ Les EnR ont remplacé le nucléaire sans toucher au fossile
- ▶ Les exportations augmentent avec les énergies renouvelables « fatales » par manque de facilités de stockage
- ▶ L'électricité couvre 21% de la consommation totale d'énergie et cette part n'augmente pas!
- ▶ La transition énergétique n'aurait-elle pas encore commencé?

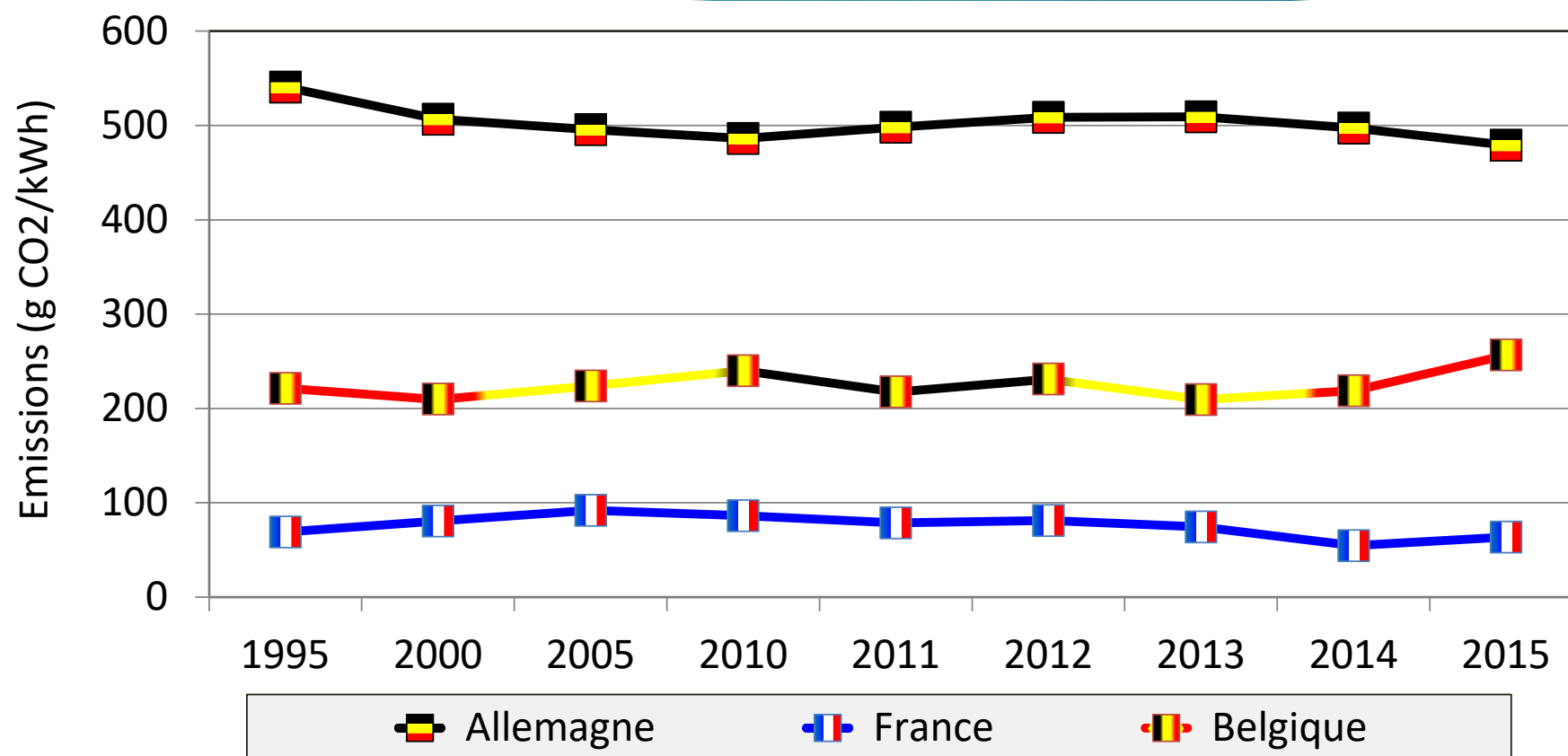
Empreinte CO₂ de l'électricité par pays



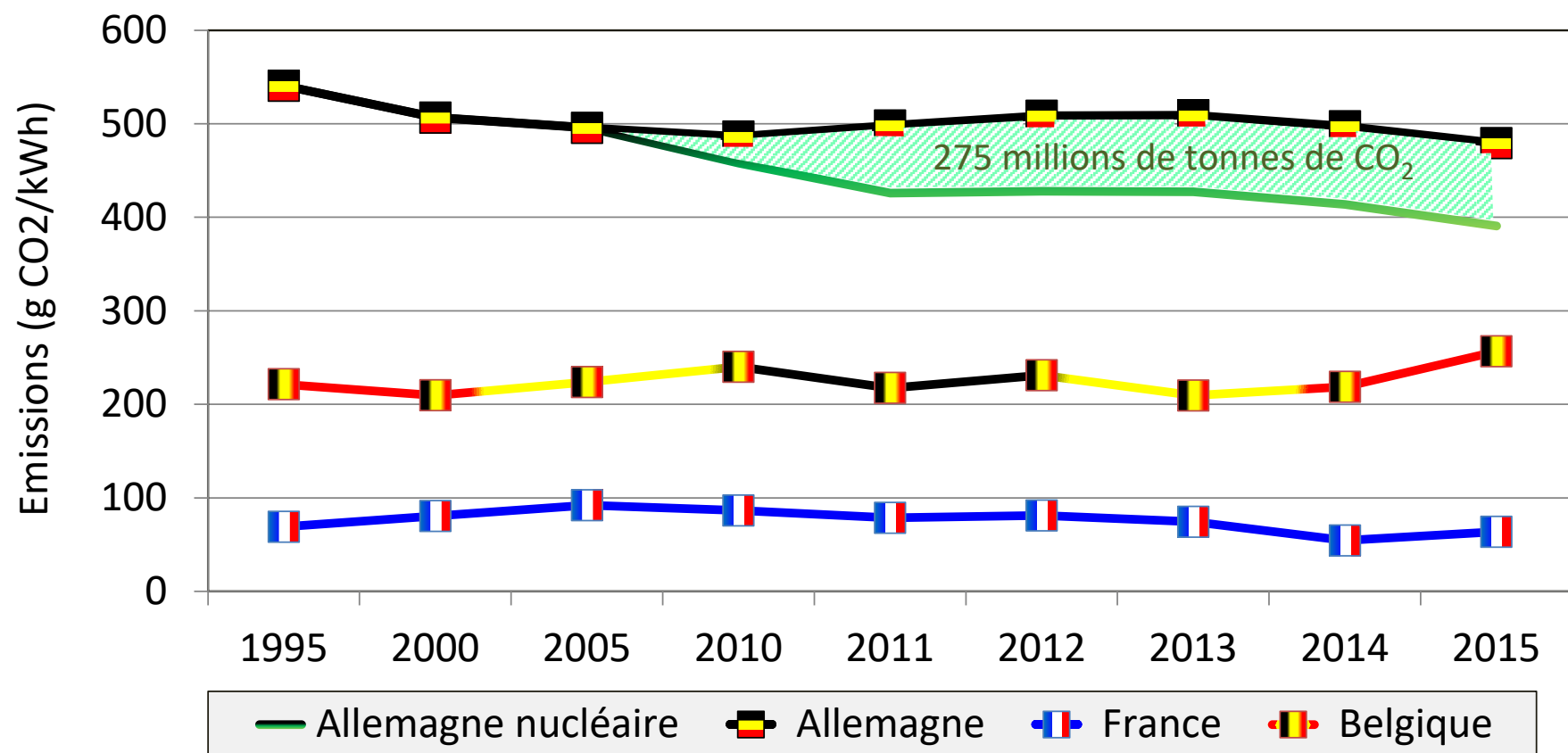
g CO ₂ / kWh par moyen de production			
Vent	12	Nucléaire	12
Solaire PV	45	Gaz	490
Hydro	24	Charbon	820
Biomasse	230	Pétrole	650

Source: <https://www.electricitymap.org/> ([lien](#))

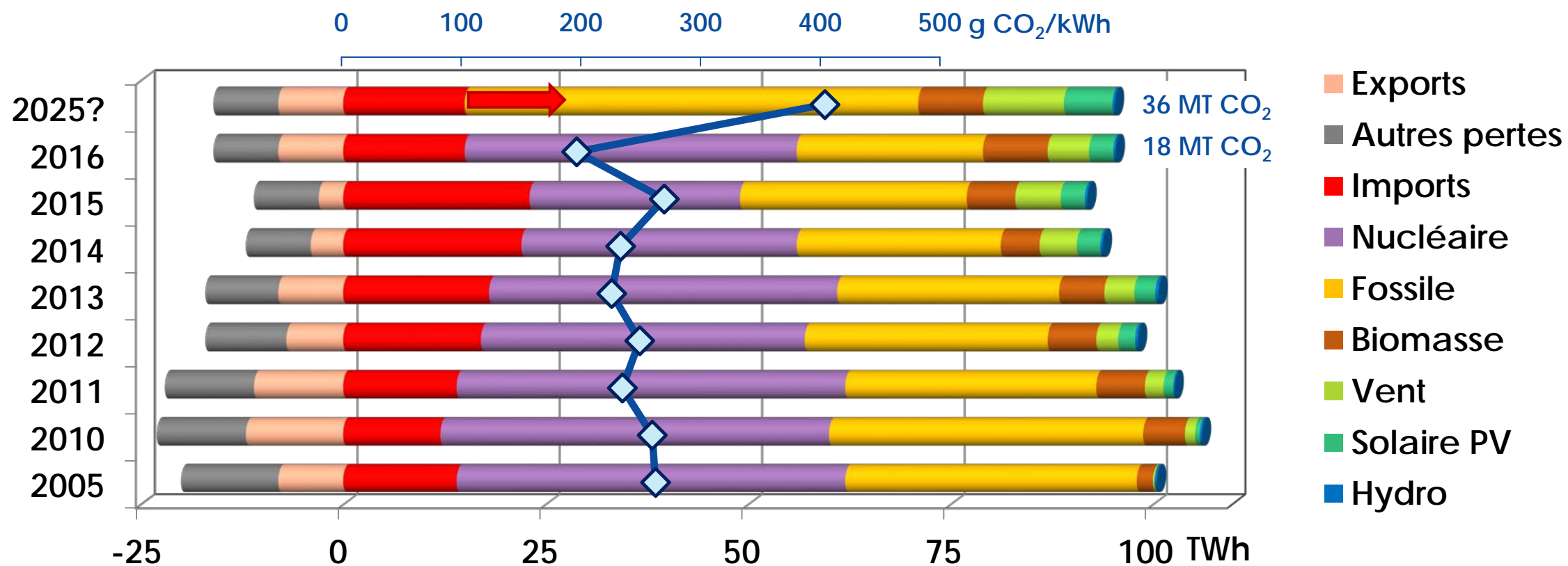
Empreinte CO₂ de l'électricité: BE-DE-FR



Occasion manquée ?



Belgique sans nucléaire?

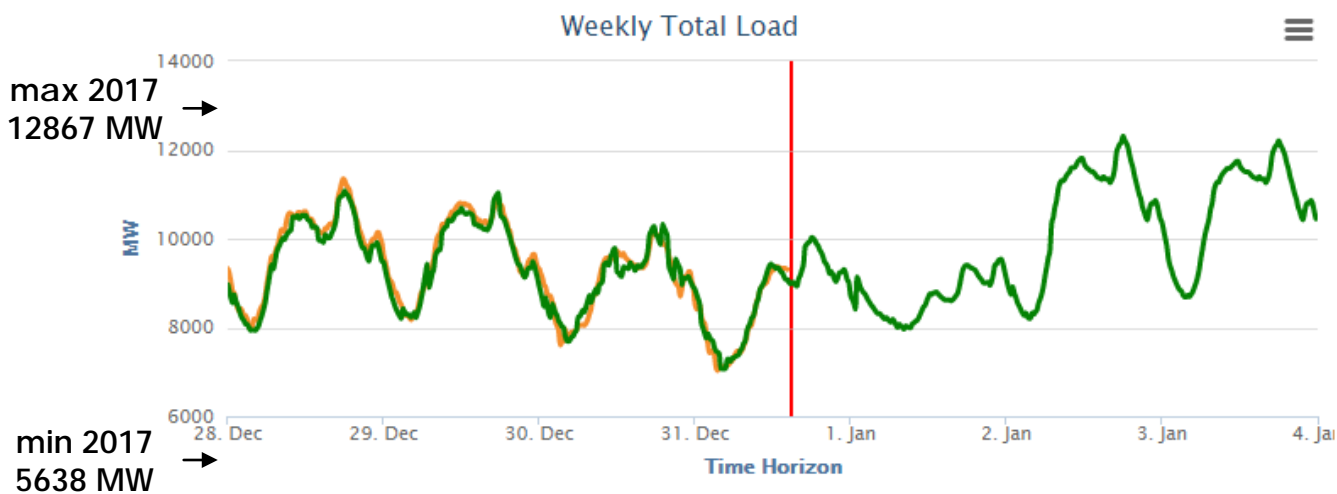


Production = consommation

Variations sur une semaine en Belgique

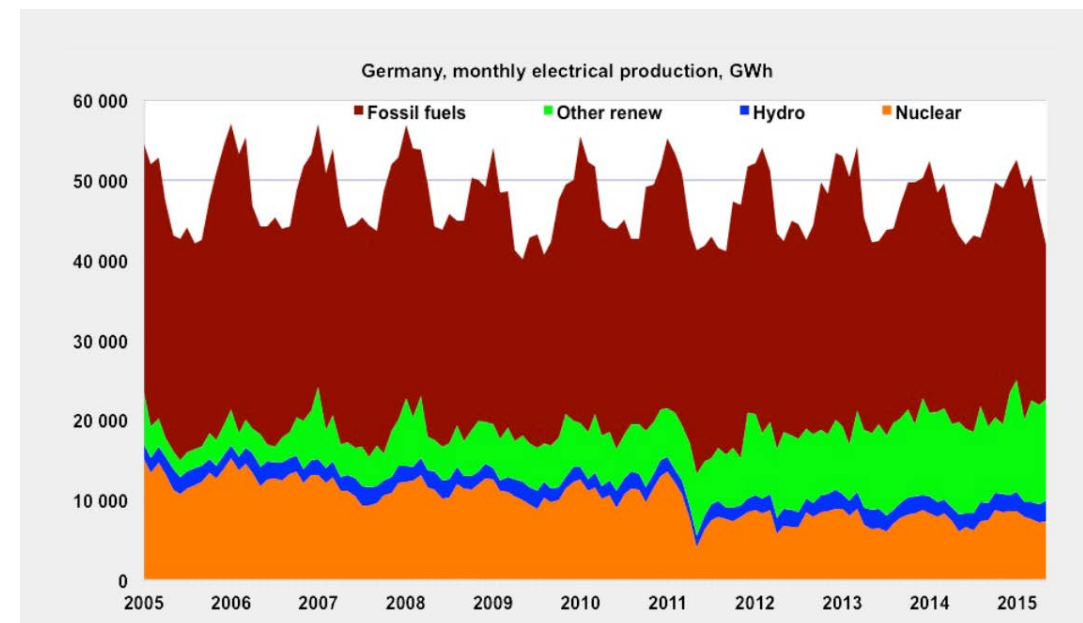
Total Load: weekly view

Begin date: End date:

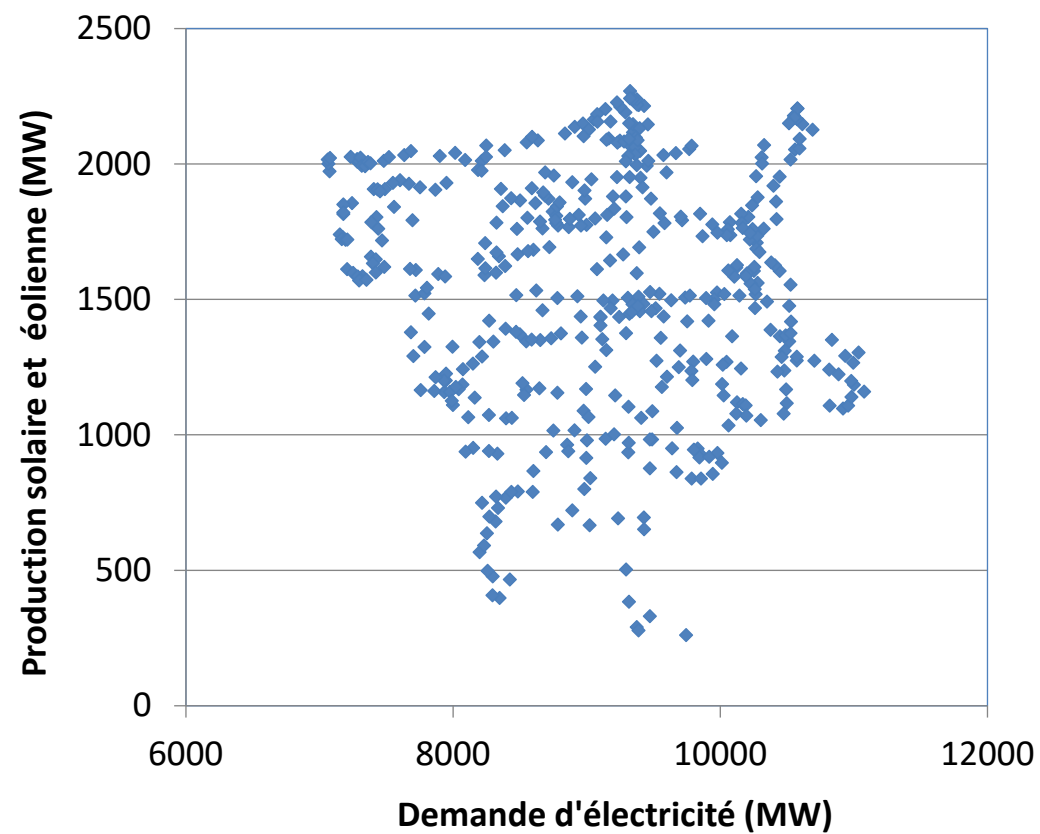
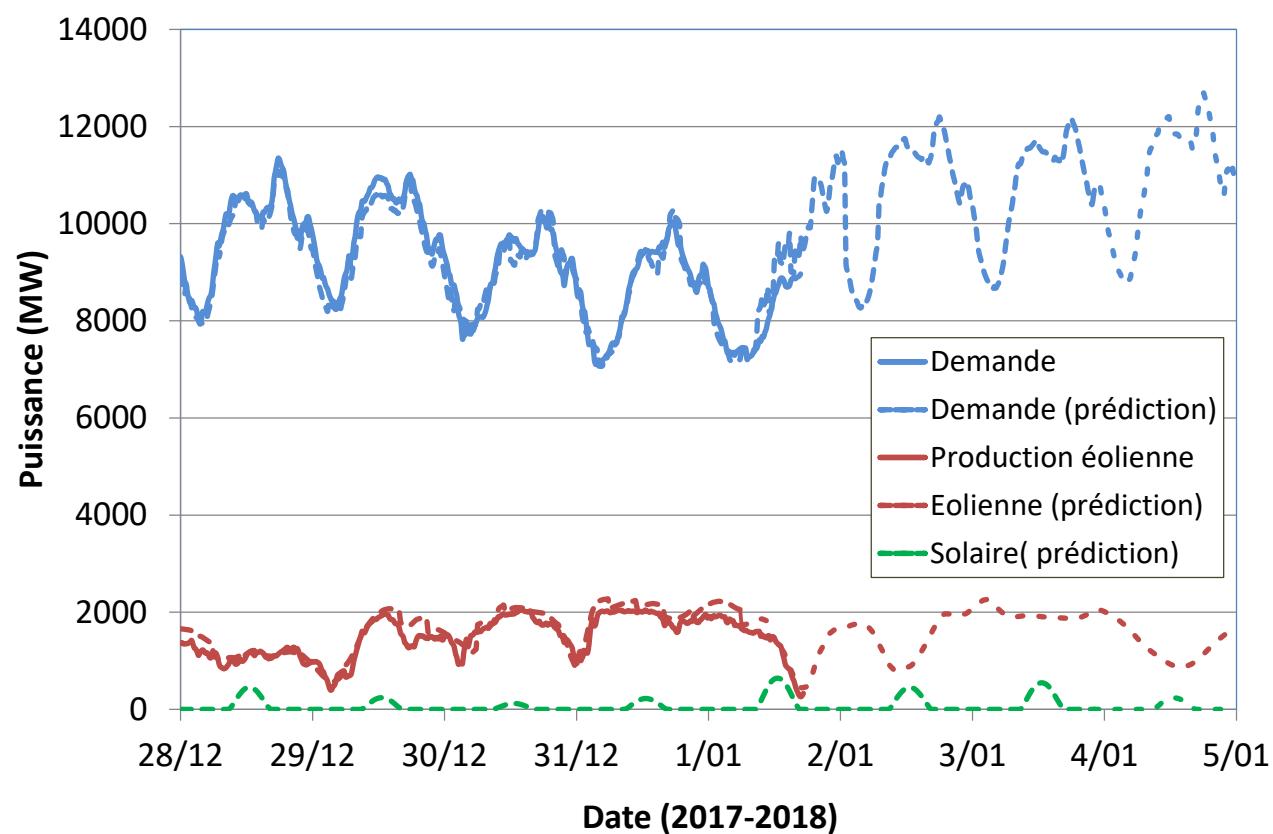


<http://www.elia.be/en/grid-data/Load-and-Load-Forecasts/total-load#02>

Variations saisonnières en Allemagne



Energies « fatales » en Belgique



Intégrer les énergies fatales

- ▶ Les EnR « fatales » produisent en fonction de la météo indépendamment de la demande
- ▶ Le facteur de charge est faible: 10 à 35% (voir plus loin)
 - ▶ La capacité de production nominale doit donc être fortement surdimensionnée (de 3 à 10 fois)
- ▶ L'introduction massive de EnR requiert:
 - ▶ des capacités de stockage **massives**

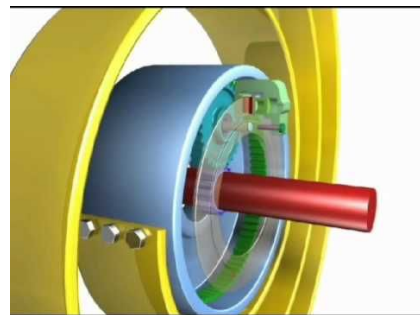
production = consommation ± (dé)stockage

- ▶ coût énergétique du stockage (20-30%) (+ coût des investissements)
- ▶ des interconnexions internationales pour équilibrer les réseaux (pourquoi pas un réseau mondial puisqu'il y a toujours du soleil quelque part...), mais:
 - ▶ coût énergétique de la transmission: entre 3 et 7% de pertes par 1000 km
 - ▶ coût de la distribution: aujourd'hui: 6.5% - avec 80% EnR: 8-10%

Stockage d'énergie



Stockage mécanique:
cinétique (volant
d'inertie)
ou potentielle
(barrages –
compression d'air)



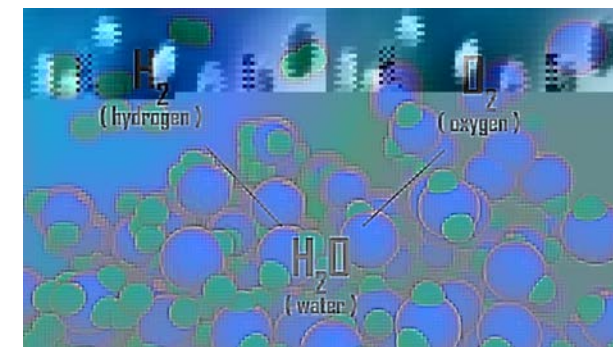
stockage
électrique
super-
condensateur
anneau
supraconducteur



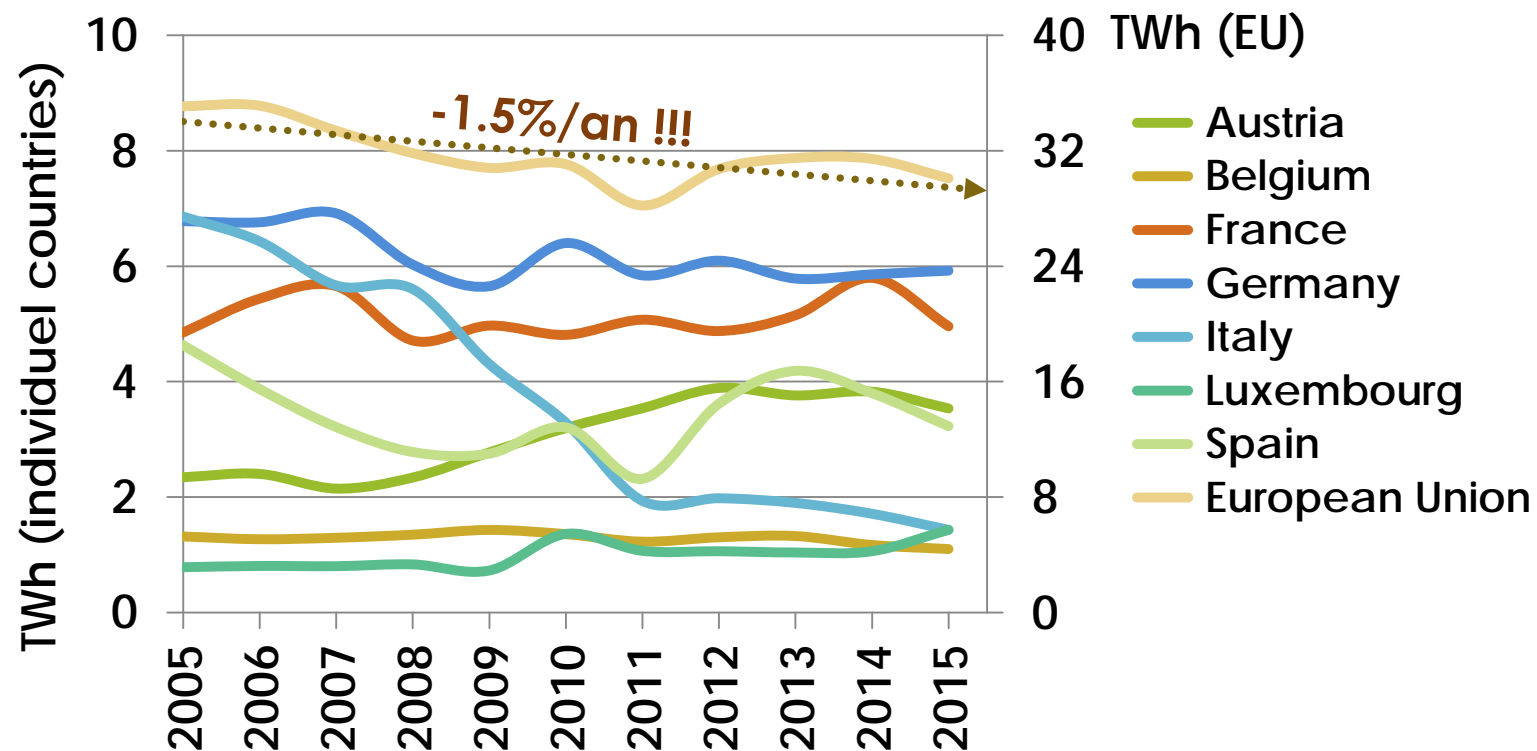
stockage
thermique -
solaire par
concentration



Stockage chimique: batteries -
hydrogène par électrolyse



Stockage par pompage-turbinage



Source: IRENA

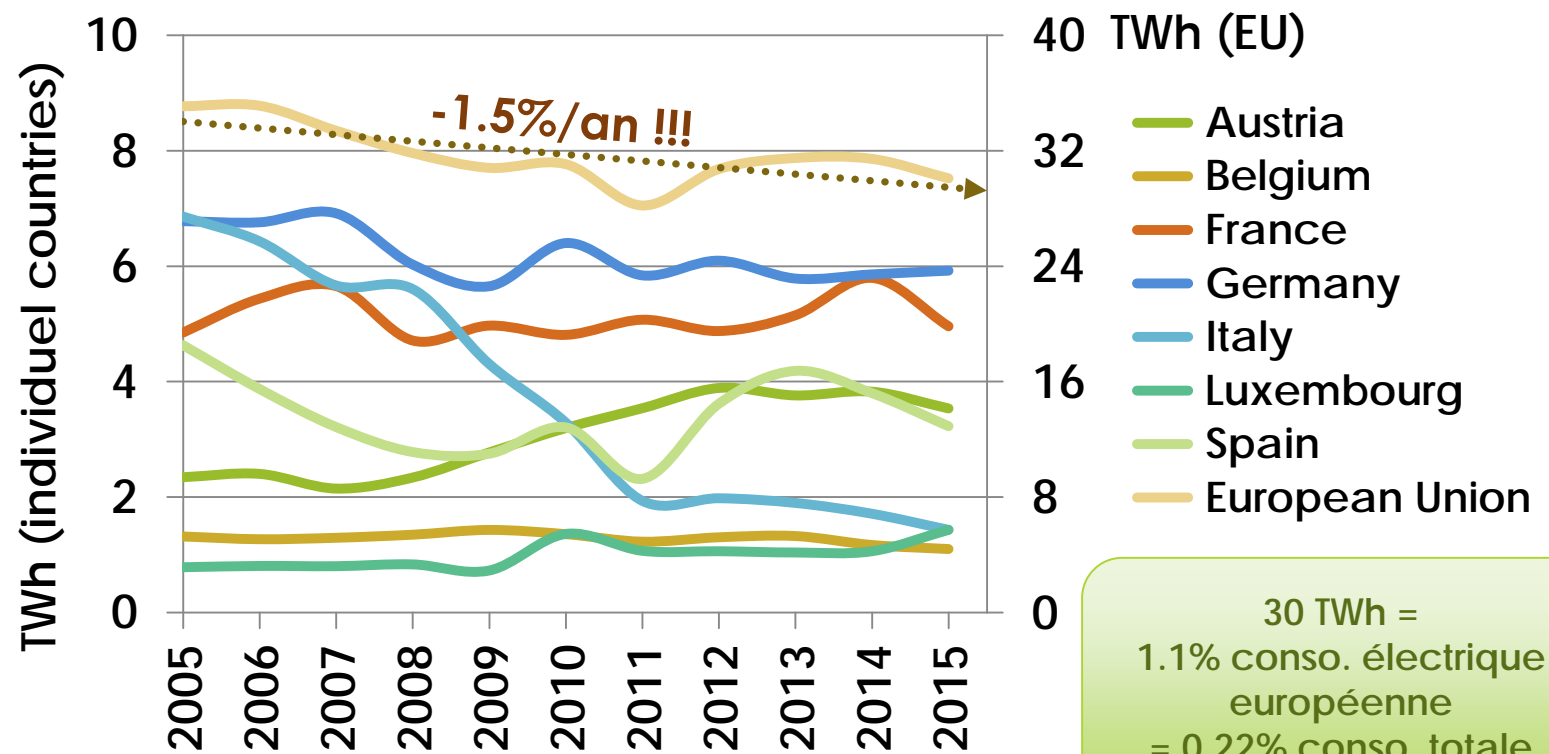
40 TWh (EU)

- Austria
- Belgium
- France
- Germany
- Italy
- Luxembourg
- Spain
- European Union

Coo - Trois-Ponts

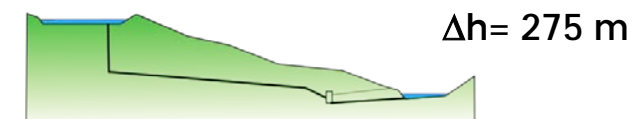


Stockage par pompage-turbinage

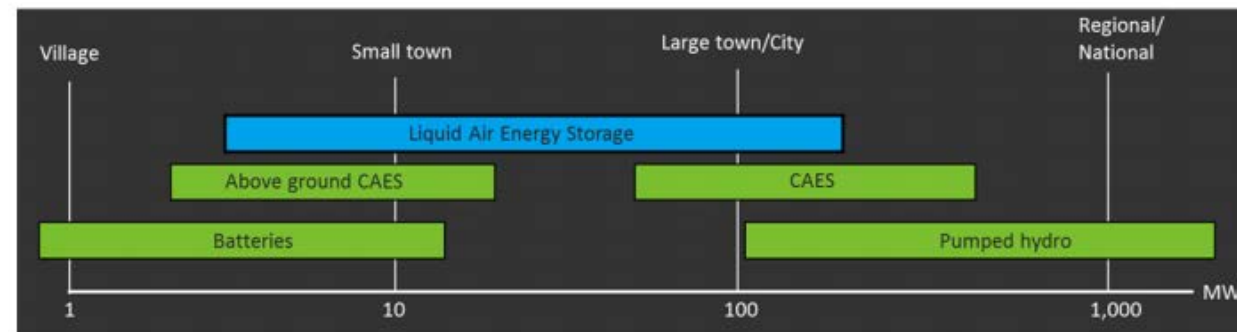
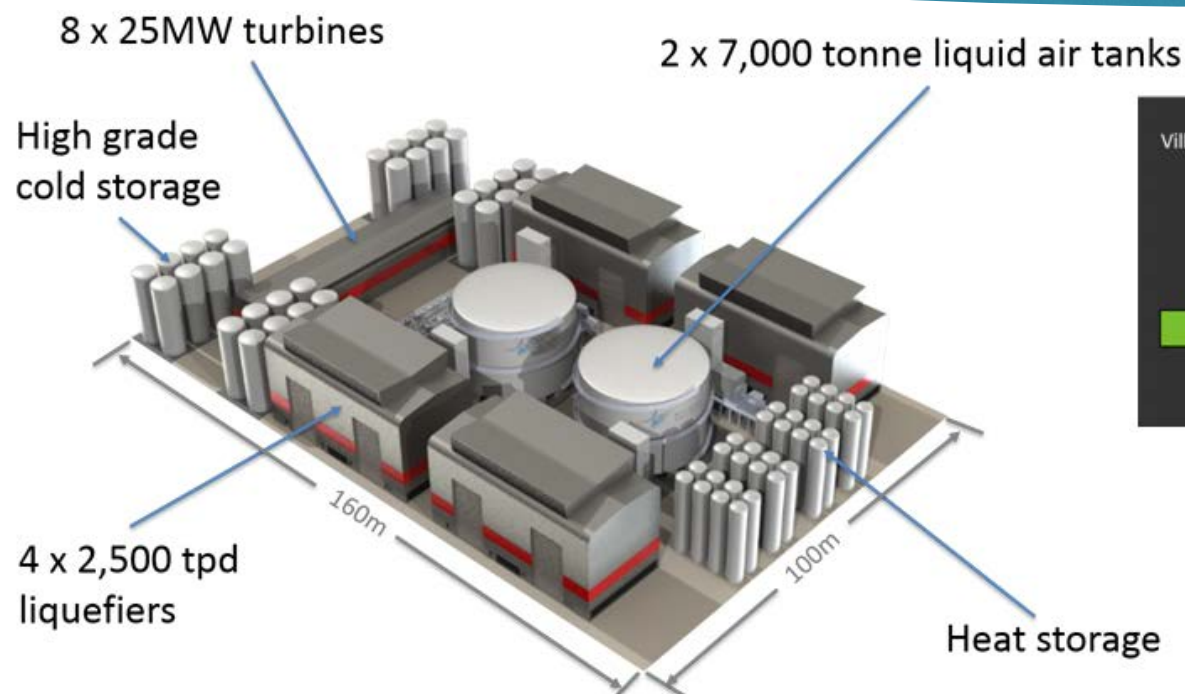


Source: IRENA

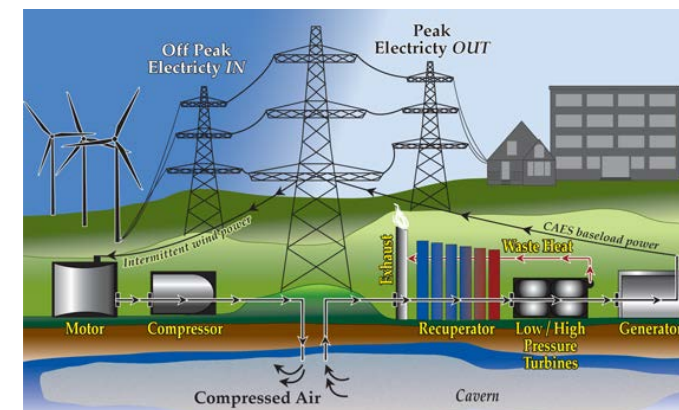
Coo - Trois-Ponts



Stockage d'air liquide

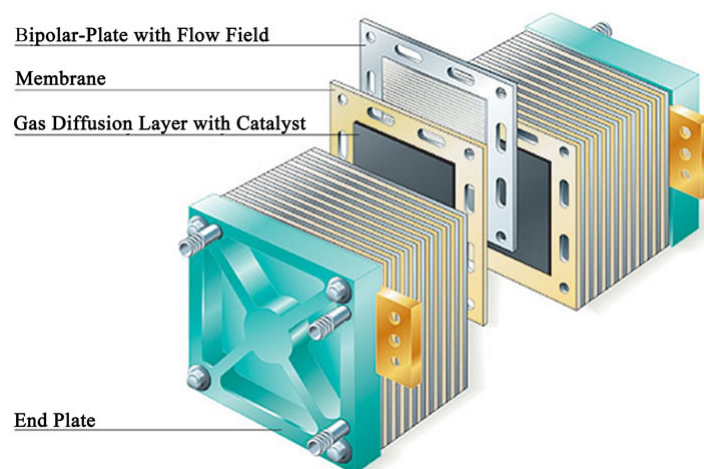


Stockage d'électricité par liquéfaction d'air - Production: la chaleur réchauffe l'air qui se gazéifie et fait tourner une turbine - concept: 200MW/1.2GWh/
 $\eta = 70\%$... à adosser à une centrale thermique ou à une aciérie

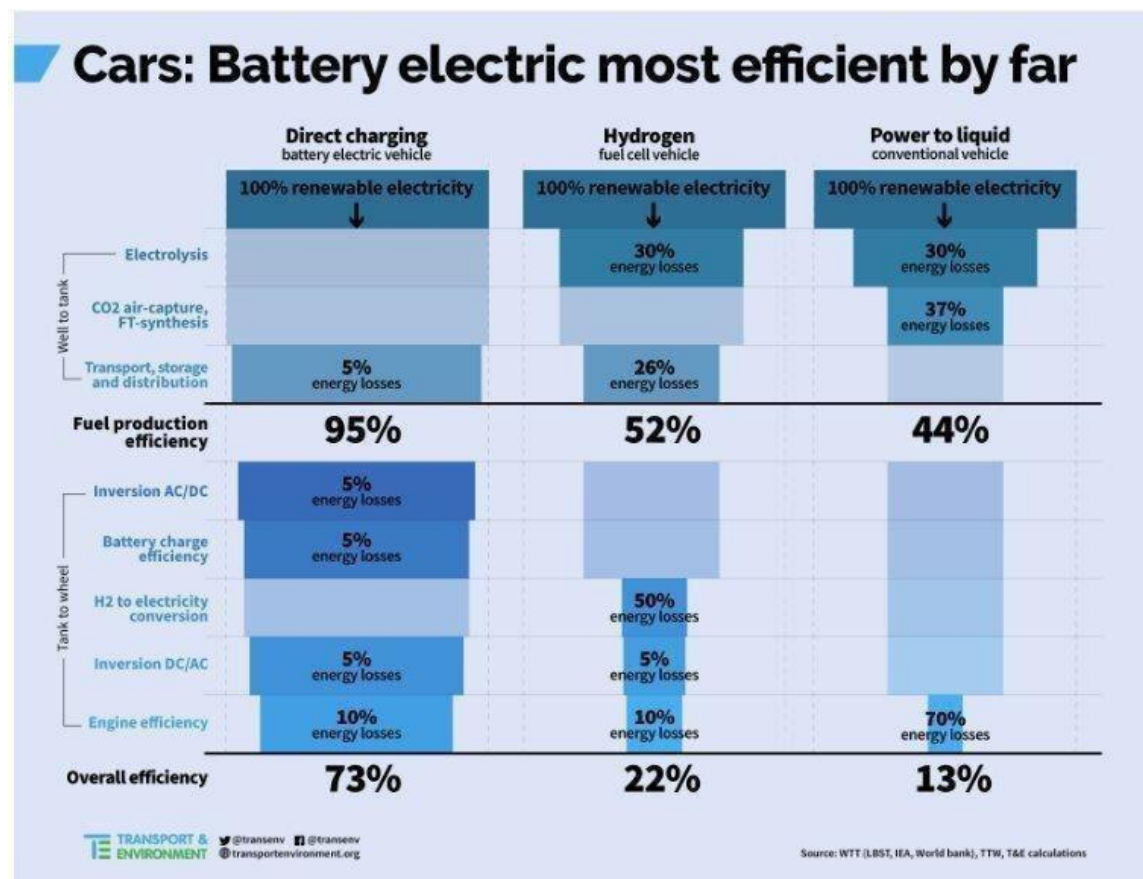


Hydrogène

- ▶ un vecteur d'énergie plutôt qu'une source d'énergie
 - ▶ sous-produit de l'industrie chimique (généralement brûlé – torchères)
 - ▶ aussi obtenu par électrolyse de l'eau – $\eta = 70\%$
- ▶ utilisations:
 - ▶ stockage gazeux (350-800 bar), ~~stockage liquide~~
 - ▶ ~~combustion~~
 - ▶ production directe d'électricité (pile à combustible)
 - ▶ stationnaire (SOFC) – $\eta > 60\%$ (combinable avec production de chaleur)
 - ▶ mobile (PEMFC) – $\eta = 50\%$
 - ▶ Rendement global max pour le stockage d'électricité: $\eta < 30\%$



Rendement des voitures « propres » électrique – hydrogène – biocarburant



Fake news

Énergie : le solaire rattrape le charbon

Par : Dominique Pialot | La Tribune

📅 Oct 4, 2017



Le solaire passe devant l'éolien

Ce dernier rapport met en évidence le rôle croissant du solaire photovoltaïque, et confirme celui toujours plus déterminant de la Chine.

Avec 74 GW installés en 2016, soit deux fois plus qu'en 2015, le photovoltaïque fait mieux que l'éolien (+ 52 GW, en baisse de 20%), et surtout, pour la première fois, passe devant le charbon (+ 57 GW).

Fake news

~~Énergie : le solaire rattrape le charbon~~

Par : Dominique Pialot | La Tribune

📅 Oct 4, 2017



Le solaire passe devant l'éolien

Ce dernier rapport met en évidence le rôle croissant du solaire photovoltaïque, et confirme celui toujours plus déterminant de la Chine.

Avec 74 GW installés en 2016, soit deux fois plus qu'en 2015, le photovoltaïque fait mieux que l'éolien (+ 52 GW, en baisse de 20%), et surtout, pour la première fois, ~~passé devant~~ le charbon (+ 57 GW).

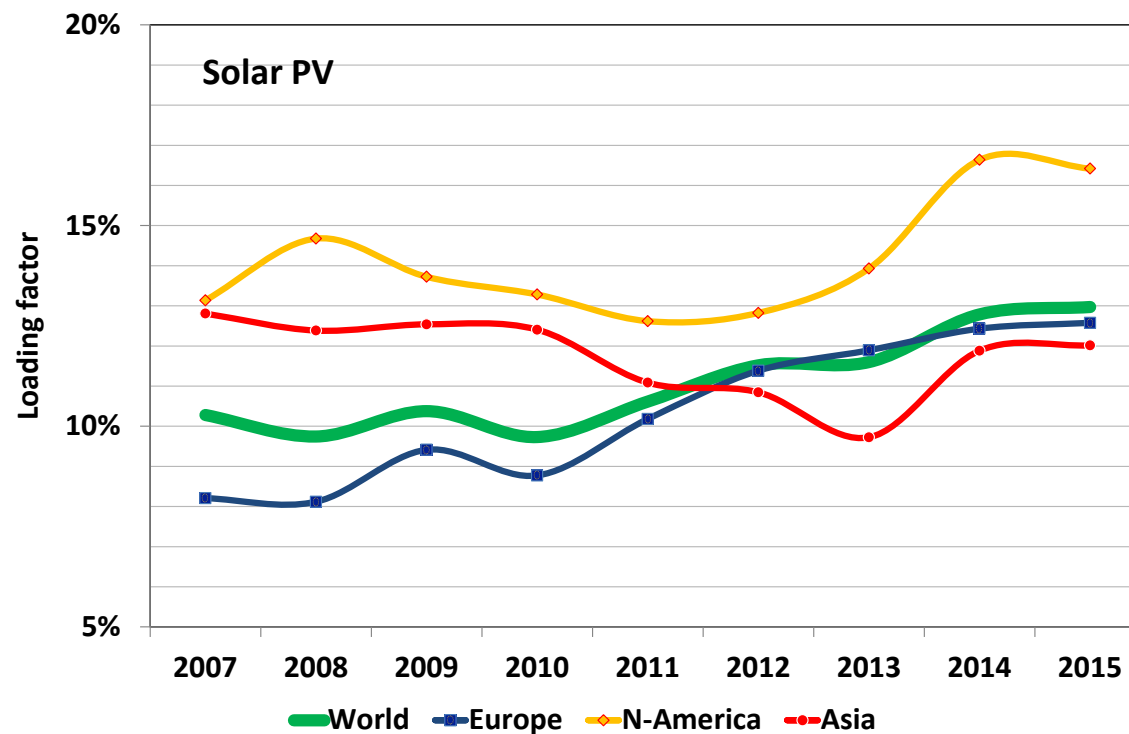
$1 \text{ W}_{\text{installé}} = 1 \text{ W}_{\text{pic}} \neq 1 \text{ W}_{\text{effectif}}$
 les capacités de production du
 photovoltaïque, de l'éolien et du charbon
 ne sont pas comparables !

Facteur de charge – solaire PV

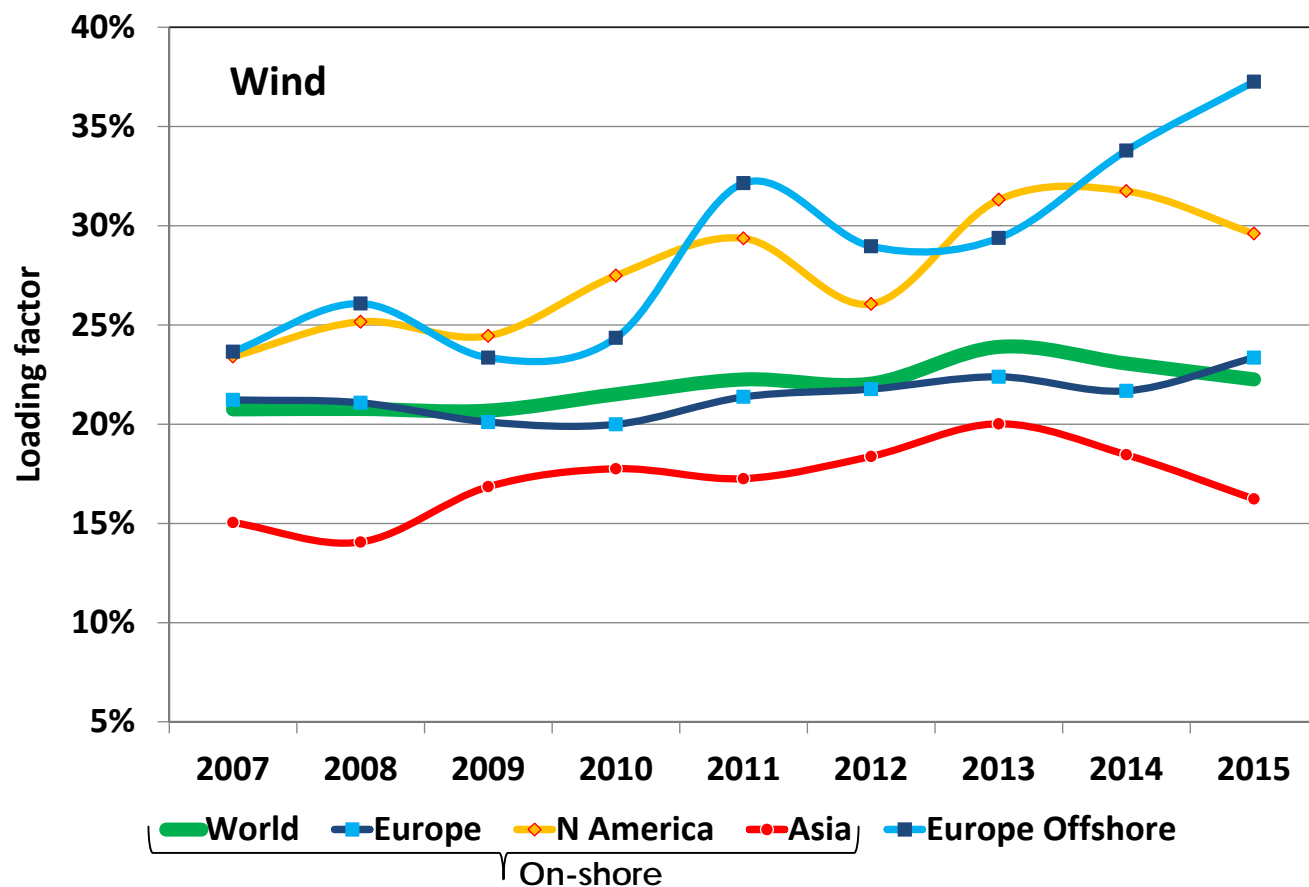
- ▶ Capacité de production des panneaux solaires PV en 2015 dans le monde:

225 GW

- ▶ la production annuelle théorique des ces panneaux est de $225 \times 365 \times 24$ GWh, soit 1970 TWh
- ▶ mais il y a la nuit, les nuages, le smog, l'angle d'incidence... la production réelle était de 256 TWh
- ▶ le facteur de charge mondial moyen annuel du solaire PV était donc $256/1970 = 13\%$
- ▶ En Belgique: 5.5 KWp (sur mon toit) délivrent ≈ 5000 kWh/an soit 0.57 kWe (10.4%)



Facteur de charge

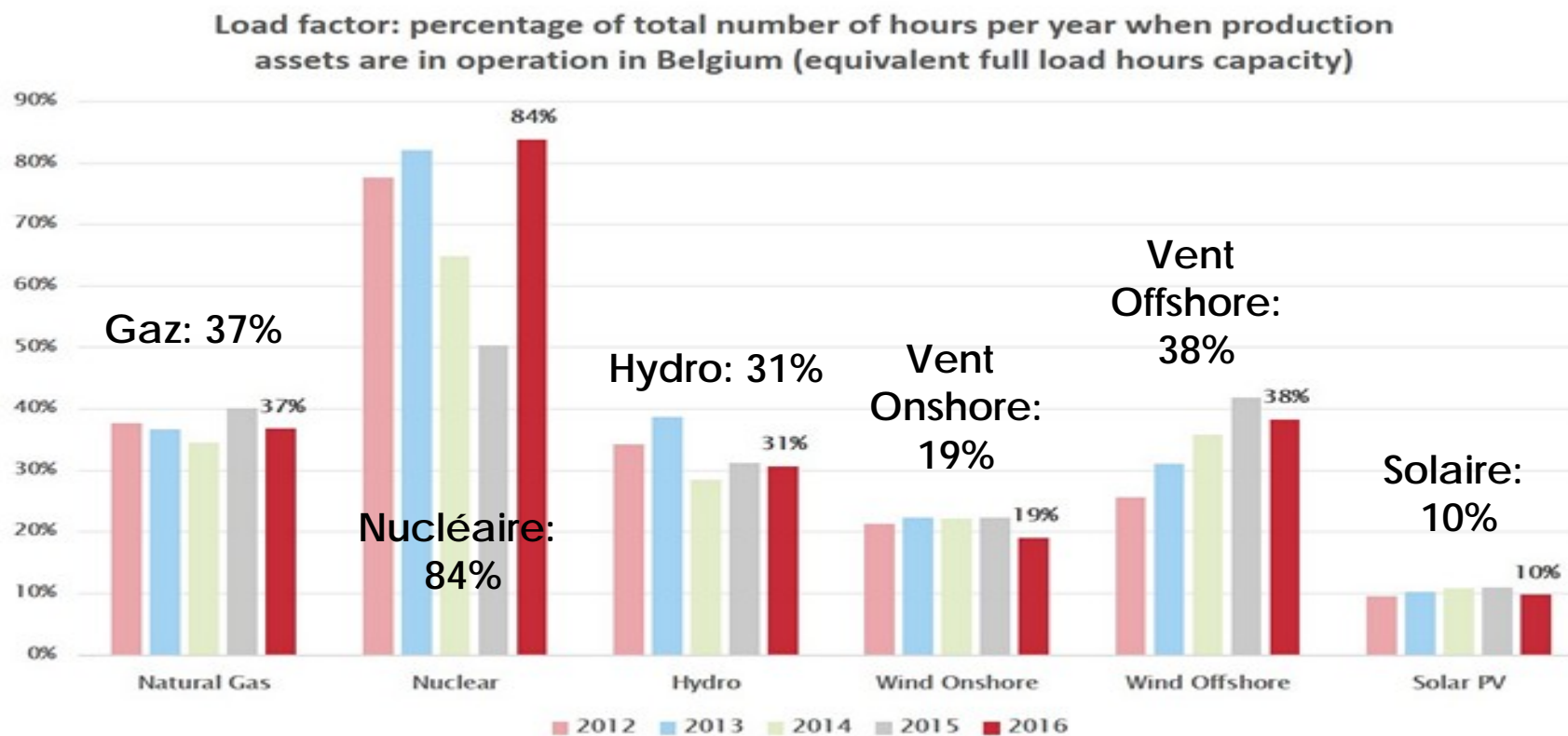


Facteurs de charge typiques

solaire PV	10-15%
éolien onshore	15-30%
centrales thermiques	>90%*
hydroélectricité	>85%*

* modulable en fonction de la demande

Facteur de charge en Belgique



<https://www.febeg.be/fr/statistiques-electricite>

Fake news (bis)

~~Énergie : le solaire rattrape le charbon~~

Par : Dominique Pialot | La Tribune

📅 Oct 4, 2017



Le solaire passe devant l'éolien

Ce dernier rapport met en évidence le rôle croissant du solaire photovoltaïque, et confirme celui toujours plus déterminant de la Chine.

Avec 74 GW installés en 2016, soit deux fois plus qu'en 2015, le photovoltaïque fait ~~mieux que~~ l'éolien (+ 52 GW, en baisse de 20%), et surtout, pour la première fois, ~~passé devant~~ le charbon (+ 57 GW).

Solaire: $74 \text{ GWp} * 12\% = 9 \text{ GWe}$

Eolien: $52 \text{ GWp} * 20\% = 10.4 \text{ GWe}$

Charbon: $57 \text{ GWp} * 75\% = 43 \text{ GWe}$

$9 < 10.4 \ll 43$

(jusqu'à preuve du contraire)

Fake news 2

Plus d'électricité verte à Wielsbeke grâce à une nouvelle éolienne de Wind4Flanders

Communiqué :

Inauguration d'une éolienne dans la commune de Wielsbeke en présence de Bart Tommelein, ministre flamand de l'Énergie

Le 9 février 2017 a eu lieu l'inauguration officielle de l'éolienne du parc industriel de Wielsbeke d'Hooie en présence de Bart Tommelein, ministre flamand de l'Énergie, Jan Stevens, bourgmestre de Wielsbeke, et des partenaires de Wind4Flanders. Dans la zone industrielle, les habitants pourront apercevoir désormais une éolienne d'une hauteur de 150 mètres et d'une puissance de 2,35 MW.

L'éolienne a été érigée dans le parc industriel par Wind4Flanders, un partenariat 50-50 entre ENGIE Electrabel et les associations de financement FIGGA, FINGEM, FINILEK et IKA, ainsi que l'intercommunale bruxelloise de l'Électricité (IBE). Les travaux préparatoires ont débuté en février dernier, la construction proprement dite de l'éolienne a commencé l'été dernier, au mois d'août, le parachèvement de l'ouvrage ayant eu lieu à l'automne. La capacité annuelle de l'éolienne est de 4,8 millions de kWh, soit la consommation globale d'environ 1.400 ménages. Le caractère respectueux de l'environnement du projet permet d'éviter tous les ans 2.200 tonnes d'émissions de CO2. L'investissement total porte sur 3 millions d'euros.

Fake news 2

Plus d'électricité verte à Wielsbeke grâce à une nouvelle éolienne de Wind4Flanders

Communiqué :

Inauguration d'une éolienne dans la commune de Wielsbeke en présence de Bart Tommelein, ministre flamand de l'Énergie

Le 9 février 2017 a eu lieu l'inauguration officielle de l'éolienne du parc industriel de Wielsbeke d'Hooie en présence de Bart Tommelein, ministre flamand de l'Énergie, Jan Stevens, bourgmestre de Wielsbeke et des partenaires de Wind4Flanders. Dans la zone industrielle, les habitants pourront apercevoir désormais une éolienne d'une hauteur de 150 mètres et d'une puissance de 2,35 MW.

L'éolienne a été érigée dans le parc industriel par Wind4Flanders, un partenariat 50-50 entre ENGIE Electrabel et les associations de financement FIGGA, FINGEM, FINILEK et IKA, ainsi que l'Intercommunale bruxelloise de l'Électricité (IBE). Les travaux préparatoires ont débuté en février dernier, la construction proprement dite de l'éolienne a commencé l'été dernier, au mois d'août, le parachèvement de l'ouvrage ayant eu lieu à l'automne. La capacité annuelle de l'éolienne est de 4,8 millions de kWh soit la consommation globale d'environ 1.400 ménages. Le caractère respectueux de l'environnement du projet permet d'éviter tous les ans 2.200 tonnes d'émissions de CO₂. L'investissement total porte sur 3 millions d'euros.

2.35 MW

consommation
globale de
1400 ménages

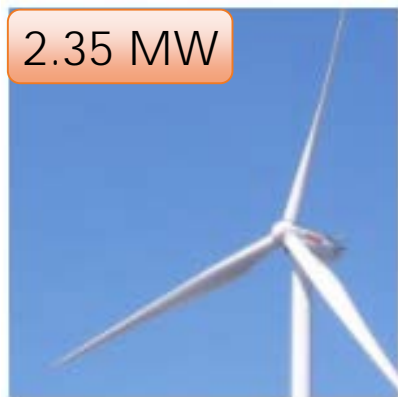
2200 tonnes
de CO₂
évitées

4.8 millions de kWh



Fake news 2

2.35 MW



Facteur de charge éolien terrestre = 20%
Production annuelle = $2350 \times 365 \times 24 \times 0.2 = 4100000$ kWh

4.1 millions de kWh

~~4.8 millions de kWh~~

Fake news 2

41

S19

2.35 MW



Facteur de charge éolien terrestre = 20%

Production annuelle = $2350 \times 365 \times 24 \times 0.2 = 4100000$ kWh

CO₂/KWh: gaz: 490 g – nucléaire: 12 g – éolien: 12 g

⇒ CO₂ évité (gaz) : $41000000 \times (490 - 12) = 2300$ tonnes

⇒ CO₂ évité (nucl.) : $41000000 \times (12 - 12) = 0$ tonnes

4.1 millions de kWh

~~4.8 millions de kWh~~

~~2200 tonnes de
CO₂ évitées~~

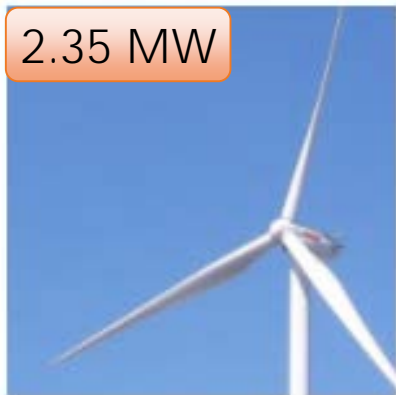
[0, 2300] tonnes

Fake news 2

41

S19

2.35 MW



Facteur de charge éolien terrestre = 20%

Production annuelle = $2350 \times 365 \times 24 \times 0.2 = 4100000$ kWh

CO₂/KWh: gaz: 490 g – nucléaire: 12 g – éolien: 12 g

⇒ CO₂ évité (gaz) : $41000000 \times (490 - 12) = 2300$ tonnes

⇒ CO₂ évité (nucl.) : $41000000 \times (12 - 12) = 0$ tonnes

4.1 millions de kWh

~~4.8 millions de kWh~~

~~2200 tonnes de CO₂ évitées~~

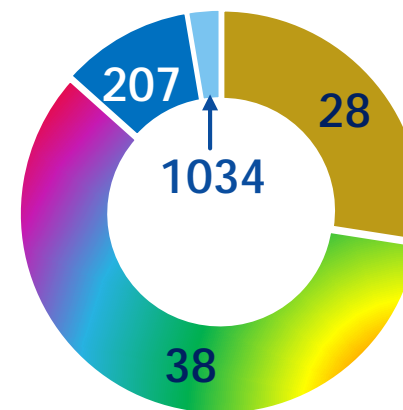
[0, 2300] tonnes

Nombre moyen de personnes dans un ménage: 2.3
Consommation électrique domestique annuelle d'un ménage: 3973 kWh

Nombre de ménages couverts par l'éolienne:

$4100000/3973 = 1034 \dots$

Mais quelle est la consommation à prendre en compte?



~~consommation **GLOBALE** de 1400 ménages~~

1034 ou 207 ou 38 ou 28 ménages...

Comment remplacer une « tranche » nucléaire... du vent?

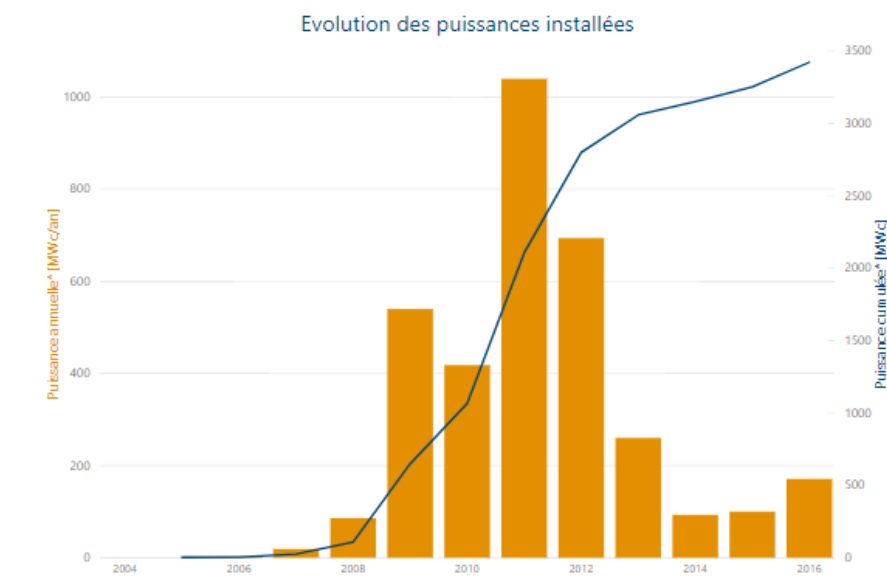
- ▶ puissance centrale 1000 MW, facteur de charge (FC) = 85%
- ▶ éolienne onshore: puissance 4 MW, FC= 20%
 - ▶ puissance à installer: 4250 MW, soit 1063 éoliennes (sur une zone de 266 km²)
 - ▶ masse d'acier requise: 530 000 tonnes (125 tonnes/MW – 2.8 tonnes/GWh)
- ▶ éolienne offshore: puissance 8 MW, FC= 35%
 - ▶ puissance à installer: 2430 MW, soit 304 éoliennes
 - ▶ masse d'acier requise: 600 000 tonnes (250 tonnes/MW)
- ▶ parc actuel en Belgique fin 2016
 - ▶ on-shore: 756 éoliennes (1700 MW – 2.25 MW/éolienne) – 40% d'une centrale
 - ▶ offshore: 182 éoliennes (700 MW) – 3.84 MW/éolienne) – 29% d'une centrale



Sources: <http://www.apere.org/fr/observatoire-eolien>, Dong Energy, Vestas

Comment remplacer une « tranche » nucléaire... du soleil alors ?

- ▶ puissance centrale 1000 MW, facteur de charge 85%
- ▶ Solaire PV: FC= 10%
 - ▶ puissance à installer: 8500 MWp
 - ▶ puissance des panneaux: 200 W/m²
 - ▶ surface requise brute: 2 x 42 500 000 m² = 83 km²
- ▶ parc actuel en Belgique fin 2016
 - ▶ 3423 MW (surface nette: 24.4 km²)
 - ▶ avec accroissement très faible ces dernières années
 - ▶ 40% d'une centrale nucléaire



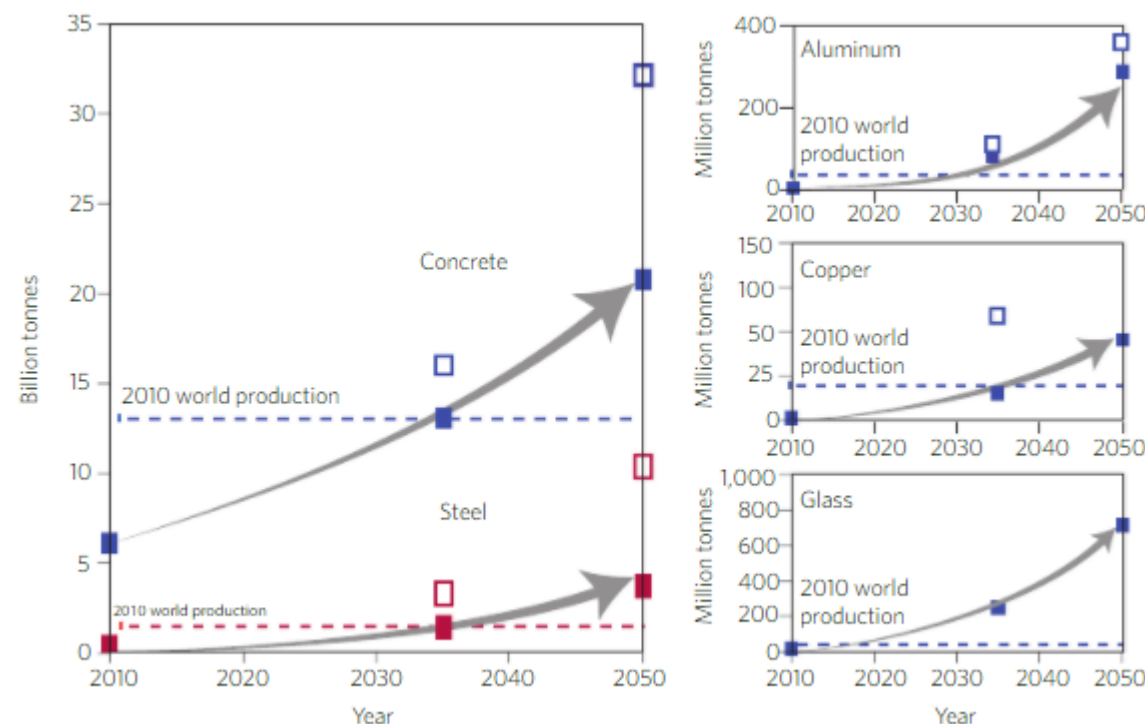
Sources: <http://www.apere.org/fr/observatoire--photovoltaïque>

Remplacer les fossiles par des métaux?

“Pour une capacité de production équivalente, solaire et éolien nécessitent 15 x plus de béton, 90 x plus d'aluminium, et 50 x plus de fer, de cuivre et de verre que les énergies fossiles et nucléaire”

Exemple: énergie éolienne en Belgique

- ▶ 125 to acier / MWp installé - durée de vie: 25 ans
- ▶ 25 ans de production totale: 44 GWh/MWp
- ▶ 1 TWh = 22.8 MWp x 25 ans soit 2850 to d'acier
- ▶ Les besoins nets de la Belgique: 500 TWh soit 1.45 M to d'acier par an (en vitesse de croisière) et environ 3 M tonnes pendant la transition
- ▶ (les adaptations du réseau et les dispositifs de stockage ne sont pas pris en compte)



Olivier Vidal, Bruno Goffé and Nicholas Arndt in NATURE GEOSCIENCE | VOL 6 | NOVEMBER 2013

EROEI: quand l'énergie coûte de l'énergie...

Production de bioéthanol à partir de maïs: une fausse bonne idée?

$$\text{EROEI}^* = \frac{\text{Red fuel canister}}{\text{Corn cobs} + \text{Fertilizer bag} + \text{Tractor} + \text{Distillation flask} + \text{Truck} + \dots} \approx \frac{5}{4}$$

(*) EROEI: Energy Return On Energy Invested

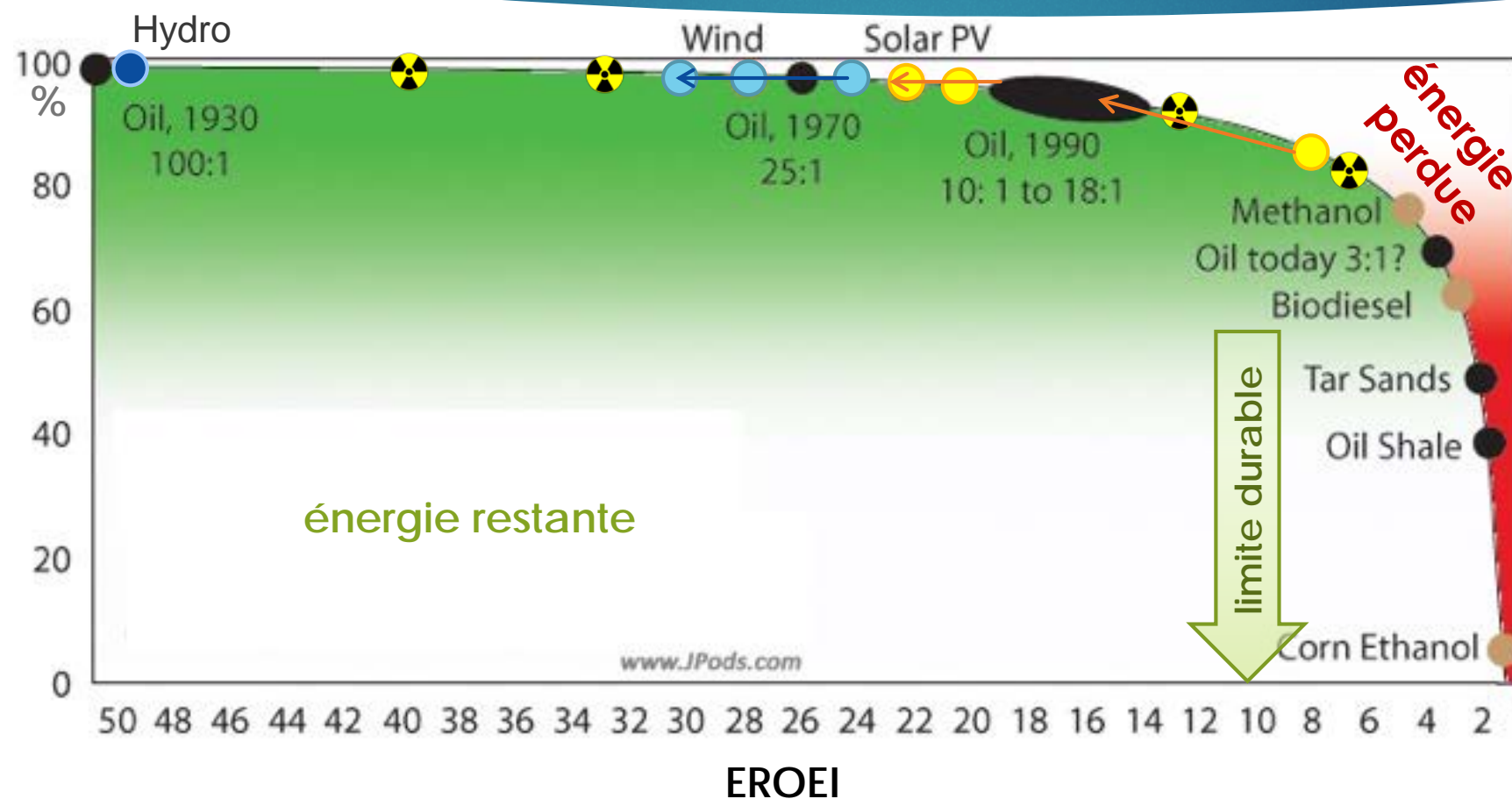
EROEI: quand l'énergie coûte de l'énergie...

La production d'agro-éthanol à partir de maïs est une aberration

$$\text{EROEI}^* = \frac{\text{Red Gas Can}}{\text{Corn Cobs} + \text{Fertilizer Bag} + \text{Tractor} + \text{Flask} + \text{Truck} + \dots} \approx \frac{5}{4}$$

(*) EROEI: Energy Return On Energy Invested

Au bord de la falaise énergétique...



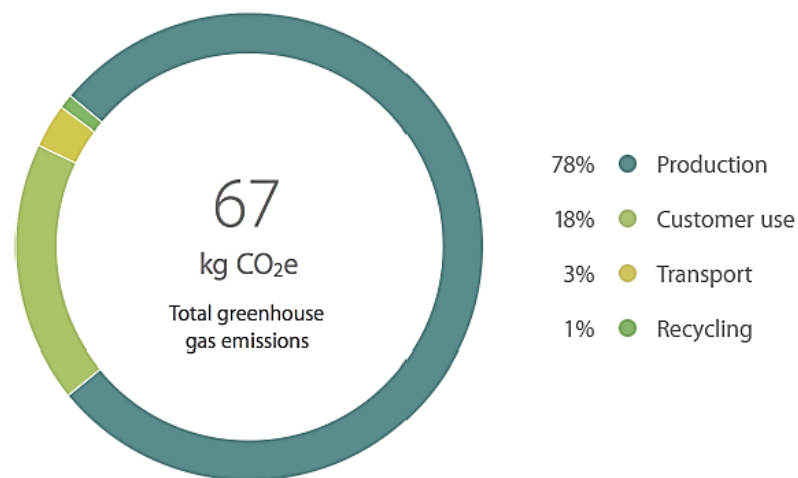
- ▶ cette énergie perdue est généralement cachée : elle est grise...

50 teintes de gris



iPhone 7 Plus Environmental Report

Greenhouse Gas Emissions for iPhone 7 Plus—32GB model



https://images.apple.com/environment/pdf/products/iphone/iPhone_7_Plus_PER_sept2017.pdf

- ▶ D'après Apple, un iPhone 7 Plus produira au cours de son cycle de vie, 67 kg de CO₂ dont 81% avant sa première utilisation.
- ▶ Ces 81% sont de l'énergie grise (100 à 150 kWh) consommée en Chine, mais qui devrait nous être comptabilisée...
- ▶ Enlever la prise du chargeur n'a aucun effet sur l'énergie grise !
- ▶ Le seul geste durable qui compte: conservez-le au moins 5 ans au lieu des 18 mois habituels!

Encore une chose...

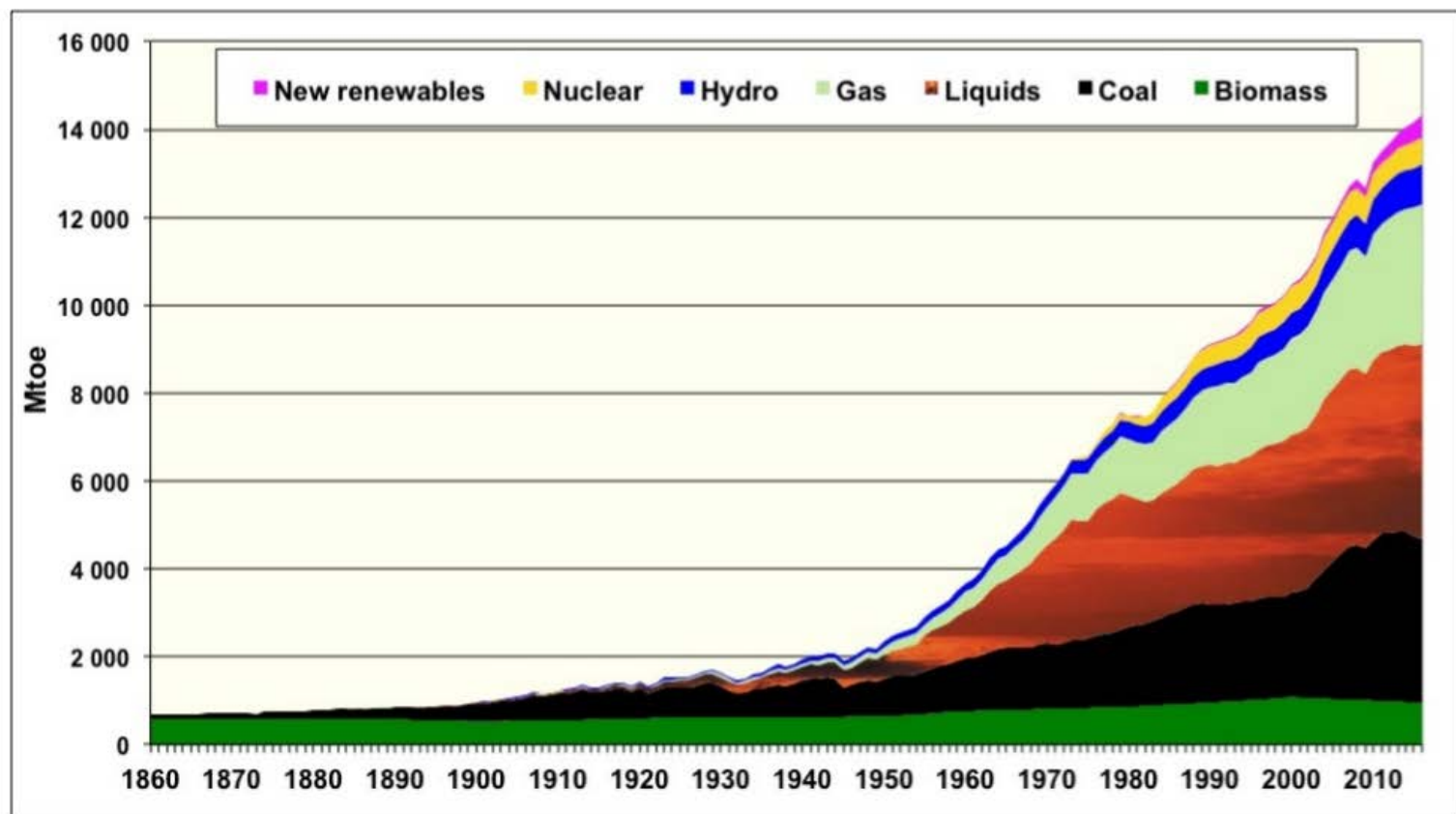
- ▶ Même si vous achetez de l'électricité "verte", il est tout à fait impossible de garantir que l'électricité que vous consommez a été produite à partir de sources renouvelables
- ▶ En appliquant la logique de l'électricité verte, si vous possédez des panneaux solaires qui délivrent des certificats verts, l'électricité que vous consommez réellement n'est plus verte puisque vous l'avez vendue via les certificats... Votre électricité vient alors exclusivement du réseau et est essentiellement d'origine fossile ou nucléaire...
- ▶ Aussi longtemps que vous êtes connecté au réseau, l'électricité est la même pour tout le monde et chacun reçoit le même « mix » électrique, parce que:

LES ÉLECTRONS N'ONT PAS DE COULEUR...

Premières conclusions

- ▶ l'énergie est avant tout une histoire de chiffres... difficiles à appréhender
- ▶ la plupart des informations qui circulent sont entachées d'erreurs, parfois grossières... pourtant, les informations correctes sont disponibles
- ▶ notre consommation d'énergie est démesurée mais nous n'avons pas réellement conscience de notre empreinte énergétique
- ▶ L'introduction massive des énergies renouvelables n'est absolument pas durable puisque les ressources pour les fabriquer ne sont pas renouvelables
- ▶ Dans le cadre de notre modèle économique, on ne peut pas à la fois supprimer le nucléaire et diminuer les émissions de gaz à effet de serre
- ▶ **Il n'y a pas et il n'y a jamais eu de transition énergétique... dans un monde en croissance, seule l'addition énergétique compte!**

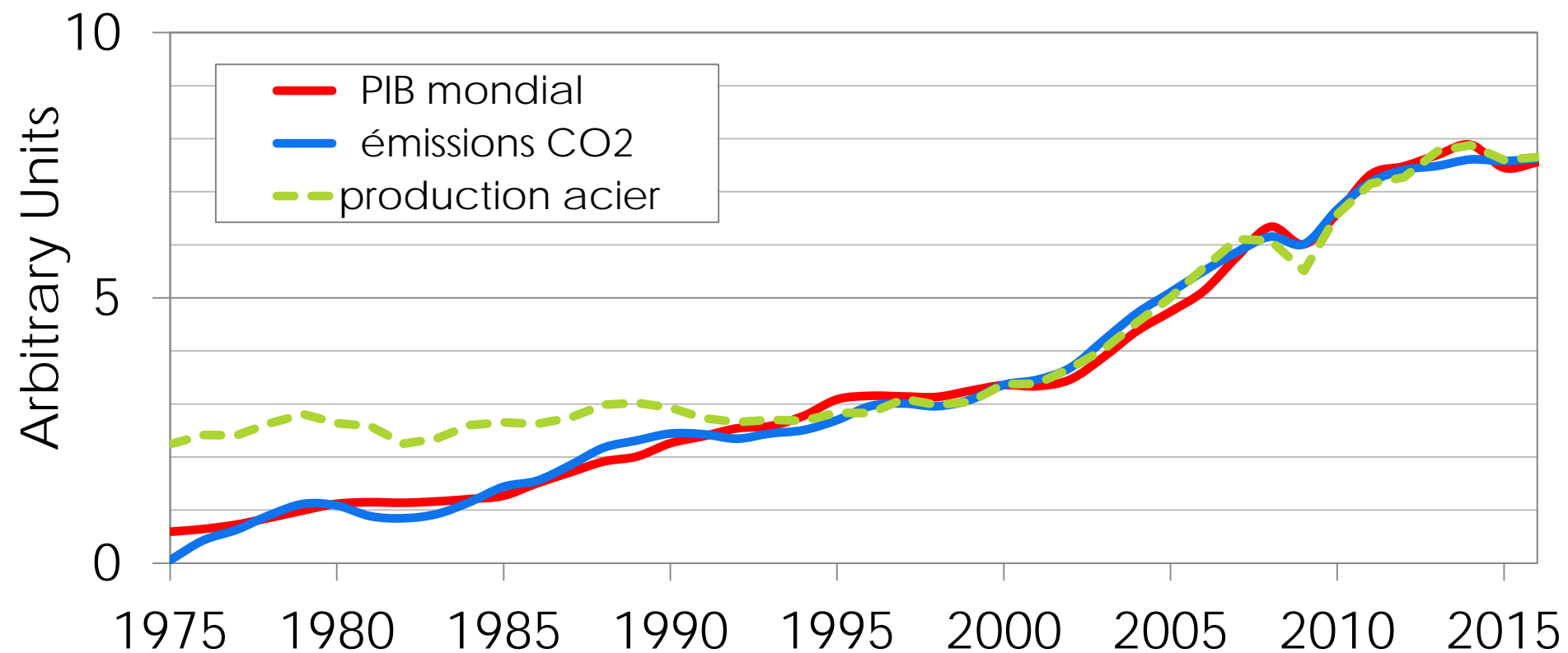
L'addiction énergétique



Consommation d'énergie dans le monde 1860-2016. Jancovici, 2017

- ▶ En 1925, le pétrole n'a pas remplacé le charbon... il s'est ajouté!
- ▶ En 1950, le gaz n'a pas remplacé le pétrole... il s'est ajouté!
- ▶ En 1975, le nucléaire n'a pas remplacé le gaz ... il s'est ajouté!
- ▶ En 2000, les renouvelables viennent s'ajouter à tout le reste...

L'explication: la croissance...



Quelle énergie pour demain?

Quelle énergie pour demain?

Ce n'est pas la bonne question!

Si nous disposions d'une source d'énergie infinie et parfaitement propre, nous continuerions à modifier l'environnement jusqu'à ce qu'il soit complètement anéanti... parce que la terre, elle, n'est pas infinie!

La bonne question c'est donc: combien?

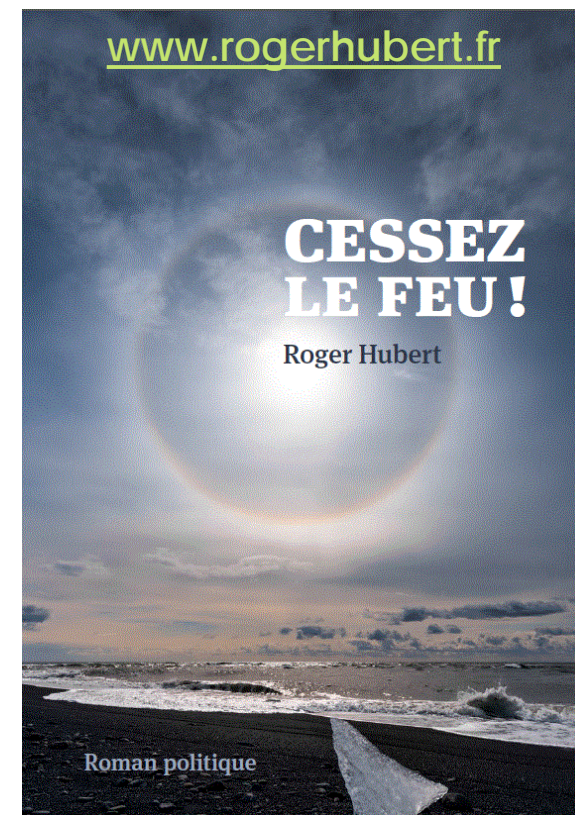
Et la réponse c'est moins... beaucoup moins...

Que pouvons-nous faire?

- ▶ Vivre avec l'illusion que nous pouvons conserver notre train de vie insoutenable pendant quelques temps encore, en augmentant la part de renouvelables ou en espérant la technologie miracle qui remettrait tous les compteurs à zéro ?
- ▶ Modifier radicalement nos comportements individuels pour réduire significativement notre empreinte énergétique... et espérer que les autres comprennent ?
 - ▶ Thermostat sur 18°C et pullover, remplacer la voiture par le vélo, arrêter la viande, arrêter le streaming, faire un potager en permaculture, bannir les city-trips en avion (mouvement des transitionneurs)

Que pouvons-nous faire?

- ▶ Rêver d'un changement radical de politique basé sur un nouveau modèle économique non basé sur la croissance ?
 - ▶ Réduire de 80% des énergies fossiles et de 50% notre consommation totale
 - ▶ Renationaliser l'énergie à l'échelle européenne
 - ▶ Recréer l'état et réapprendre la communauté
 - ▶ Réformer le système financier et « démercantiliser » la société
 - ▶ Abandonner l'agriculture intensive
 - ▶ Supprimer la compétition et changer les indicateurs de bien-être...



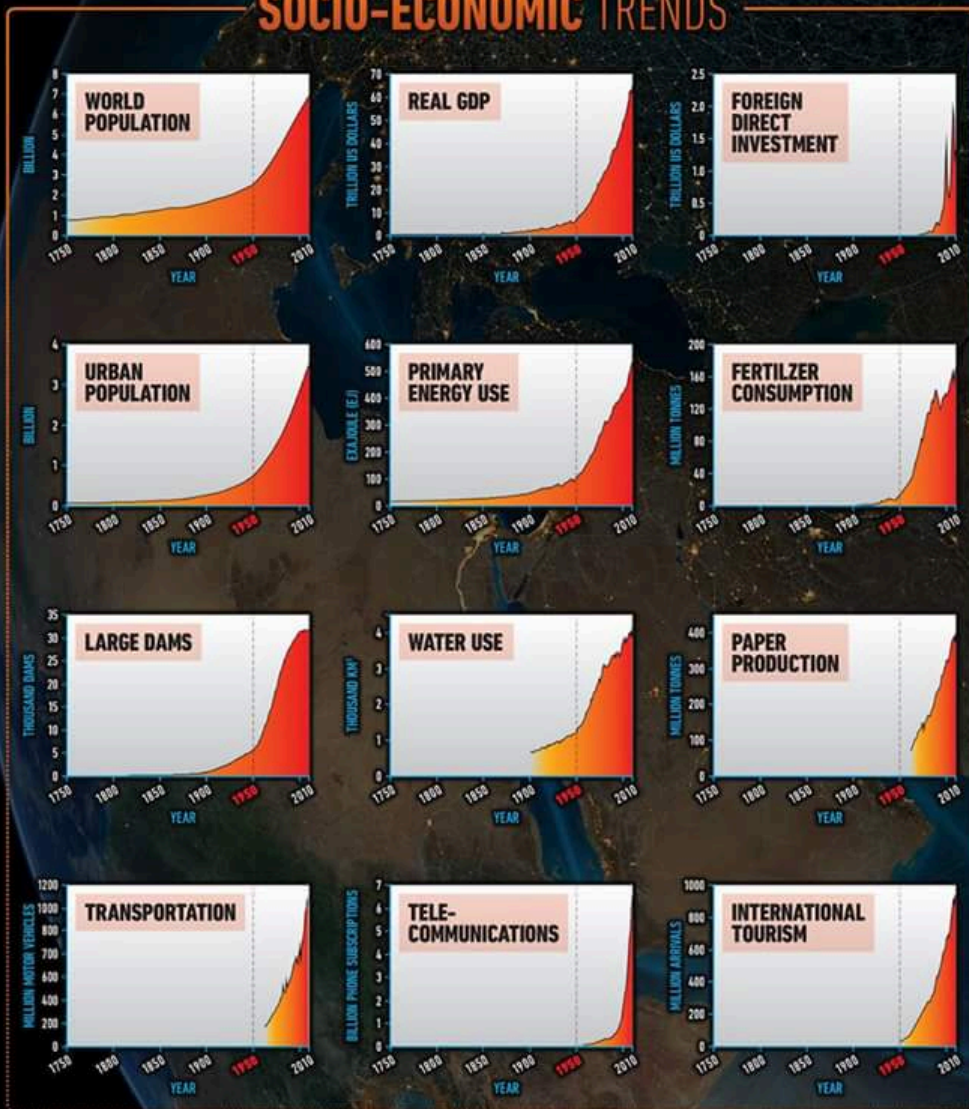
Que pouvons-nous faire?

- ▶ Considérer que l'effondrement du système est inéluctable à moyen terme et que la nature va reprendre ses droits ?
 - ▶ Quand? Personne ne sait... mais dans pas longtemps...
 - ▶ Comment? Personne ne sait...
 - ▶ Effondrement abrupt ou progressif?
 - ▶ Certains se préparent aujourd'hui à vivre dans une nouvelle époque
 - ▶ où chacun devra à nouveau subvenir à ses besoins primaires
 - ▶ où les fléaux que sont guerres, épidémies, famines pourraient bien réapparaître...

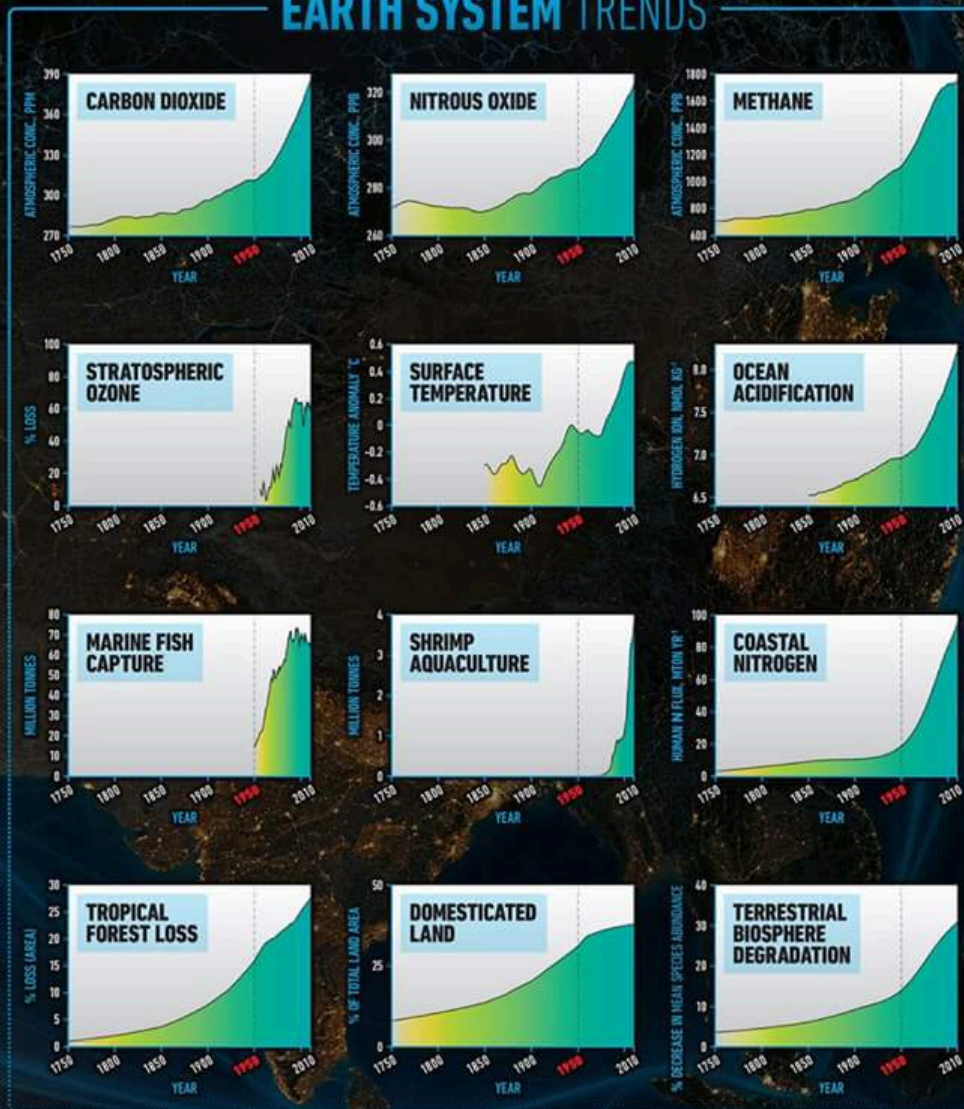
THE GREAT ACCELERATION

56

SOCIO-ECONOMIC TRENDS



EARTH SYSTEM TRENDS



Une société en croissance exponentielle dans un monde fini, cela s'arrête un jour...

Les réponses aux questions du début...

- ▶ quelle est l'empreinte énergétique moyenne d'un belge?
- ▶ quelle est la part de l'électricité dans notre consommation d'énergie ?
- ▶ quelle est la part des renouvelables dans notre électricité?
- ▶ quelle est la part de l'éolien et du solaire dans notre approvisionnement énergétique global?
- ▶ quelle surface nette de panneaux solaires faut-il installer pour remplacer une centrale nucléaire (1000 MW)?
- ▶ quelle était la surface nette des panneaux solaires installés en Belgique fin 2016?
- ▶ Positionnez la France, la Belgique et l'Allemagne par rapport à l'empreinte CO₂ de leurs électricités respectives

177
0 200 kWh/jour

16%
0 50%

20%
0 100%

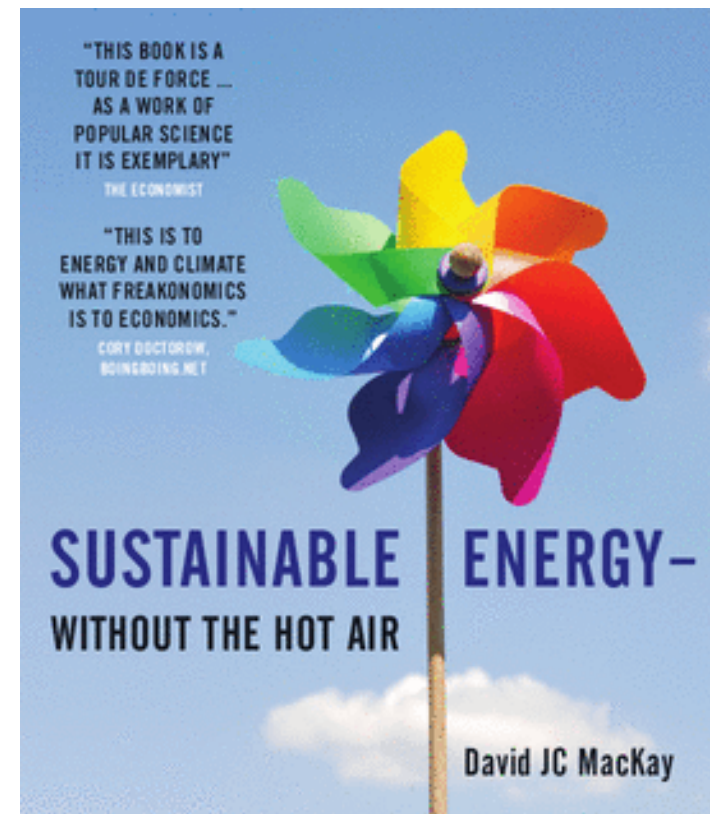
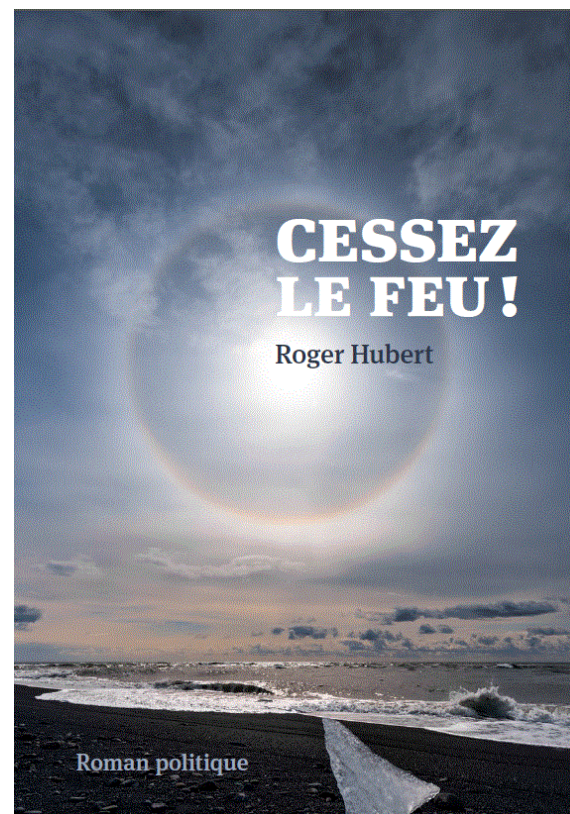
1.2%
0 20%

43
0 50 km²

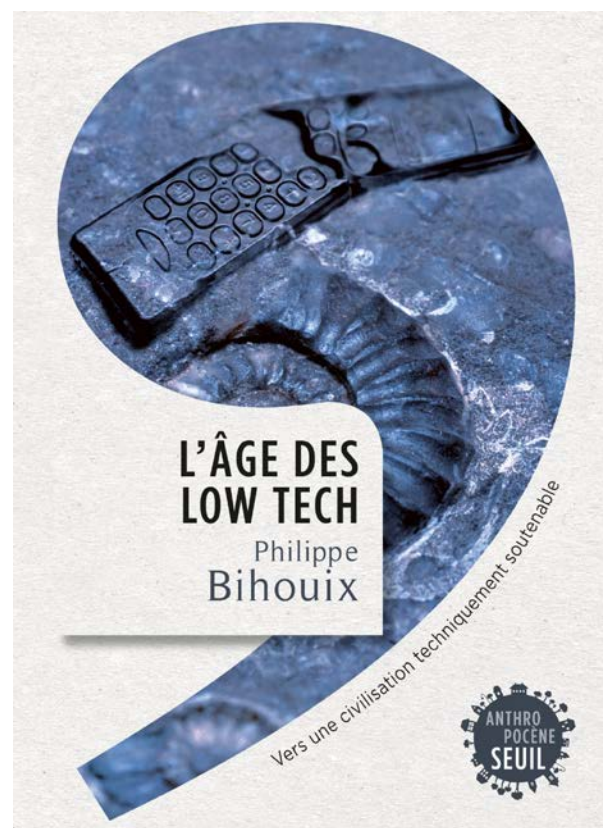
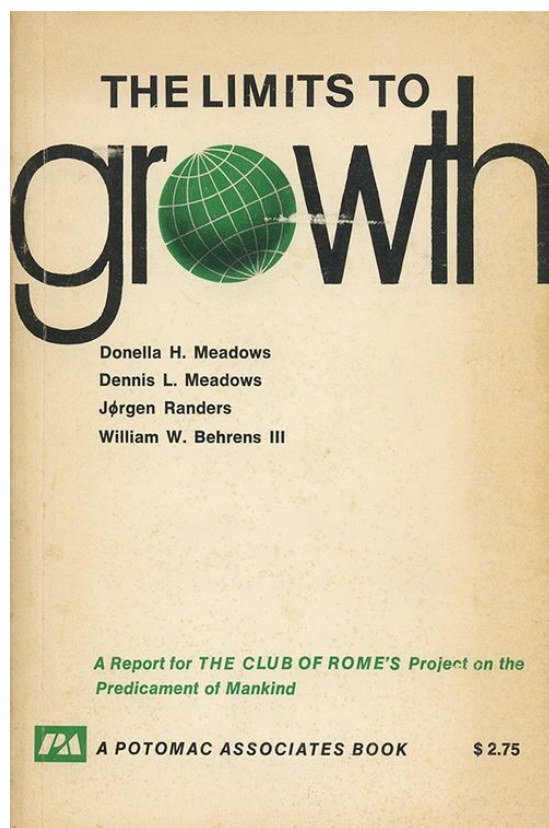
23
0 50 km²

0 (F) (B) (D) 500 gCO₂/kWh

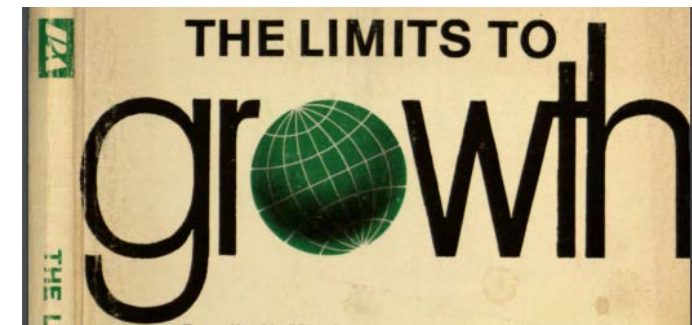
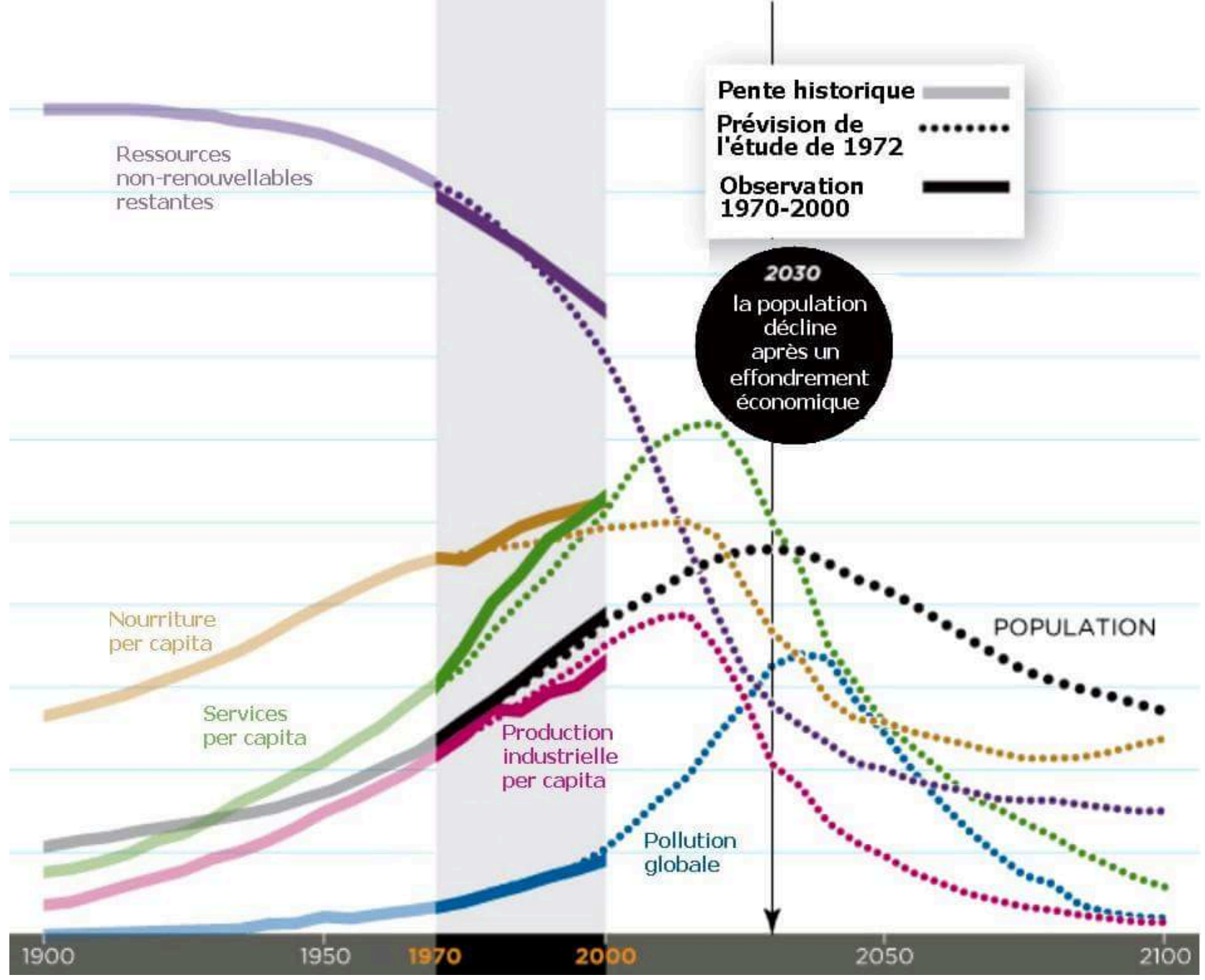
Lecture suggérée



Lecture plus radicale...



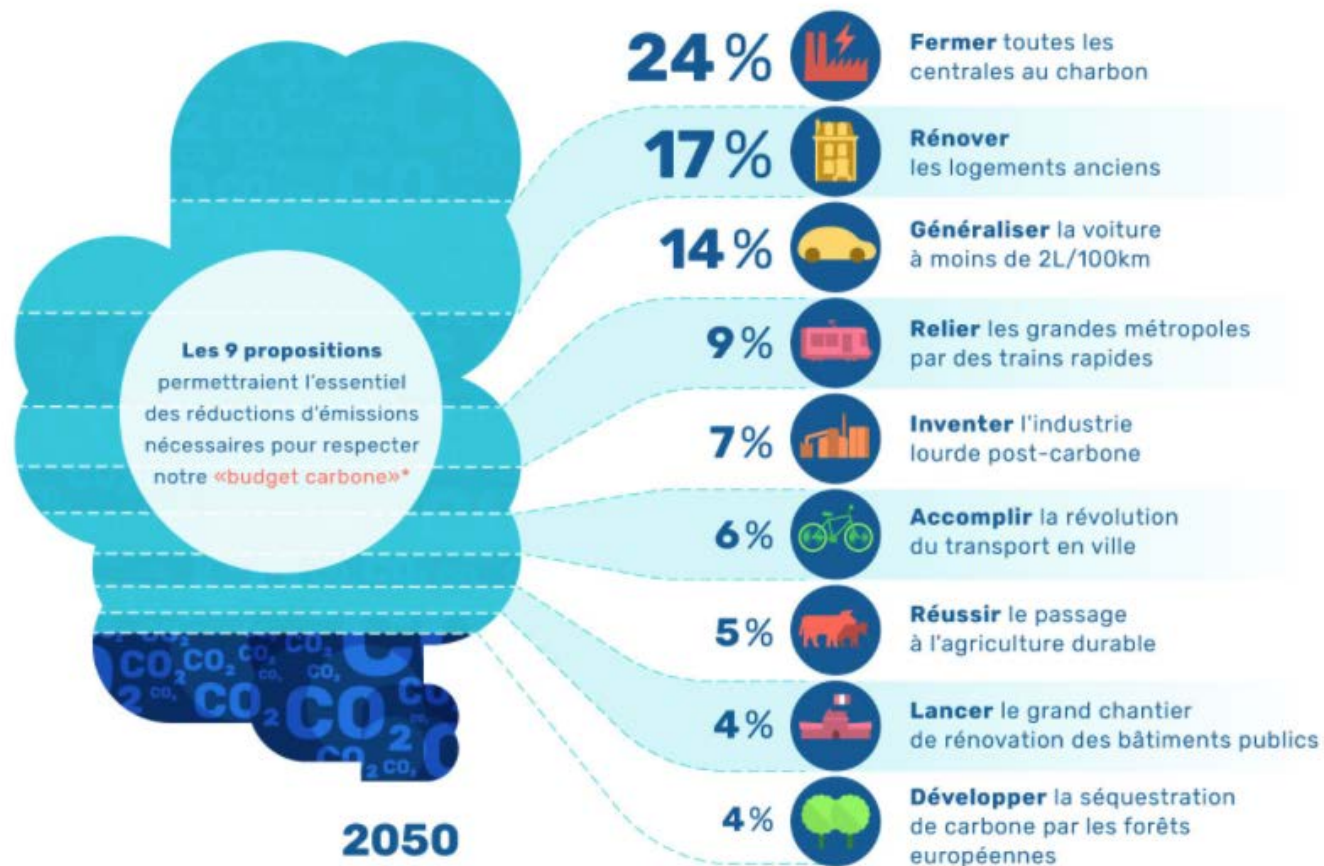
Slides supplémentaires



Rapport Meadows
 (Club de Rome)
 1972
 À relire!

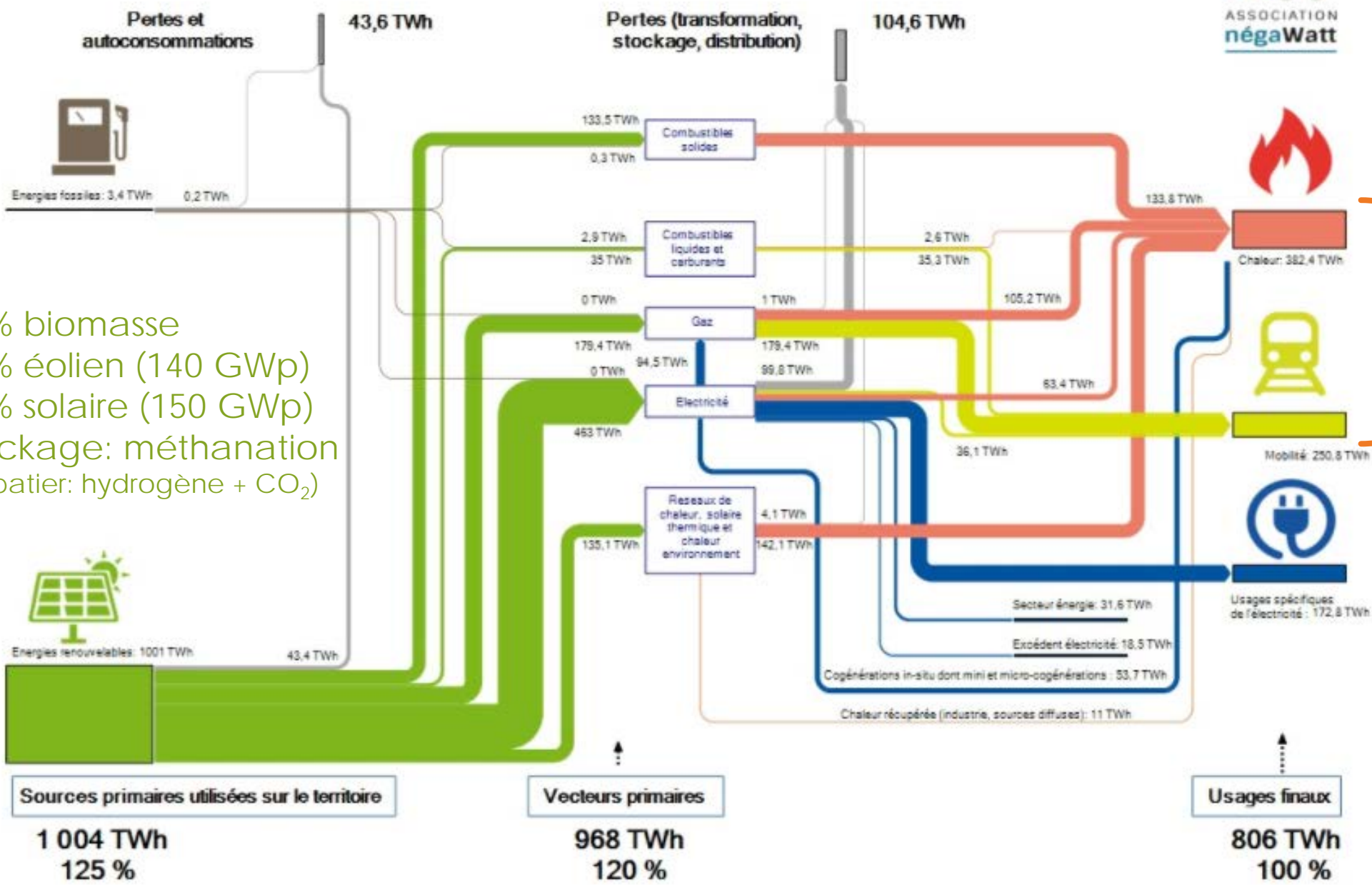
DÉCOUVREZ NOS 9 PROPOSITIONS POUR DÉCARBONER L'EUROPE

L'accord de la COP 21 sur le climat engage l'Europe à réduire autant que possible ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050



* Chaque pourcentage est une estimation de la part du potentiel de réduction d'émission de chaque mesure afin de respecter notre "budget carbone".
Ce "budget carbone" désigne le plafond d'émissions de gaz à effet de serre visé en 2050, correspondant à une division par quatre des émissions de 1990 des pays européens.
Le potentiel de réduction d'émission de chaque proposition est indiqué toutes choses égales par ailleurs.

Représentation des flux d'énergies : des ressources primaires aux usages



40% biomasse
25% éolien (140 GWp)
15% solaire (150 GWp)
stockage: méthanation
(Sabatier: hydrogène + CO₂)

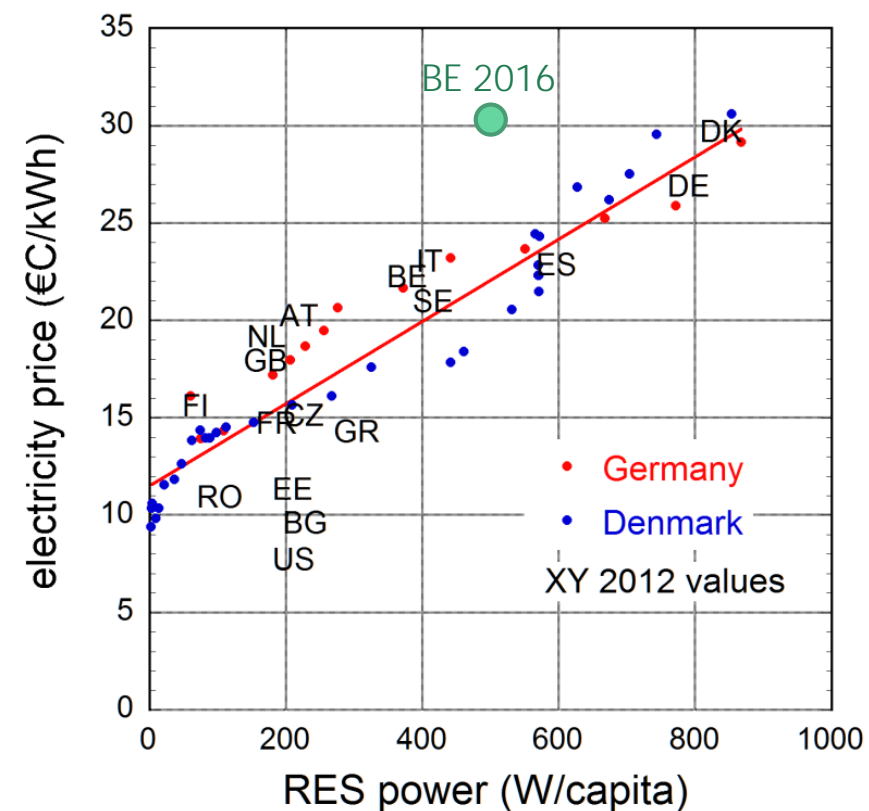
56% combustion

Scénario 2050:
Consommation
réduite de 56%

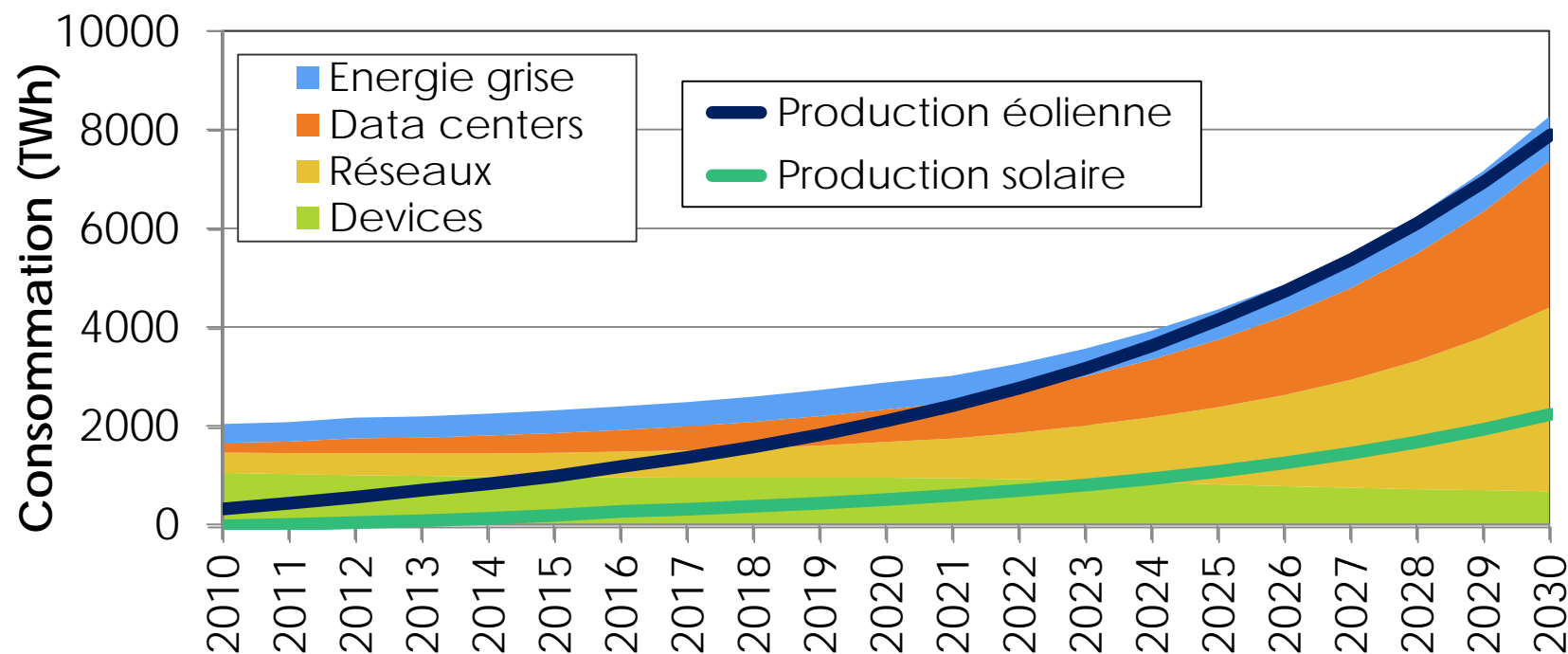
Considerations prior to an Energiewende

Friedrich Wagner, professeur retraité à l'Institut Max Planck (2016)

- ▶ The total capacity has to increase by a factor of 4
- ▶ High costs, rising electricity prices
- ▶ Need a lot of space
- ▶ Storage crucial but not available and not economic in operation
- ▶ Hydro + nuclear much better in CO₂-reduction
- ▶ System without market incentives
- ▶ Strong impact on economy of present utilities
- ▶ Development of new industries not guaranteed
- ▶ Joint transition within EU highly doubtful



Consommation mondiale des TIC



consommation
électrique mondiale
2012: 21000 TWh

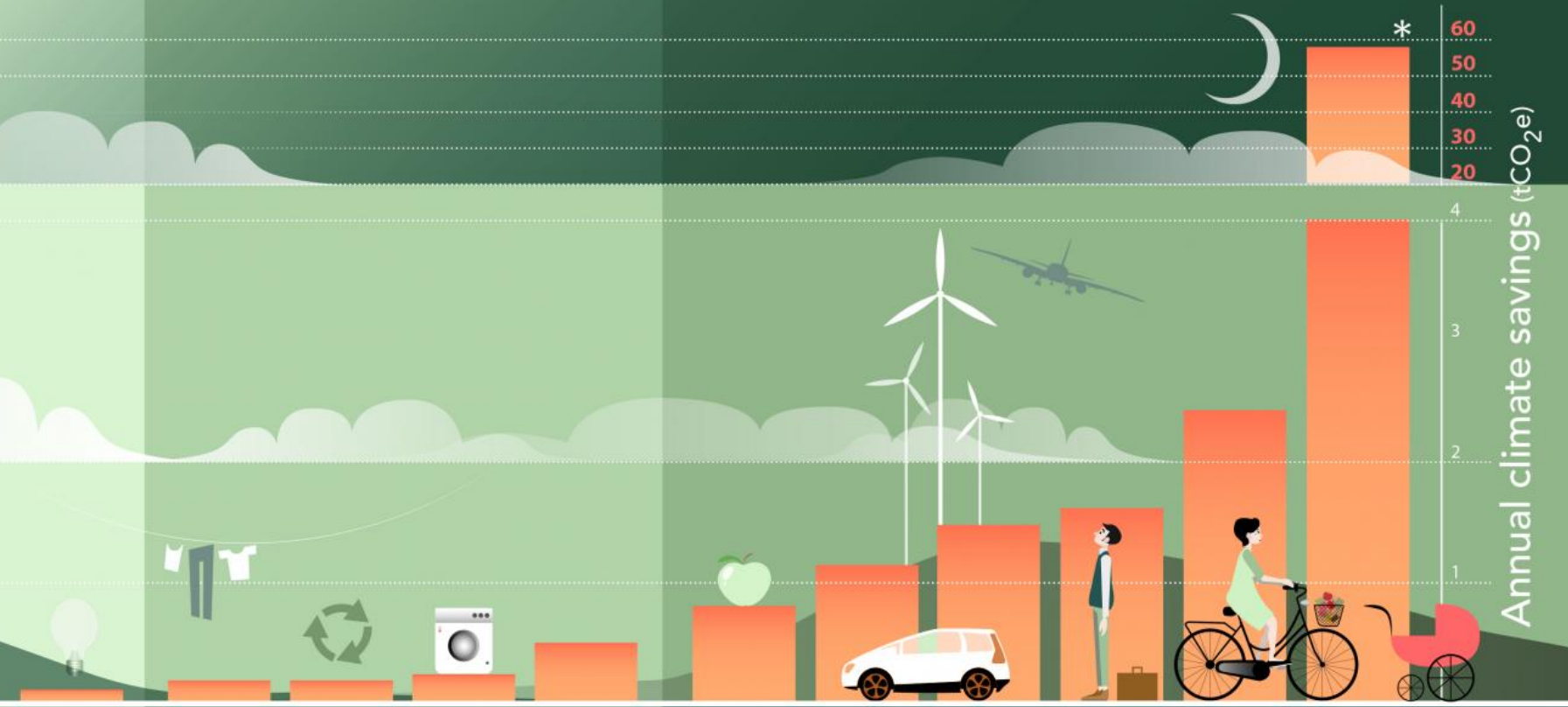
l'horreur énergétique:
le streaming...

"On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030" by Anders S. G. Andrae and Tomas Edler (Huawei Technologies Sweden AB) in *Challenges* 2015, 6, 117-157; doi:10.3390/challe6010117

Personal choices to reduce your contribution to climate change

* Cumulative emissions from descendants; decreases substantially if national emissions decrease.

Average values for developed countries, based on current emissions.



Low Impact

< 0.2 tCO₂e

Moderate Impact

0.8-0.2 tCO₂e

High Impact

> 0.8 tCO₂e

Seth Wynes & Kimberly Nicholas, 2017, Environmental Research Letters