



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

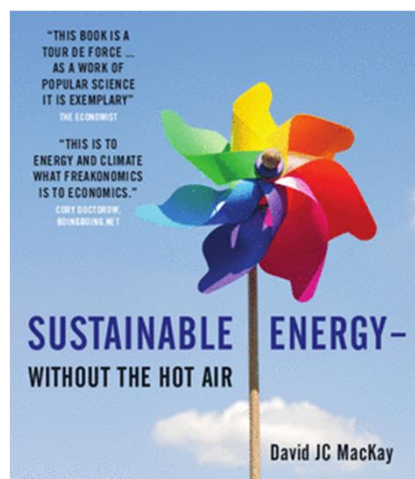
Roger HUBERT

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

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

Bonjour à toutes et à tous,

A David MacKay (1967-2016)



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Il y a quelques années, j'ai lu un livre plein d'humour british à propos des chiffres de l'énergie.

L'auteur, David MacKay, nous a prématurément quittés en 2016, mais quelques jours avant sa mort, il a donné une interview testament (disponible sur youtube) où il nous invite à réapprendre l'arithmétique. Tout le monde est d'accord pour dire qu'il faut décarboner notre énergie et abandonner les énergies fossiles pour limiter le réchauffement climatique. Et chacun a sa solution miracle: du vent, du soleil, des bio-carburants... Pourtant, disait David dans son interview, quand je fais les comptes, je suis bien obligé de constater que $2+2+2$ n'est pas égal à 150... Il voulait dire par là qu'en additionnant les productions de tous les renouvelables on n'arrive pas – et on arrivera pas – à couvrir notre consommation globale, loin s'en faut. David MacKay est mort, mais l'équation reste vraie et je vais essayer de vous convaincre que le compte n'est toujours pas bon....

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

Et pour bien commencer, je vous ai préparé un petit questionnaire auquel je vous invite à répondre. Je ne ramasserai pas vos copies. Je veux seulement essayer de vous faire prendre conscience de l'ampleur de nos besoins et de la faiblesse de nos réponses. Et j'espère que quelques-uns de ces chiffres marqueront vos esprits et qu'ils vous aideront à comprendre et peut-être à relativiser toutes les informations souvent approximatives que nous recevons.

Ce soir, j'ai aussi pris le parti de ne pas parler d'euros... L'économie et la politique définissent les prix mais c'est la physique qui définit la sphère des possibles...

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...)

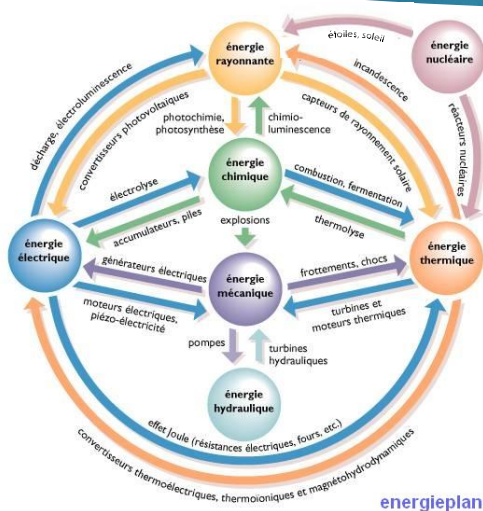
Nous allons passer une heure à parler d'énergie... Mais au fond, comment la fabrique-t-on? Eh bien, on ne la fabrique pas...

Comme nous l'a appris Einstein, la seule façon de produire de l'énergie, c'est de détruire de la masse au travers de réactions nucléaires.

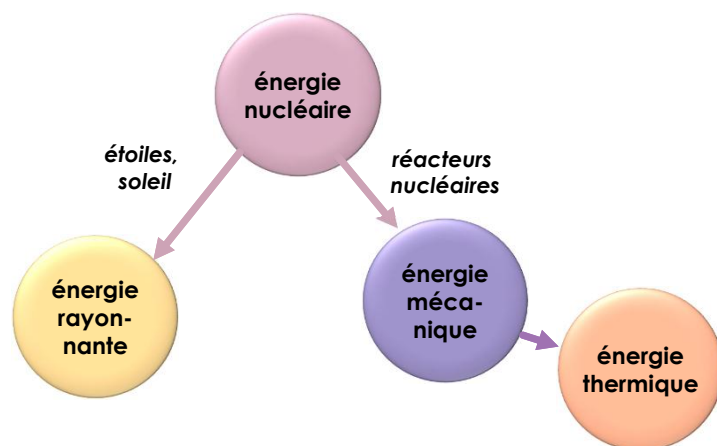
Et le seul endroit où cela se passe, c'est dans les étoiles. Et c'est du rayonnement de ces étoiles, et du soleil en particulier que nous recevons Presque toute l'énergie que nous utilisons sur terre.

Je dis presque toute parce qu'il y a une petite exception. Il y a aussi des réactions nucléaires sur et surtout dans la terre où la radioactivité naturelle produit la chaleur que nous appelons géothermie.

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



energieplanete.fr



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Nous ne fabriquons pas d'énergie et figurez-vous que nous n'en consommons pas non plus!

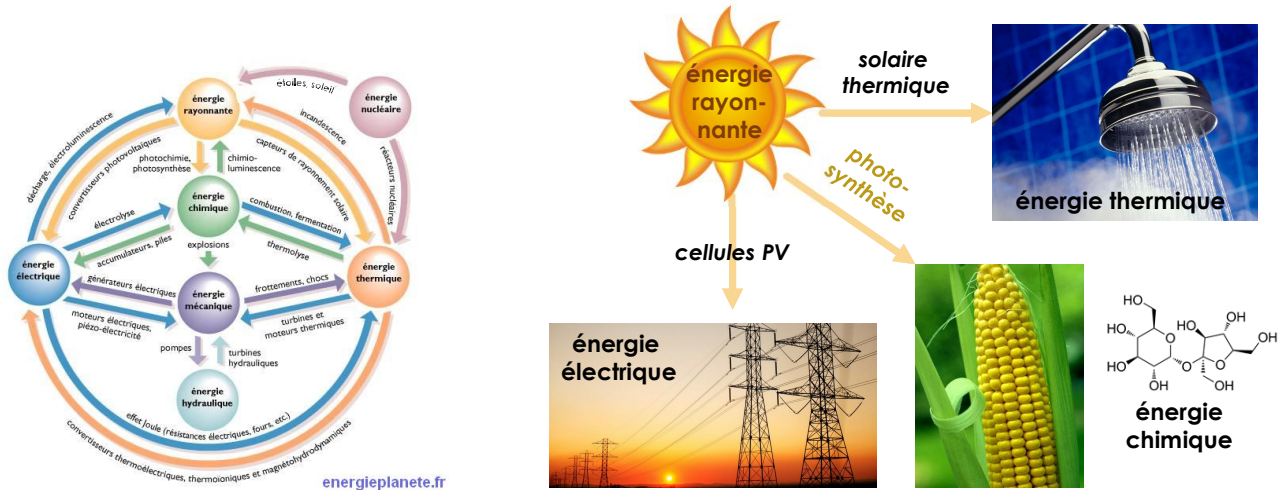
Nous sommes tout juste capables de la transformer, de la faire changer de forme: c'est le 1er principe de la thermodynamique.

Il y a 6 formes principales d'énergie: nucléaire, rayonnante, chimique, thermique, mécanique et électrique.

Les transformations possibles sont indiquées sur la figure de gauche.

A noter que l'énergie hydraulique est une forme particulière d'énergie mécanique (comme l'énergie éolienne d'ailleurs)

Que ferions-nous sans le soleil...

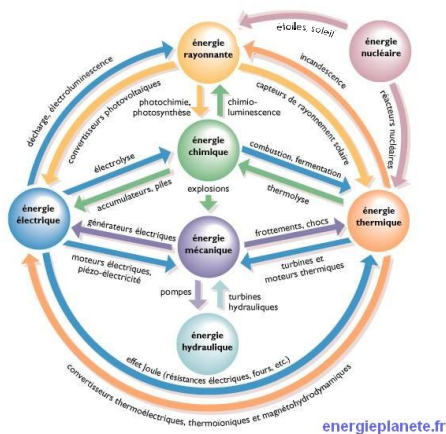


Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Les transformations classiques de l'énergie du soleil (rayonnante)

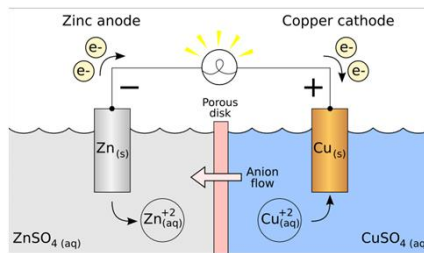
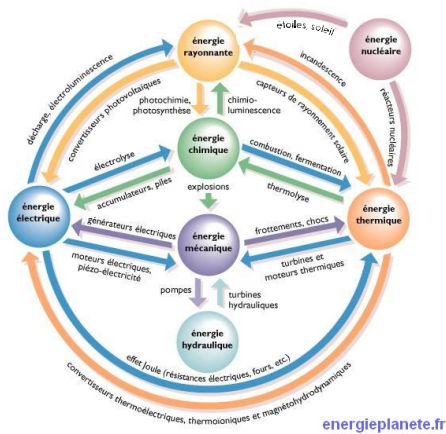
Le cycle du CO₂ ...



L'essentiel de l'énergie chimique présente sur terre a été formée à partir de la photosynthèse: c'est le cas de la nourriture que nous mangeons et aussi du bois, transformé au cours de millions d'années en charbon, en pétrole et en gaz et puis par l'homme en différents carburants.

L'énergie chimique est essentiellement transformée en chaleur, essentiellement par combustion, ce qui produit le CO₂ qui nous pourrit la vie aujourd'hui.

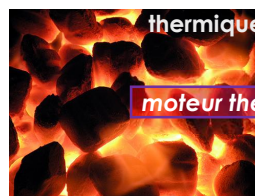
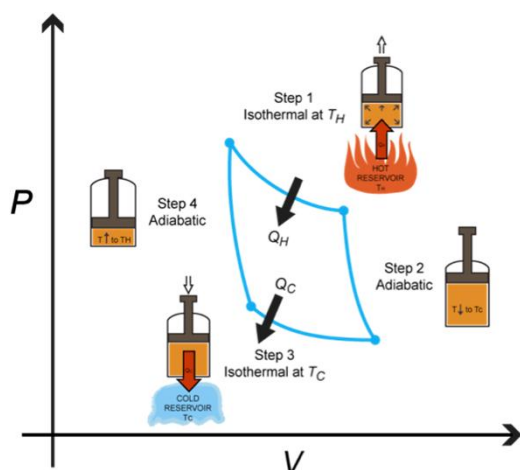
Le cycle du CO₂ ...



électrique (+ thermique)
 ↑
batteries
 ↓
chimique

L'énergie chimique peut également être convertie en électricité (et vice-versa) au moyen de batteries.

Ici commencent les désagréments...



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%

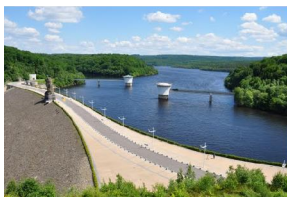
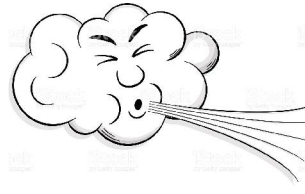
Le solde reste à l'état de chaleur (presque toujours perdue!) ↩

Toutes les formes d'énergie ne sont pas équivalentes. Consommer, c'est passer d'une forme noble à une forme moins noble, c'est en réalité, créer du désordre dans l'univers (c'est ce que les physiciens appellent l'entropie) – c'est le 2e principe de la thermodynamique

Et la forme la plus désordonnée, c'est la chaleur. Alors quand on utilise la chaleur pour obtenir du « travail », de l'énergie mécanique, eh bien, on paie le prix fort... on obtient un peu de travail et beaucoup de chaleur... plus froide... mais si on récupérait cette énergie perdue, on pourrait sans problème chauffer toutes les habitations, même sans les isoler....

Ça roule... ou pas...

L'énergie mécanique est cinétique ou potentielle !



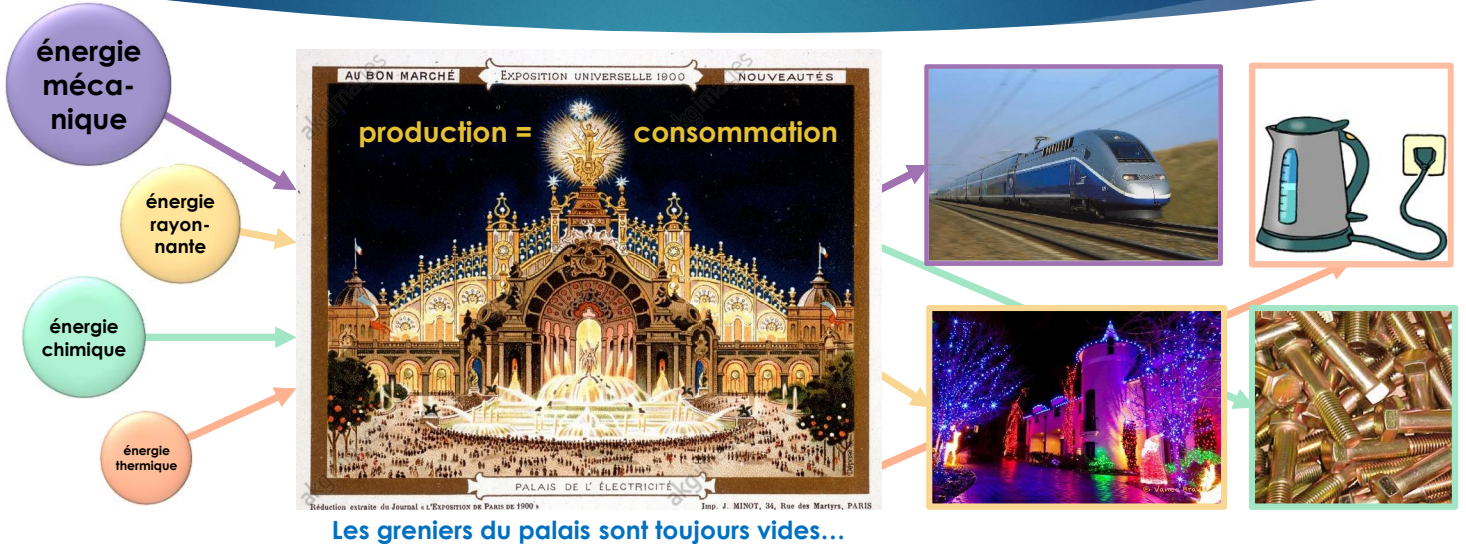
L'énergie mécanique est potentielle (eau dans les barrages – la pomme dans l'arbre) ou cinétique (tout objet en mouvement).

Le vent, ce sont des molécules d'air en mouvement. Elles sont capables de mettre les pales des éoliennes en mouvement et celle-ci font tourner une génératrice.

Dans une centrale thermique, c'est la vapeur qui fait tourner une turbine qui elle-même active une génératrice.

L'énergie mécanique de la génératrice est alors convertie en énergie électrique.

La fugace fée électricité...



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Le summum de l'énergie, c'est l'électricité, mais elle n'existe que le temps d'un instant. Quelque soit la forme d'énergie dont elle est issue, une fois produite, elle doit être immédiatement transformée en une énergie moins noble. Les exemples sont ici: le TGV pour l'énergie mécanique, la bouilloire pour l'énergie thermique, l'éclairage pour l'énergie rayonnante et le zincage électrolytique pour l'énergie chimique. L'électricité ne se stocke donc pas comme telle (sauf en faibles quantités dans des condensateurs et des anneaux supraconducteurs).

La fugace fée électricité...



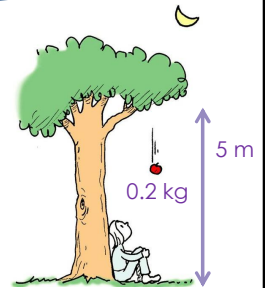
Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Schéma classique de production l'électricité fossile: l'énergie chimique par exemple du gaz est transformée en chaleur, la chaleur sert à fabriquer de la vapeur pour actionner une turbine (énergie mécanique) qui active une génératrice.

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 $\Rightarrow 1\text{ J} = 1\text{ W} \times 1\text{ s}$
 - ▶ $1\text{ kWh} = 1\,000\text{ W} \times 3\,600\text{ s} = 3\,600\,000\text{ joules} = 3.6\text{ MJ}$
 - ▶ $1\text{ TWh} = 10^9\text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^{15}\text{ J} = 3\,600\,000\,000\,000\,000\text{ joules}$
- ▶ 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" = $mgh \approx 10\text{ J}$
= $2.8 \cdot 10^{-6}\text{ kWh}$ (*)

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

Nous sommes ici pour les chiffres de l'énergie, alors nous allons quantifier...
 Les physiciens travaillent avec des joules qui ont remplacé les calories de jadis.
 Mais les ingénieurs sont venus nous embrouiller avec leurs kWh.
 Une bonne vieille ampoule de 100 W qui fonctionne pendant 10 h c'est $100 \times 10 = 1000$ Wh ou 1kWh
 Notez l'énorme différence entre l'énergie potentielle contenue dans la pomme et l'énergie chimique contenue dans cette même pomme: 45000 fois plus. Ceci montre l'extrême concentration de l'énergie chimique qui est très pratique pour son utilisation comme carburant.

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



On peut convertir la consommation en puissance moyenne, puisque $1 \text{ kWh/an} = 1 \text{ kWh} / (365 \times 24 \text{ h}) = 0.11 \text{ W}$ (les heures se simplifient!)

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...

A la maison, on vous facture toujours des 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

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



Ce que cela va vous coûter...

Les industries doivent parfois payer des suppléments lorsque leurs appels de puissance sont trop importants... Le réseau doit toujours s'adapter mais personne ne se rend compte qu'allumer un appareil électrique quelconque requiert toujours une réaction d'une centrale quelque part...

Énergie? Vous avez dit «énergie»?

Avant d'entrer dans le vif du sujet... Qu'est ce que l'énergie? Et à quoi cela sert-elle?

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”



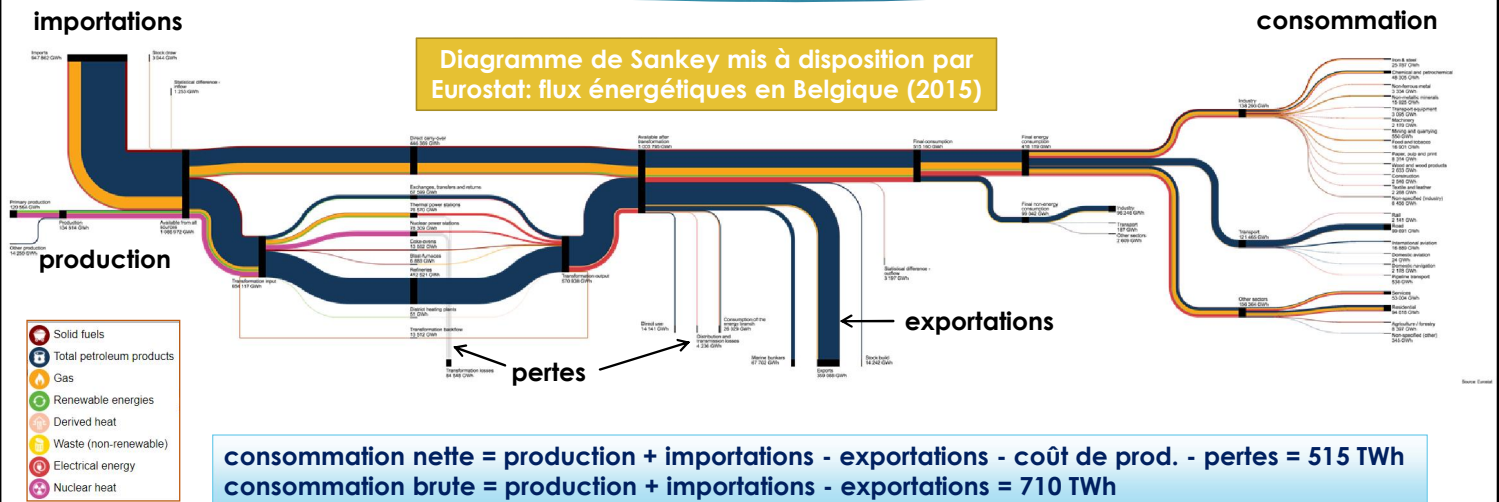
L’énergie exprime donc notre capacité à transformer le monde, à modifier notre environnement!



Donc, plus nous consommons d'énergie, plus nous transformons le monde.
(principalement en déplaçant des choses, en produisant de la chaleur ou en faisant des réactions chimiques (réduction de l'oxyde de fer dans un haut-fourneau par exemple))

Ne dit-on pas: “Je suis plein d'énergie aujourd'hui, je pourrais déplacer des montagnes...”

Et au total, ça nous fait combien?



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Ce diagramme donne une idée des flux d'énergie en Belgique pour l'année 2015. Pour avoir tous les détails cliquer sur le lien derrière Sankey).

En 2 mots, les intrants sont la production propre et les importations. On peut donc calculer la consommation comme indiqué par les formules.

Noter que la couleur qui domine est le bleu pétrole, suivi du gaz (jaune)... A cette échelle, les renouvelables sont quasiment invisibles.

[les chiffres de 2016 sont à présent disponibles sur le site d'Eurostat]

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 (≈ 15-25%*)

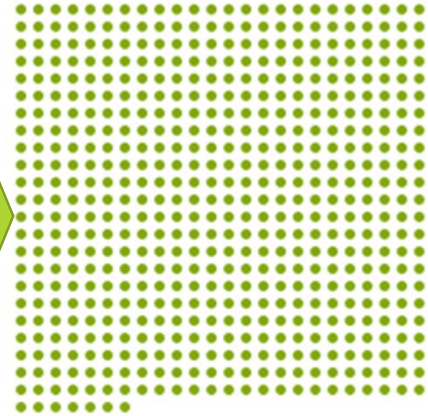
(*) une étude de 2010 pour la Grande-Bretagne (productrice d'énergie!) a estimé l'énergie grise nette (importée - exportée) à 18% de la consommation... [X. Tang et al. Energy Policy 57(2013)418]

L'énergie grise, c'est l'énergie qu'il a fallu dépenser pour produire ce que nous consommons. Quand nous achetons un ordinateur, l'énergie qu'il a fallu pour le produire a été consommée quelque part (en Chine très probablement), mais si nous sommes honnêtes, nous devons prendre cette énergie à notre compte. Il en va de même pour le fioul consommé par le porte-conteneur qui l'a acheminé en Europe et pour le navire lui-même qui existe uniquement parce que nous consommons les produits qu'il nous amène.

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 !

C'est le réfrigérateur de tout à l'heure qui consomme 116 kWh par an ($116 \times 556 = 64496$ kWh ≈ 64 MWh)

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?

Idee 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

Idee 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)

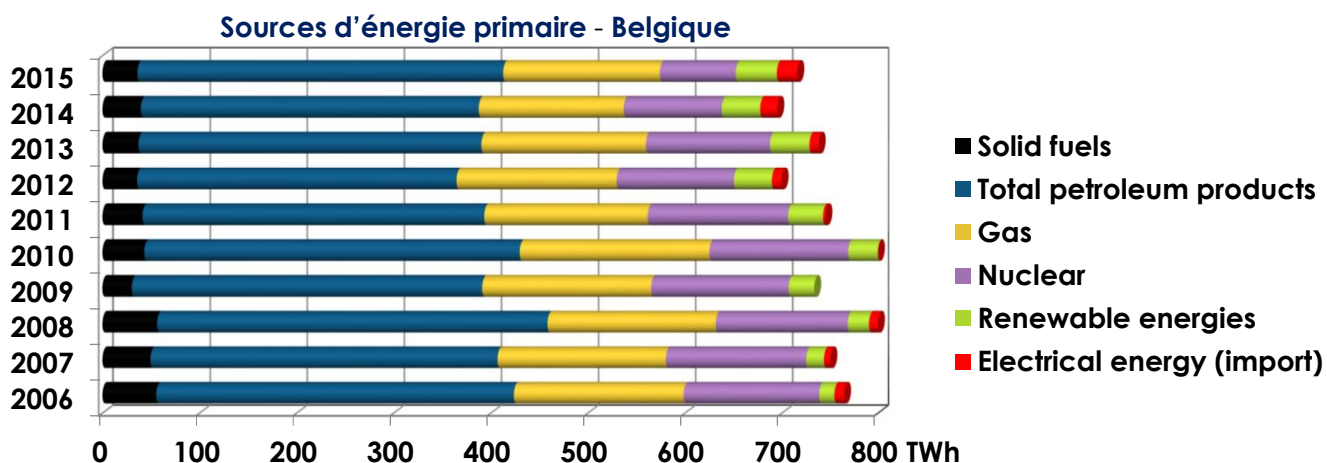
C'est donc comme si nous avions
400 esclaves

(mécaniques) à notre service...

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

Souvenons-nous que 0.5 kWh, c'est 50 ml essence. L'énergie que nous sommes capable de produire avec nos bras et nos jambes pendant une journée est équivalente à 1/20 litre d'essence soit 0.07 €. Cela montre à quel point l'énergie est bon marché. Si vous payiez votre esclave à 7€ de l'heure pendant 10h par jour il vous en coûterait 70€ soit 1000 fois le prix de l'essence...

Elle vient d'où cette énergie?

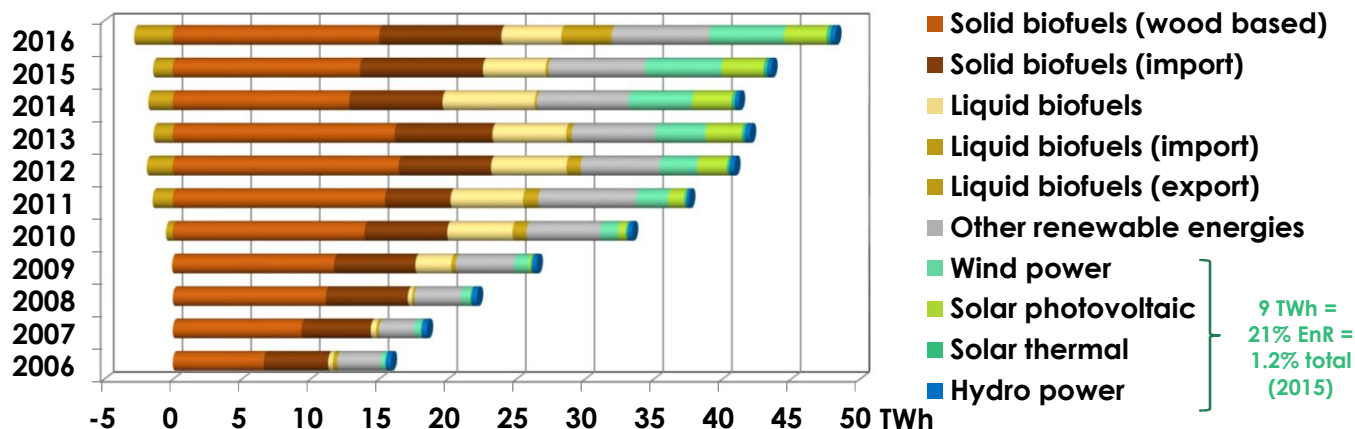


L'électricité est essentiellement produite sur place à partir de toutes les autres sources (sauf le charbon).

Observez la part des renouvelables.

Sources d'énergies renouvelables

Belgique



La couleur dominante est le... brun des biocarburants.

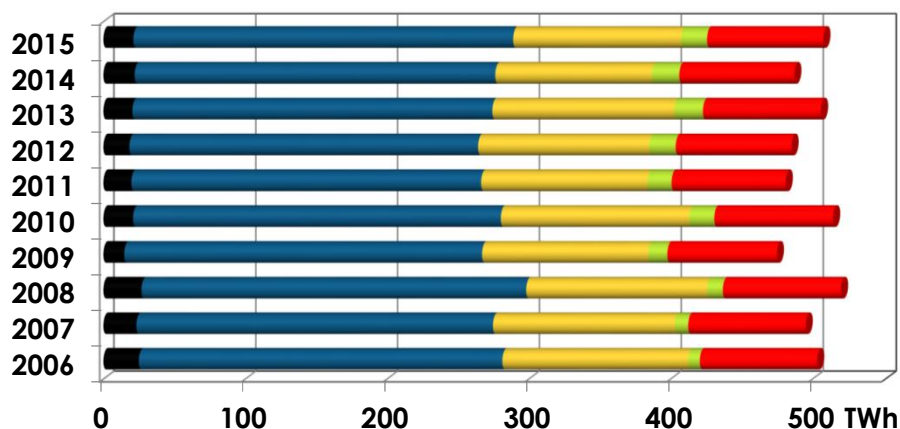
La première source de renouvelable est encore et toujours le bois de chauffage, suivi du bois importé sous forme de pellets.

Sous « Other » on trouve l'énergie provenant des marées, des vagues, de l'incinération de déchets, du biogaz, de la géothermie...

Pourtant quand on parle de renouvelables, chacun pense éolien et solaire. Mais ils ne représentent encore que 21% des énergies renouvelables et 1.2% de notre consommation totale.

Consommation finale d'énergie

Belgique

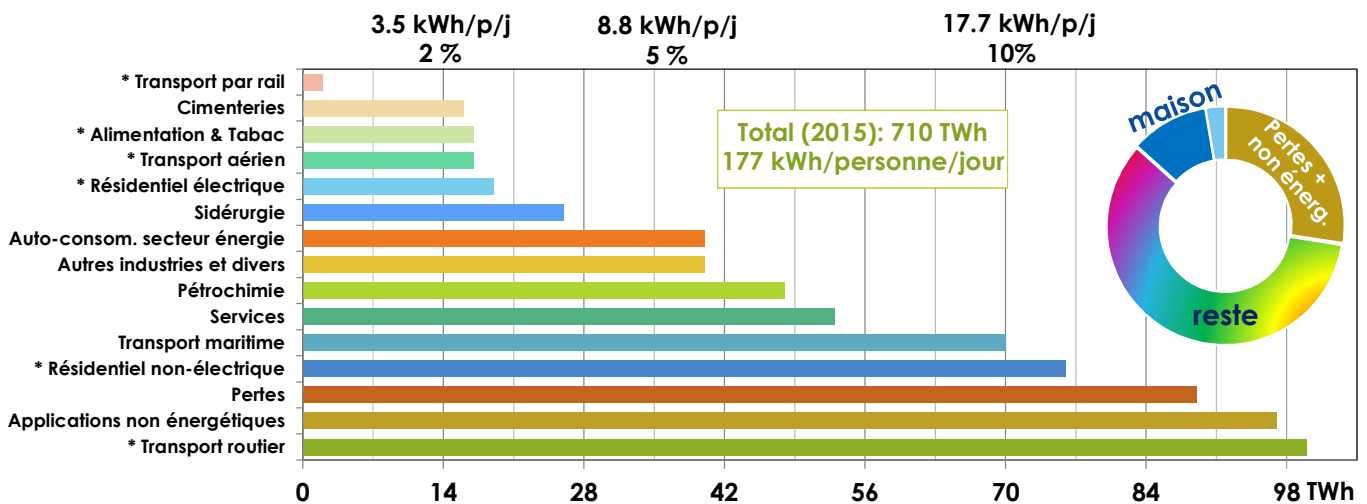


Sous quelle forme consomme-t-on l'énergie?

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

Où est la transition énergétique? Notre consommation est stable depuis 2006...
L'électricité ne représente que 16% du total...
Le charbon en noir est uniquement destiné à la sidérurgie.

Consommation d'énergie par secteur



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

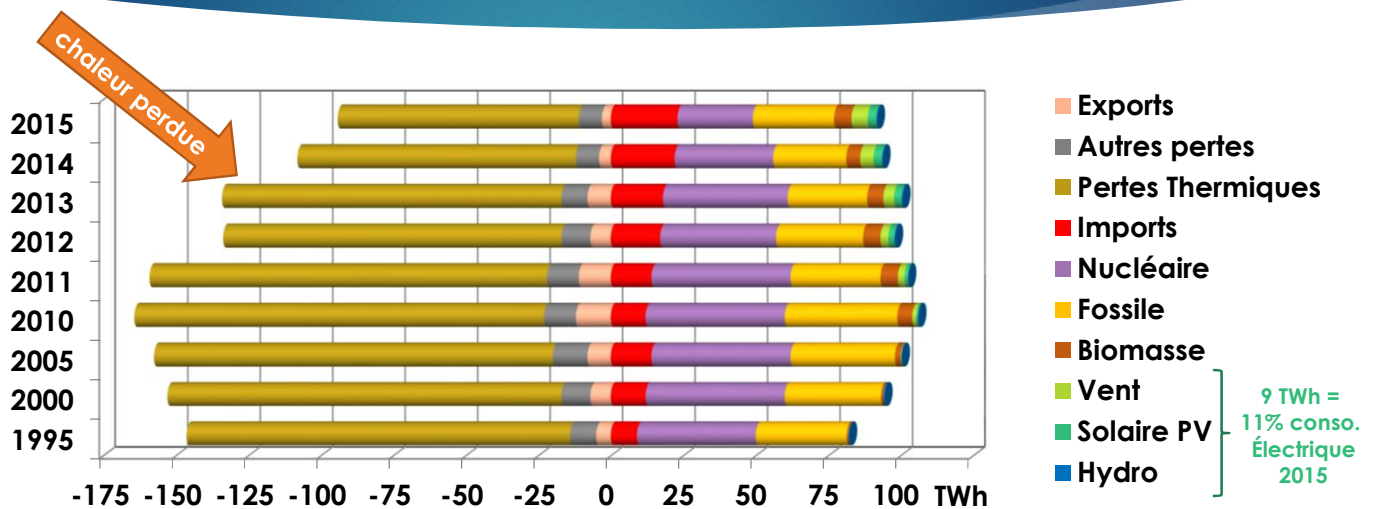
Applications non-énergétiques: fabrication d'engrais, matières plastiques, solvants, ammoniac...

Les étoiles indiquent les postes où nous pouvons agir à titre individuel.

Observez la faible consommation du secteur ferroviaire par rapport à la route, à la navigation (consommation liée à notre intense activité portuaire) et au trafic aérien.

Notre consommation domestique (à la maison) représente 13% du total (2.7% pour l'électricité).

Production d'électricité en Belgique



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

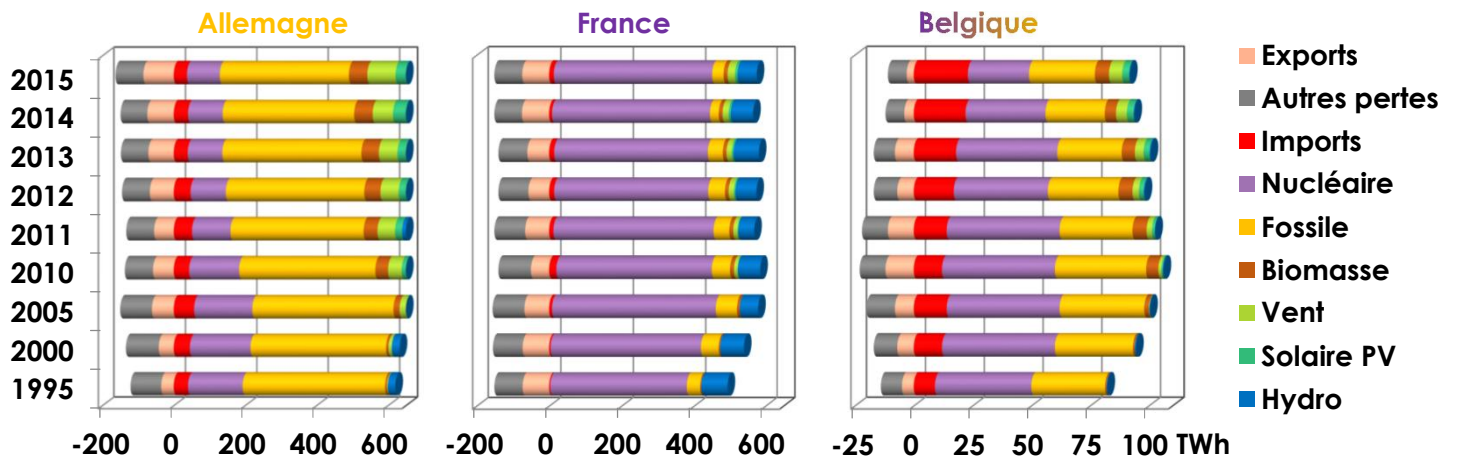
6 mars 2018

Sur ce graphique, j'ai également reporté les pertes thermiques liées à la production d'électricité. Elles sont gigantesques puisque supérieures à l'énergie électrique produite (comme déjà indiqué plus haut). Les diminutions des pertes observées en 2014-15 sont dues à l'arrêt temporaire de centrales nucléaires.

Ces arrêts ont été compensés par une augmentation significative des importations d'électricité.

Observez la progression lente des renouvelables.

Production d'électricité BE-DE-FR



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

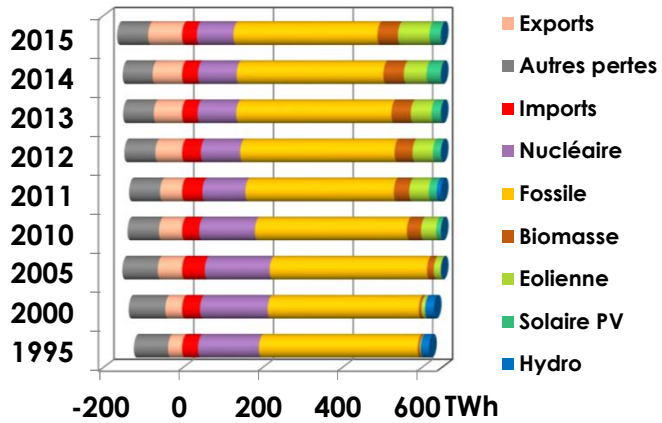
6 mars 2018

Dominante fossile en Allemagne, nucléaire en France, mélange en Belgique.

Voyez-vous un avant et un après Fukushima, vous? Moi pas...

Les productions de CO₂ associées pour 2015 sont respectivement de D=300 millions de tonnes, F=36 millions de tonnes, B=18 millions de tonnes

Electricité allemande en question

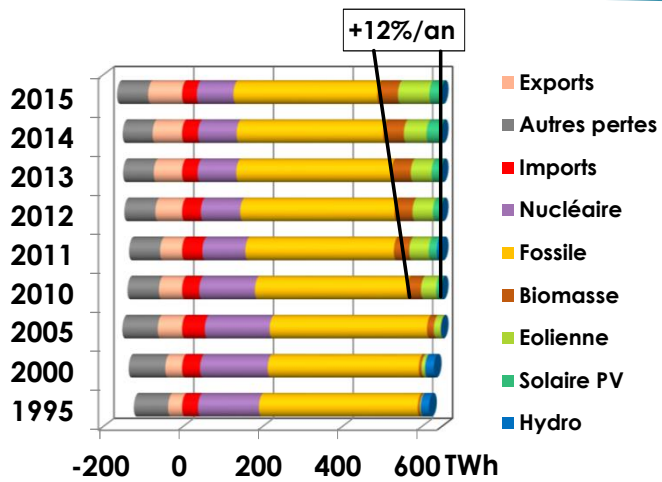


Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Focus sur l'Allemagne

Electricité allemande en question

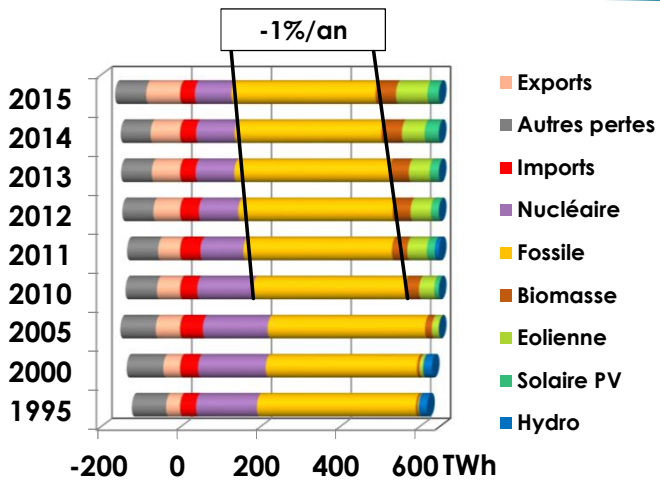


Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Augmentation des renouvelables de 12% par an

Electricité allemande en question

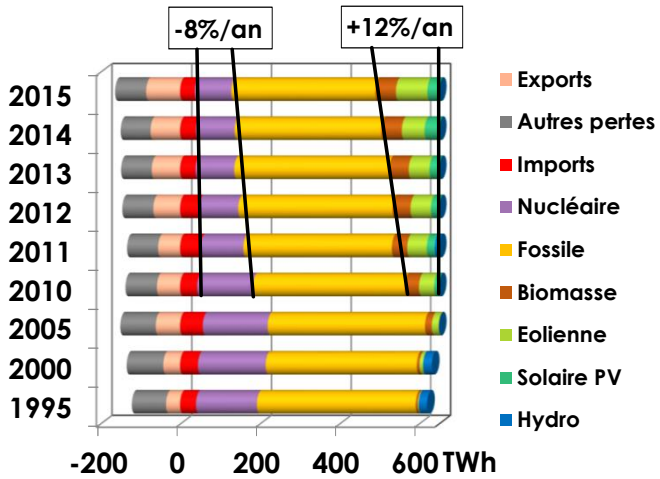


Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Diminution insignifiante de 1% par an des sources fossiles (essentiellement du charbon et du lignite)

Electricité allemande en question

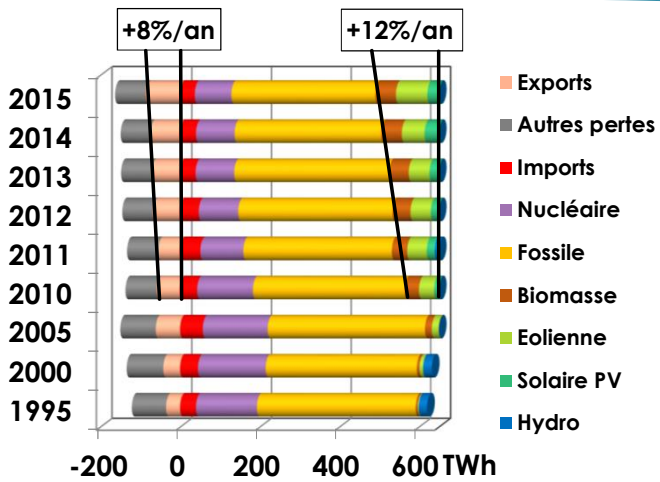


Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Diminution de 8% par an du nucléaire (commencée bien avant 2010 donc avant Fukushima)

Electricité allemande en question



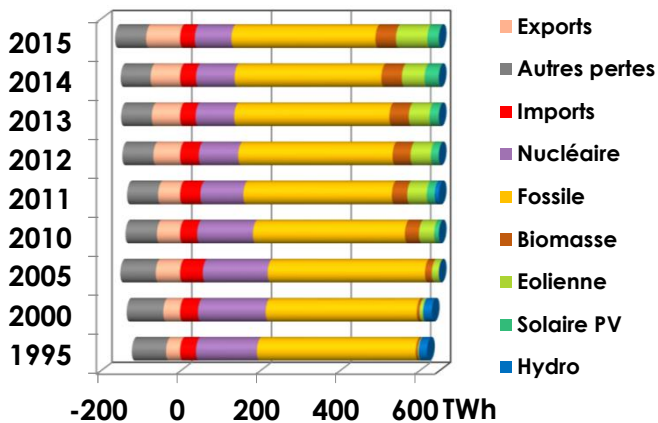
Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Les exportations augmentent parallèlement avec les énergies renouvelables « fatales » par manque de facilités de stockage.

Il faut évacuer l'énergie quand on en produit trop...

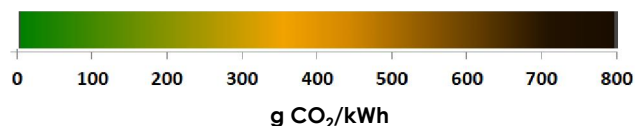
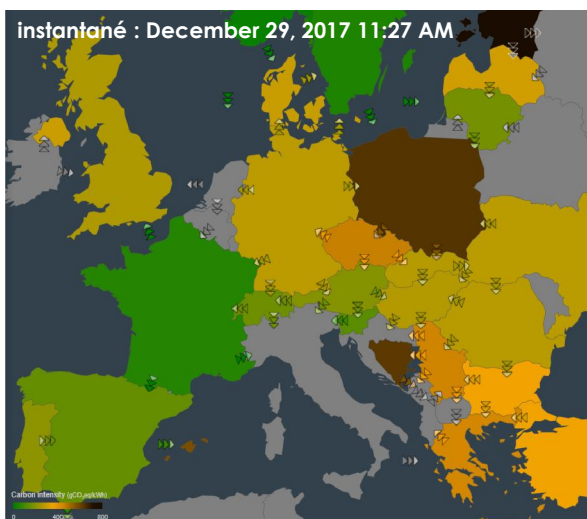
Electricité allemande en question



- ▶ 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?

Quelques conclusions...

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

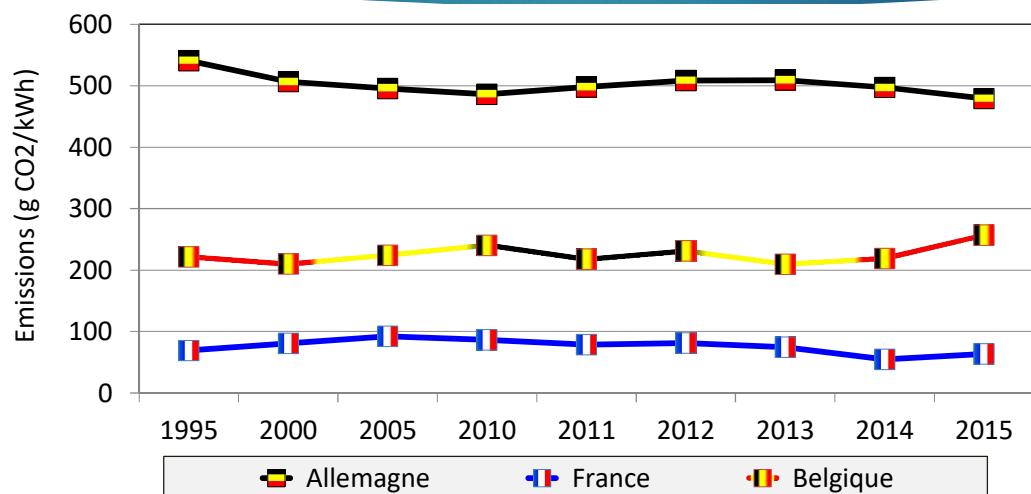
Source: <https://www.electricitymap.org/> ([lien](#))

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Il est possible de suivre en live la 'couleur' de l'électricité produite par les différents pays. Au cours de l'année, l'Allemagne passe régulièrement du très vert au très brun en fonction de la météo... (voir animation sur youtube: https://www.youtube.com/watch?v=G6EOoC_kKI0&feature=youtu.be)
Le très mauvais élève européen est la Pologne. Les champions sont la Norvège, la Suède et la France...

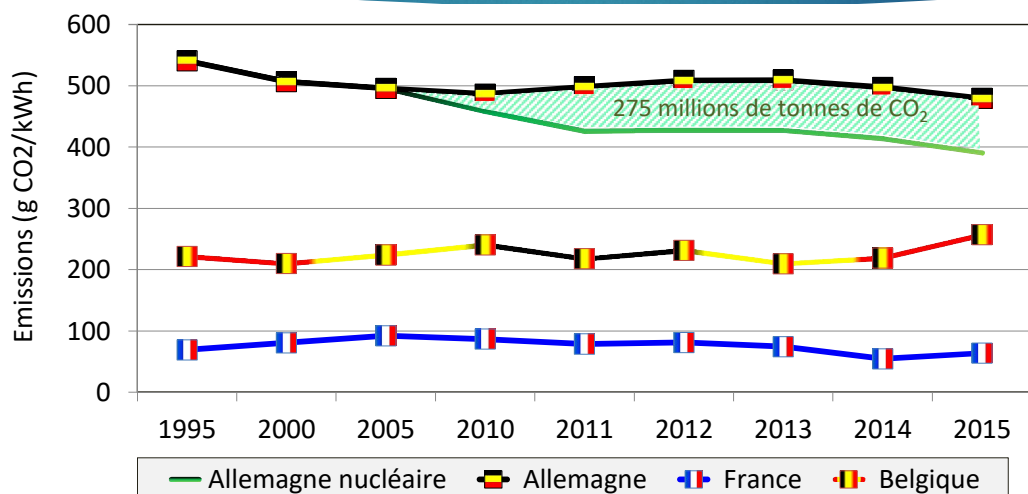
Empreinte CO₂ de l'électricité: BE-DE-FR



Confirmation...

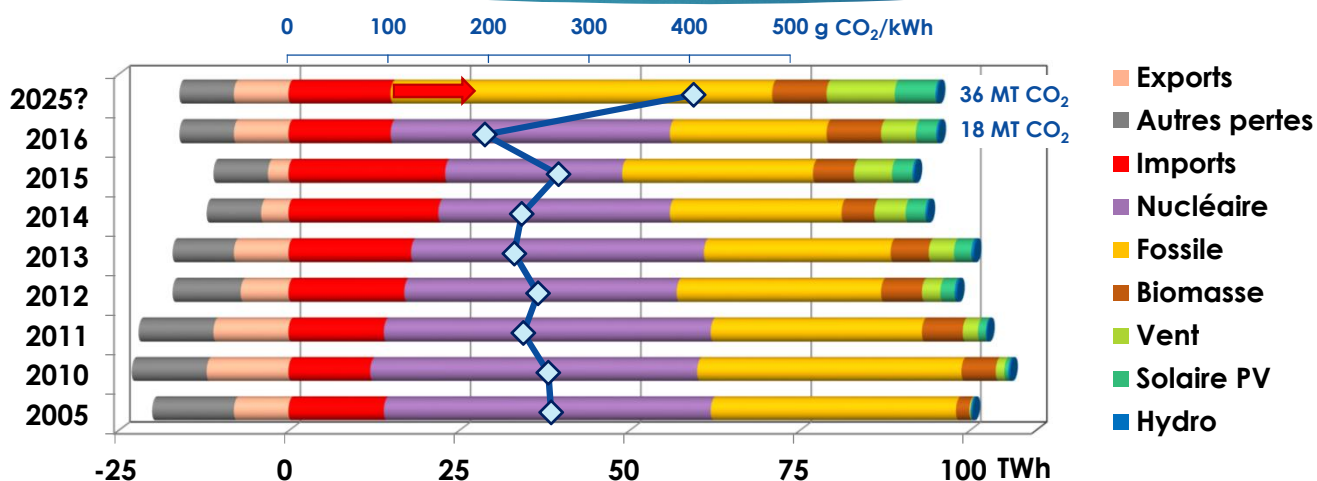
Observez que la courbe de l'Allemagne ne baisse pas depuis 10 ans

Occasion manquée ?



Et si... Si l'Allemagne avait utilisé ses renouvelables pour arrêter des centrales au charbon plutôt que des centrales nucléaires, elle nous aurait épargné 275 millions de tonnes de CO₂ en 5 ans...

Belgique sans nucléaire?



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Et en Belgique?

On voit très bien l'effet de l'arrêt temporaire des centrales nucléaires (2014-15)=> augmentation des importations et du fossile.

Que se passerait-il en 2025 si on arrêta toutes les centrales nucléaires? A consommation égale, en doublant la part de l'éolien et du solaire (ce qui serait une performance) il faudrait augmenter fortement la part du gaz (fossile) et sans doute également les importations.

Conséquence: un doublement de notre empreinte CO₂ de 200 à 400g/kWh soit 36 millions de tonnes de CO₂ au lieu de 18 en 2016

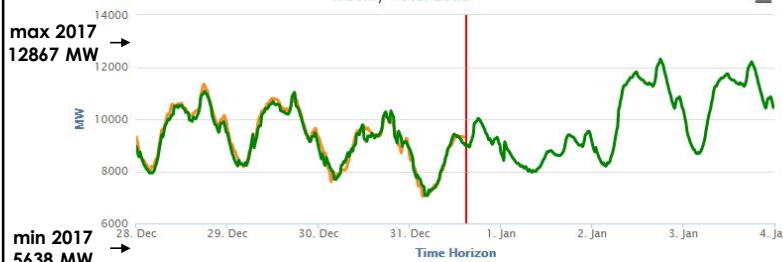
Production = consommation

Variations sur une semaine en Belgique

Total Load: weekly view

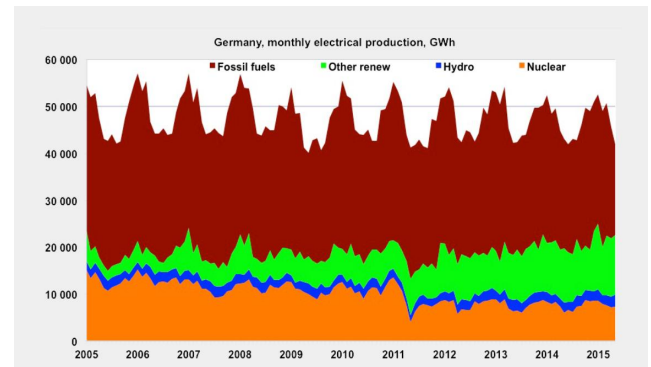
Begin date: 2017-12-28 End date: 2018-01-04 GO

Weekly Total Load



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

Variations saisonnières en Allemagne



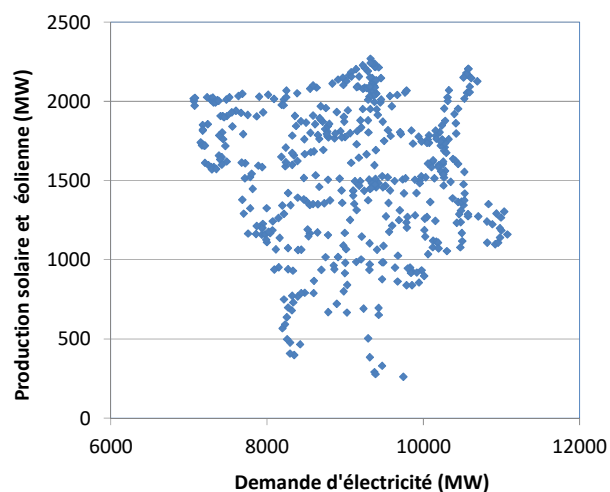
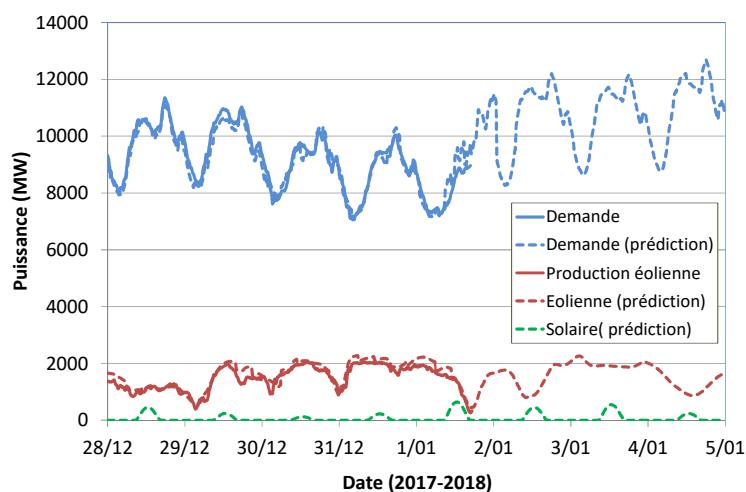
Comme déjà indiqué plus haut, la production d'électricité doit toujours être égale à la consommation et elle varie au gré de nos besoins. Cette variation peut en Belgique dépasser 50%: le maximum de 2017 a été atteint le samedi 18/1 18h00 – et le minimum le dimanche 25/5 14h45...

Les variations sont parfois très soudaines: le pire cauchemar des électriciens en Angleterre c'est la mi-temps d'un match de foot à la télé où tous les téléspectateurs préparent le thé avec leur bouilloire électrique (+ 1 GW en quelques secondes)

On arrive assez bien à anticiper la demande (voir le site d'Elia).

On voit (à droite) que l'équilibrage se fait essentiellement avec les fossiles en Allemagne (et un peu avec le nucléaire)

Energies « fatales » en Belgique



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Les énergies sur lesquelles on a pas de prise (éolien et solaire) sont appelées des énergies « fatales ». On voit ici la courbe de la demande et les courbes de production solaire et éolienne.

Il est facile de montrer la 'fatalité' de énergies fatales: (à droite) il n'y a aucune corrélation avec la demande.

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

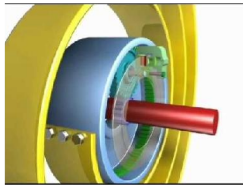
- ▶ coût énergétique du stockage (20-30%) (+ coût des investissements)
- ▶ des interconnexions internationales pour équilibrer les réseaux (pourquoi pas un réseau mondial puisqu'il y a toujours du soleil quelque part...), mais:
 - ▶ coût énergétique de la transmission: entre 3 et 7% de pertes par 1000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

Pour passer d'un système contrôlé par la consommation à un système contrôlé par la production il est nécessaire d'ajouter un terme à l'équation: on doit pouvoir stocker l'énergie quand on en produit trop pour pouvoir la récupérer quand on n'en a pas assez.

Stockage d'énergie



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



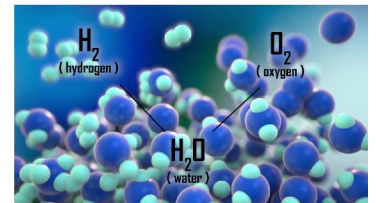
**stockage
électrique
super-
condensateur
anneau
supraconducteur**



**stockage
thermique -
solaire par
concentration**



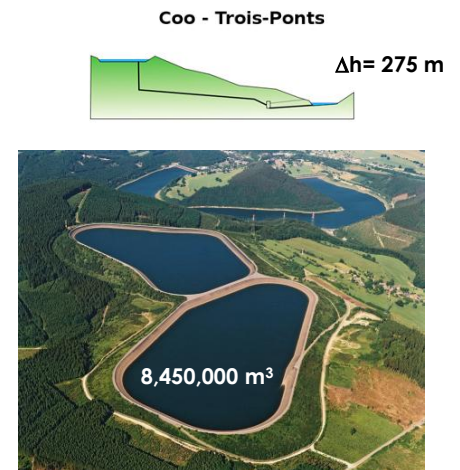
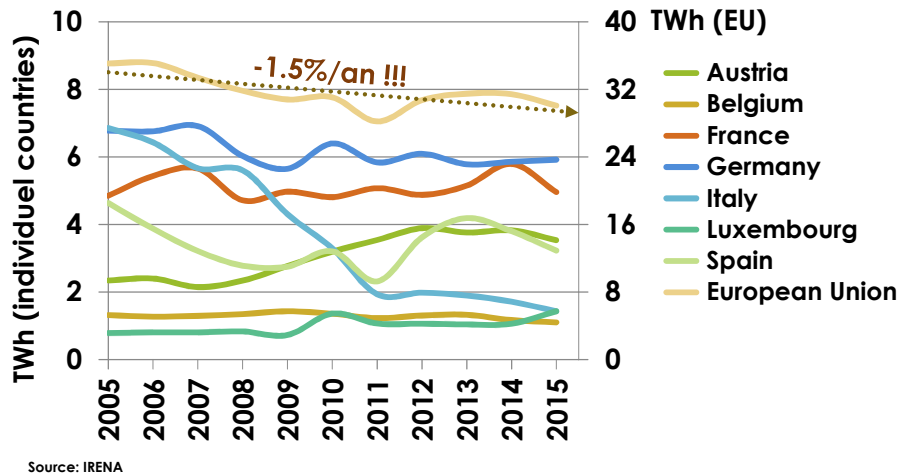
**Stockage chimique: batteries -
hydrogène par électrolyse**



Les différentes possibilités de stockage...

Seuls les stockages mécaniques et chimiques ont une capacité suffisante pour être pris en considération

Stockage par pompage-turbinage

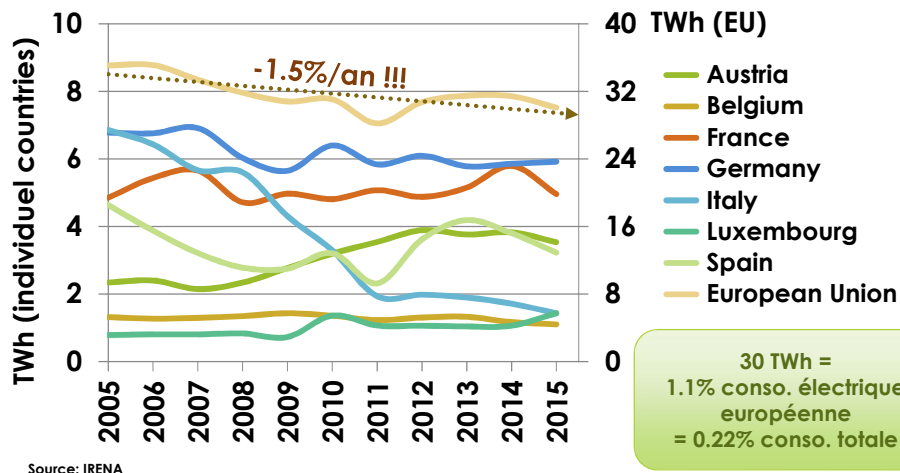


Stockage hydroélectrique dit par pompage turbinage.

On dispose de 2 lacs situés à des hauteurs différentes (comme à Coo). Quand il y a trop d'énergie disponible, on pompe l'eau du lac inférieur au lac supérieur. Quand il y a un appel d'énergie, c'est le contraire: l'eau redescend et active une turbine.

Mais comment est-ce possible que la capacité de stockage diminue en Europe depuis 10 ans alors que les renouvelables augmentent?

Stockage par pompage-turbinage



Coo - Trois-Ponts



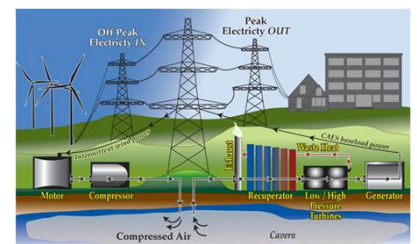
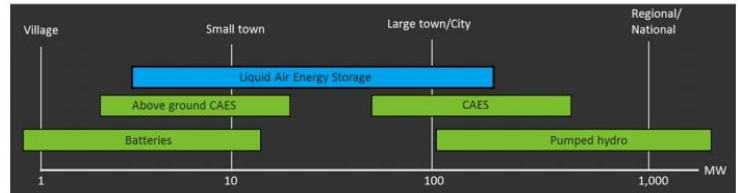
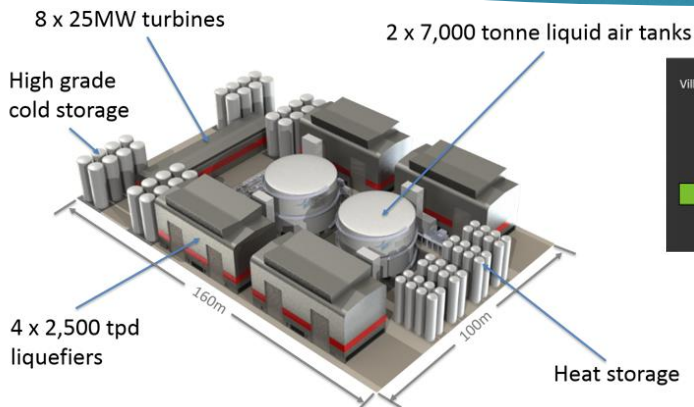
Pour différentes raisons liées à la rentabilité. Ces installations ne sont en rien couplées aux sources d'énergies qu'elle devraient pouvoir suppléer.

De plus, elles sont considérées comme non-renouvelables et échappent donc à tout mécanisme de subsidiation.

A l'origine elles ont été créées en partie pour être activées lors du pic quotidien de midi. Mais ce pic est aujourd'hui couvert par le solaire PV, ce qui rend ces installations encore moins rentables.

Seule une intégration peut solutionner ce problème...

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

<http://www.highview-power.com/wp-content/uploads/Highview-Brochure-2016-A4.pdf>

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Une technologie de stockage mature dont personne ne parle et qui n'est pas (encore?) utilisée...

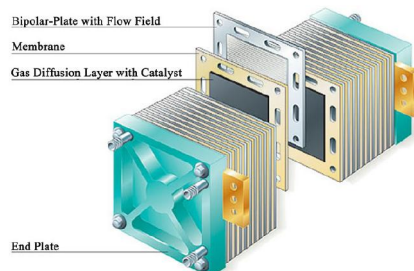
Les surplus d'électricité sont utilisés pour fabriquer de l'air liquide qui est retransformé en gaz quand il y a un appel d'électricité.

Si cette transformation peut s'effectuer à partir de chaleur gratuite (celle des centrales thermiques par exemple), ce processus offre un rendement tout à fait acceptable.

L'infrastructure nécessaire est également très compacte en comparaison avec les barrages.: l'équivalent d'un terrain de football pour 100 MW.

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: $\eta < 30\%$



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT – Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Il faut fabriquer l'hydrogène à partir d'électricité excédentaire (électrolyse de l'eau) (on le fabrique aujourd'hui à partir d'énergies fossiles...).

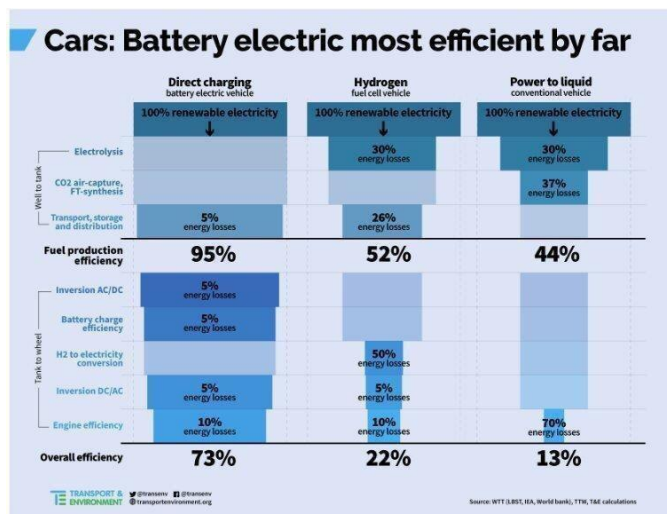
Il faut ensuite le stocker (sous forme gazeuse). La liquéfaction n'est pas envisageable tant elle consomme elle-même de l'énergie.

Une autre aberration consisterait à brûler l'hydrogène dans un moteur à combustion interne (proposé par BMW autour des années 2000)

L'hydrogène doit donc être retransformé en électricité au moyen d'une pile à combustible (c'est la Mirai de Toyota).

Le rendement global de l'opération est faible: actuellement environ 22% pour une voiture.

Rendement des voitures « propres » électrique – hydrogène – biocarburant



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Ces calculs sont toujours un peu biaisés puisque l'on ne prend pas en compte l'énergie grise des batteries ou des piles à combustible...

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).

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Fake news

~~Énergie : le solaire rattrape le charbon~~

Par : Dominique Pialot | La Tribune

Oct 4, 2017



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

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).

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

6 mars 2018

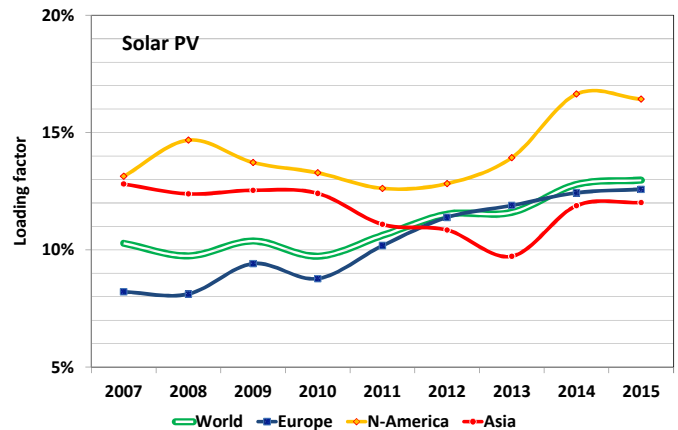
Cette information est fausse parce que l'on regarde la capacité théorique de production (la puissance-pic) et non la production effective.
 Voyons cela en détail.

Facteur de charge – solaire PV

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

225 GW

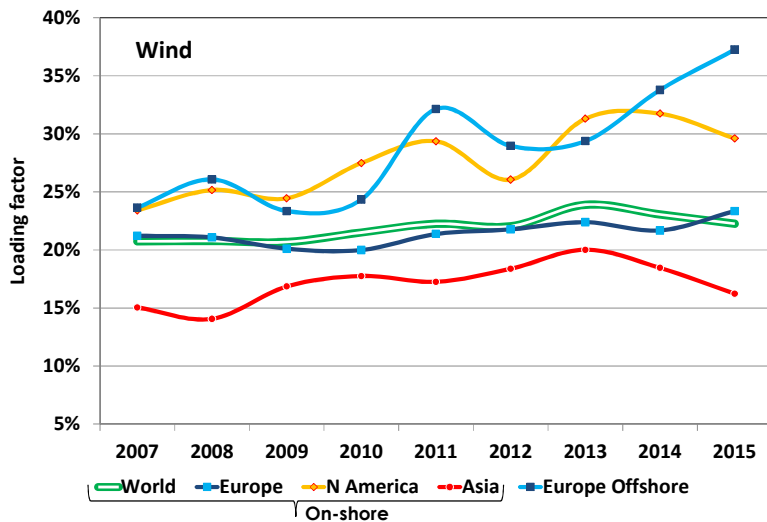
- ▶ la production annuelle théorique des ces panneaux est de $225 \times 365 \times 24$ GWh, soit 1970 TWh
- ▶ mais il y a la nuit, les nuages, le smog, l'angle d'incidence... la production réelle était de 256 TWh
- ▶ le facteur de charge mondial moyen annuel du solaire PV était donc $265/1970 = 13\%$
- ▶ En Belgique: 5.5 KWp (sur mon toit) délivrent ≈ 5000 kWh/an soit 0.57 kWe (10.4%)



Les panneaux solaires produisent donc 8 fois moins que leur capacité le laisse sous-entendre...

Pourquoi le facteur de charge est-il supérieur aux Etats-Unis? Parce que les américains sont pragmatiques: ils installent leurs panneaux solaires là où il y a du soleil... (en Europe c'est bien plus efficace de les installer en Espagne plutôt qu'en Belgique... mais nous ne sommes pas pragmatiques)

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

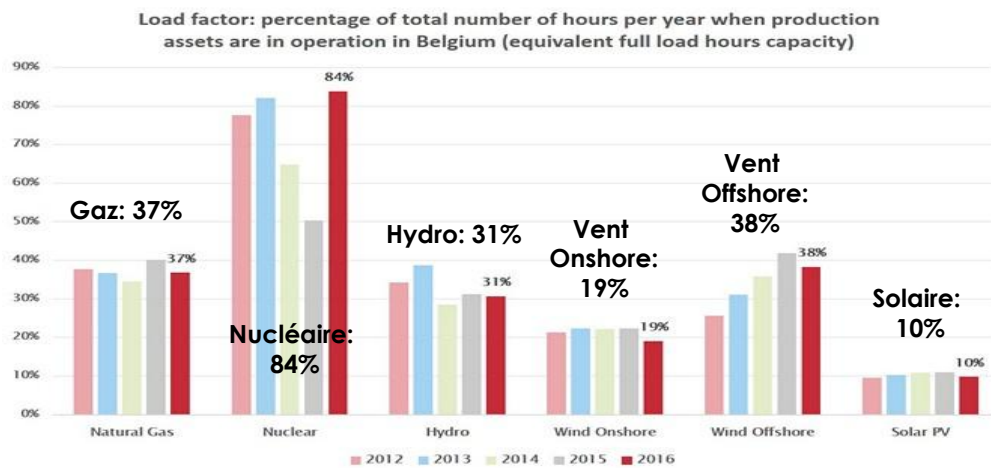
Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Le même calcul pour le vent et la même constatation pour les américains...

A noter que l'éolien offshore est une singularité de la mer du nord qui est une mer peu profonde. Cette profondeur doit être de maximum 50 m pour pouvoir y installer des éoliennes. La méditerranée c'est très vite 2000 m...

Facteur de charge en Belgique



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

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

En Belgique, l'énergie d'ajustement c'est le gaz (l'hydro est relativement marginal).

Fake news (bis)

~~Énergie : le solaire rattrape le charbon~~

Par : Dominique Pialot | La Tribune

Oct 4, 2017



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

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 GWp * 12% = 9 GWe

Eolien: 52 GWp * 20% = 10.4 GWe

Charbon: 57 GWp * 75% = 43 GWe

9 < 10.4 << 43

(jusqu'à preuve du contraire)

6 mars 2018

Refaisons les calculs... avec les facteurs de charge chinois. Vous voyez que l'on est loin du compte...

Le facteur de charge du charbon est très conservateur: théoriquement cela peut-être 90% (soit 51 GWe).

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.

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT – Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Une autre...

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
1 400 ménages

2200 tonnes
de CO₂
évitées

4.8 millions de kWh

Les chiffres-clés...

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

4.1 millions de kWh

~~4.8 millions de kWh~~

Surestimation de la production: 15%

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

Le calcul du CO₂ est biaisé... On utilise généralement la source la plus polluante, ici le gaz.

Si on remplaçait du nucléaire, la quantité de CO₂ évitée serait nulle.

La réponse se trouve donc quelque part entre 0 et 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~~

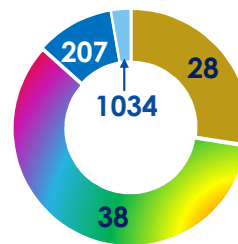
~~2200 tonnes de
CO₂ évitées~~

[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:
 $4100000/3973 = 1034$...

Mais quelle est la consommation à prendre en compte?



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

1034 ou 207 ou 38 ou 28
ménages...

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Pour calculer le nombre de ménages « pourvus », il faut définir la consommation d'un ménage et pour cela retourner à la consommation par secteur...

Je vous rappelle que l'article parle de la consommation globale d'un ménage...

Si on prend uniquement de la consommation électrique à la maison, le résultat est de 1034 ménages au lieu de 1400. (déjà une erreur de 26%)

Si on prend toute la consommation domestique, nous sommes à 207.

La consommation nette de 38 ménages est couverte.

Si on prend l'empreinte énergétique totale, nous sommes à 28, soit 50 fois moins que le chiffre de 1400 annoncé...

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

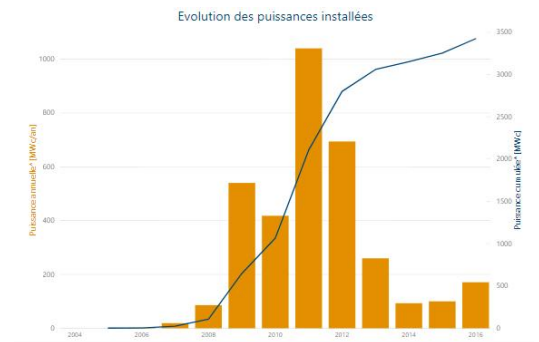
Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Il faudrait en moyenne 81.6 GW (environ 100 centrales) pour couvrir les besoins énergétiques totaux de la Belgique)
 Cela nécessiterait donc 100000 éoliennes soit une éolienne tous les 547 mètres sur toute la surface de la Belgique, villes comprises... ce qui est bien sûr impossible.
 Coté mer du Nord, c'est encore plus difficile mais certains pensent que nos eaux territoriales sont extensibles à l'infini...

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>

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Le solaire, c'est environ 10 MWe / km² => 81.6 GW, c'est donc 8160 km² soit ¼ de la surface de la Belgique.

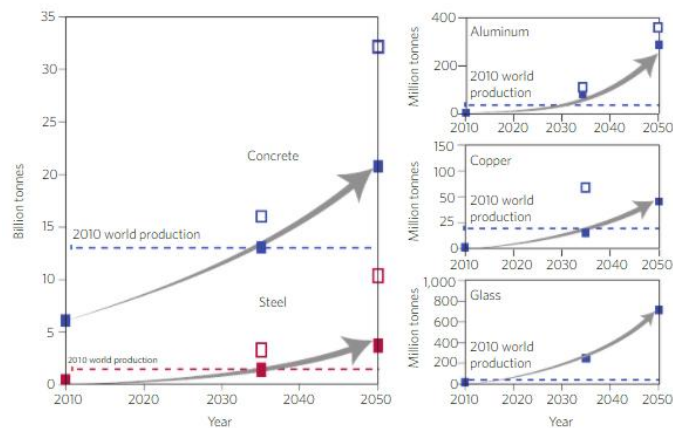
A noter que les capacités en solaire + éolien installées fin 2016 correspondent à environ 1 tranche nucléaire... (à multiplier par 5 en 9 ans pour arrêter le nucléaire en 2025?)

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

Pour couvrir les besoins de la Belgique avec l'éolien il faut compter pendant les 25 ans qui viennent, 3 millions de tonnes d'acier par an, soit 40% d'augmentation par rapport à la production actuelle. Et notre capacité de production de plaques nécessaires à la construction de mas d'éoliennes ne représente potentiellement que 700000 to (1/4 des besoins).

A l'échelle mondiale, le besoin en ressources naturelles serait parfaitement insoutenable. Doublement de la production d'acier, de cuivre et de ciment en 20 ans. Triplement de l'aluminium et pour le verre nécessaire aux panneaux solaires, c'est une multiplication par 5 au moins.

Il faut pourtant savoir qu'il y a déjà pénurie de sable de haute qualité requis pour fabriquer le verre et que la teneur en cuivre du minerai est déjà inférieure à 1%... La terre est décidément trop petite pour combler nos besoins...

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

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

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

(*) EROEI: Energy Return On Energy Invested

On calcule ici la quantité d'énergie nécessaire pour produire une unité d'énergie... Pour le « bio »-ethanol à base de maïs (1/3 de la production américaine de maïs est utilisée à cet effet) il faut dépenser 4 unités d'énergie fossile pour obtenir 5 unités de biocarburant.... Une aberration... D'autant que la pollution des sols est encore plus dramatique que pour l'agriculture classique (plus d'engrais et de pesticides) puisqu'il n'y a pas de contrôle sanitaire.

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

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

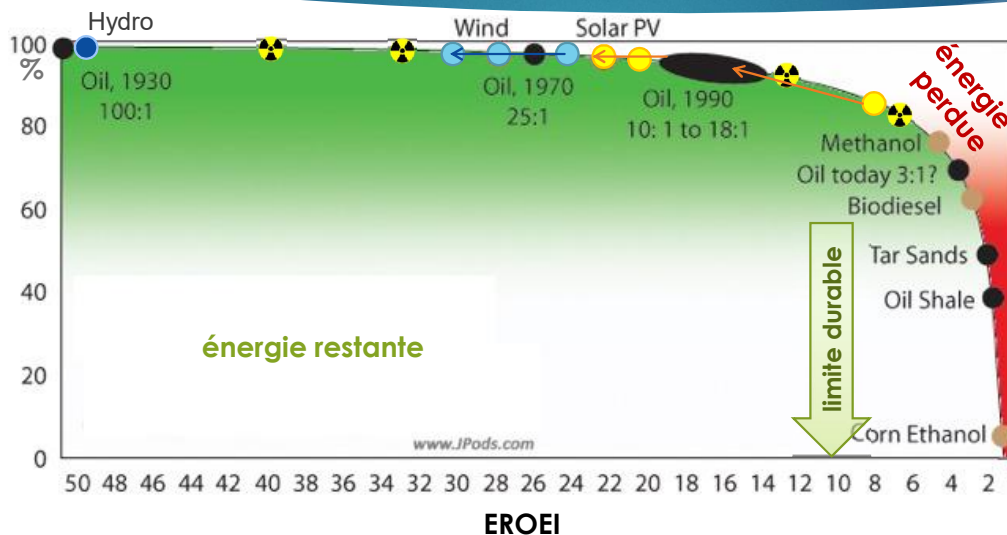
$$\text{EROEI}^* = \frac{\text{Énergie produite}}{\text{Énergie investie}} \approx \frac{5}{4}$$

The diagram illustrates the EROEI calculation for corn-based ethanol production. The numerator (top of the fraction) is represented by a red fuel can, symbolizing the energy produced. The denominator (bottom of the fraction) is represented by a sum of icons: corn cobs, a bag of fertilizer, a tractor, a laboratory flask with a flame, and a truck, symbolizing the energy invested in the process. The result is approximately 5/4.

(*) EROEI: Energy Return On Energy Invested

Parmi les biocarburants, seul l'éthanol de canne à sucre (Brésil) semble tenir la route... Mais si on veut obtenir un effet significatif sur le climat, il est bien plus intéressant de planter des arbres... plutôt que de poursuivre la déforestation de l'Amazonie.

Au bord de la falaise énergétique...



► cette énergie perdue est généralement cachée : elle est grise...

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Plus le EROEI est élevé, plus la production d'énergie est énergétiquement rentable. On considère qu'il doit être supérieur à 10 pour être durable.

Le EROEI du pétrole n'a cessé de chuter depuis les années '30 où il jaillissait du sol presque par magie (souvenez vous de Tintin en Amérique...) De 100, il est passé à 25 en 1970, puis à 15 en 1990 (forages en haute mer). On serait aujourd'hui en dessous de 5. Pour le gaz et le pétrole de schiste, c'est plutôt 2...

Quand nous achetons du pétrole aujourd'hui, nous omettons bien sûr de compter son énergie grise qui ne cesse de croître.

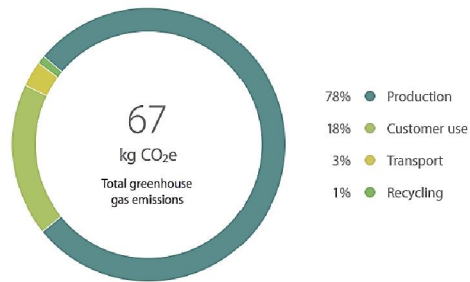
L'éolien et le solaire ont plutôt tendance à remonter la falaise énergétique, mais les modes de calcul sont parfois discutables. On ne prend par exemple pas en compte les adaptations nécessaires au réseau électrique ni l'extension des capacités de stockage.

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!**

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Ces données sont disponibles sur le site d'Apple...

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:

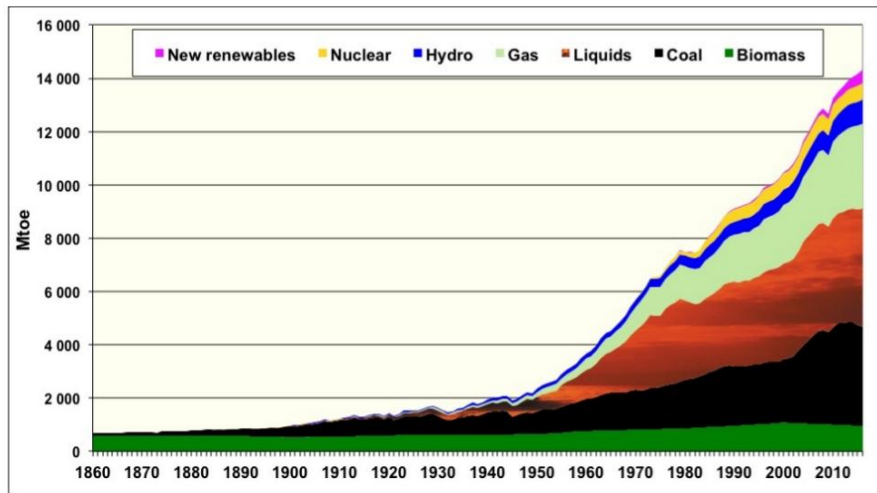
LES ÉLECTRONS N'ONT PAS DE COULEUR...

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!**

Addition=addiction

L'addiction énergétique



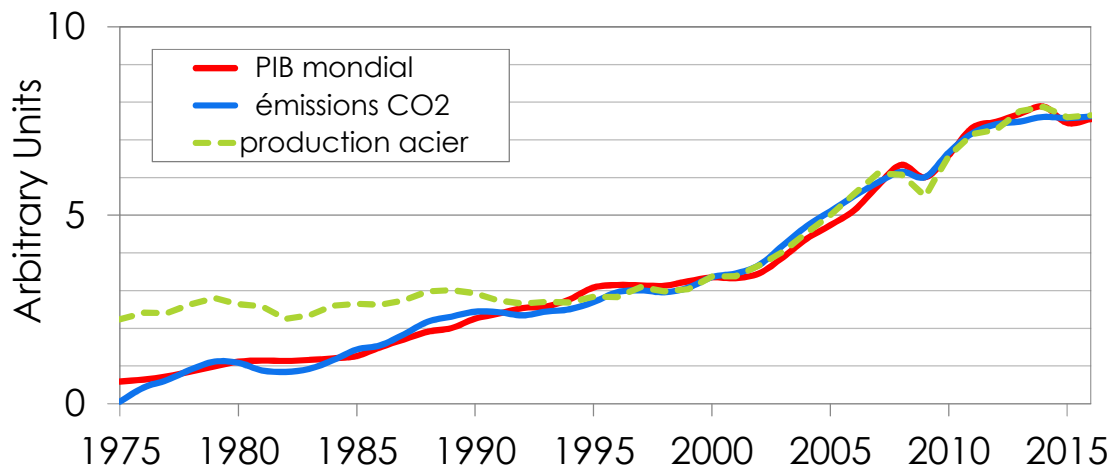
Consommation d'énergie dans le monde 1860-2016. Jancovici, 2017

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

- ▶ 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...

6 mars 2018

L'explication: la croissance...



Sources: Banque mondiale, WorldSteel

Avec la croissance, le PIB mondial augmente.

Mais la croissance économique implique toujours une croissance des besoins en énergie, si bien que les émissions de CO2 augmentent parallèlement à la croissance économique.

Et les besoins en ressources suivent le même chemin: la production d'acier (et des autres matériaux) est également parfaitement corrélée avec la croissance économique.

Remarquez que la crise de 2008 est bien visible sur les 3 courbes...

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...

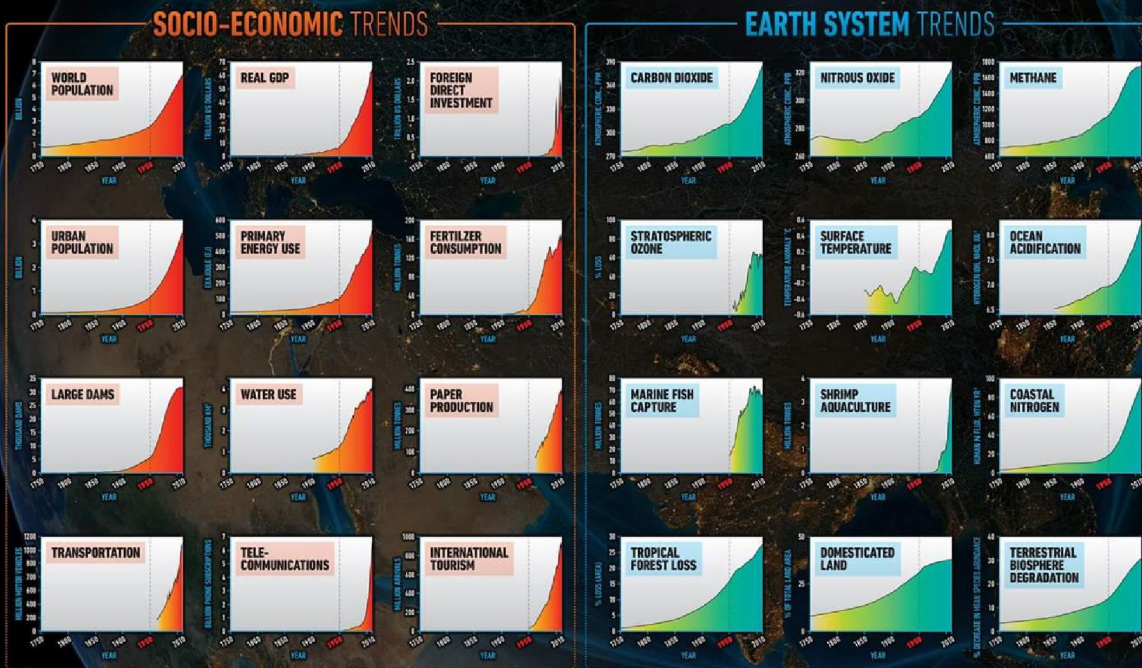


Renationaliser l'énergie à l'échelle européenne pour la soustraire au marché permettrait d'appliquer une politique globale prenant en compte les besoins et les possibilités de tous les pays; de faire des choix techniques sans tenir compte de la concurrence des différentes formes d'énergie. On pourrait ainsi concevoir un système de stockage cohérent par exemple.

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



REFERENCE: Steffen, W., W. Broadgate, L. Deutsch, O. Gaffney and C. Ludwig (2015), The Trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration, Submitted to *The Anthropocene Review*.
 MAP & DESIGN: Félix Pharand-Deschênes / Globalia

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

6 mars 2018

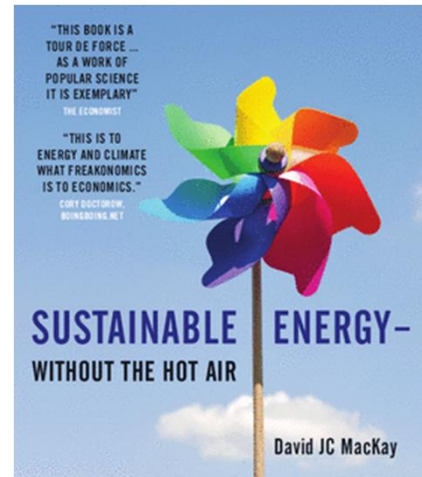
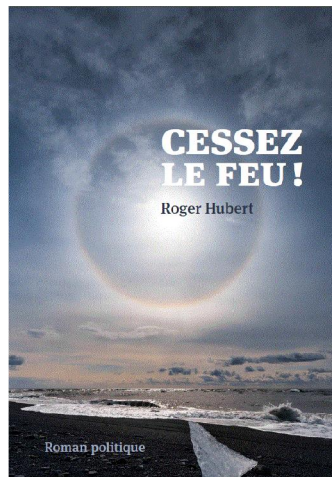
On a pas parlé de la surpopulation qui est un tabou absolu... mais c'est pourtant le paramètre qui met le plus de pression sur les éco-systèmes. Notez que la pêche est passée au delà de son pic de production il y a quelques années tandis que la surface de terres arables disponibles plafonne.

ET ON N'A MEME PAS PARLE DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE...

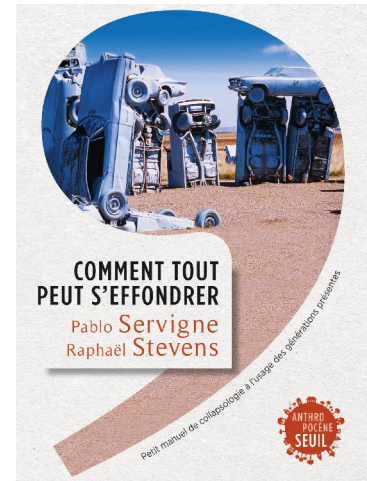
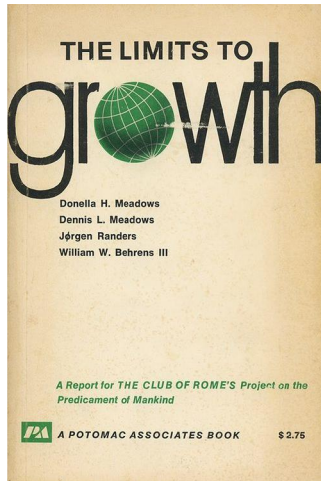
Les réponses aux questions du début...

- ▶ quelle est l'empreinte énergétique moyenne d'un belge? 0 177 200 kWh/jour
- ▶ quelle est la part de l'électricité dans notre consommation d'énergie ? 0 16% 50%
- ▶ quelle est la part des renouvelables dans notre électricité? 0 20% 100%
- ▶ quelle est la part de l'éolien et du solaire dans notre approvisionnement énergétique global? 0 1.2% 20%
- ▶ quelle surface nette de panneaux solaires faut-il installer pour remplacer une centrale nucléaire (1000 MW)? 0 43 50 km²
- ▶ quelle était la surface nette des panneaux solaires installés en Belgique fin 2016? 0 23 50 km²
- ▶ Positionnez la France, la Belgique et l'Allemagne par rapport à l'empreinte CO₂ de leurs électricités respectives 0 F B D 500 gCO₂/kWh

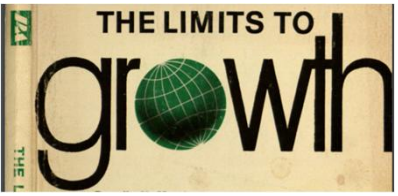
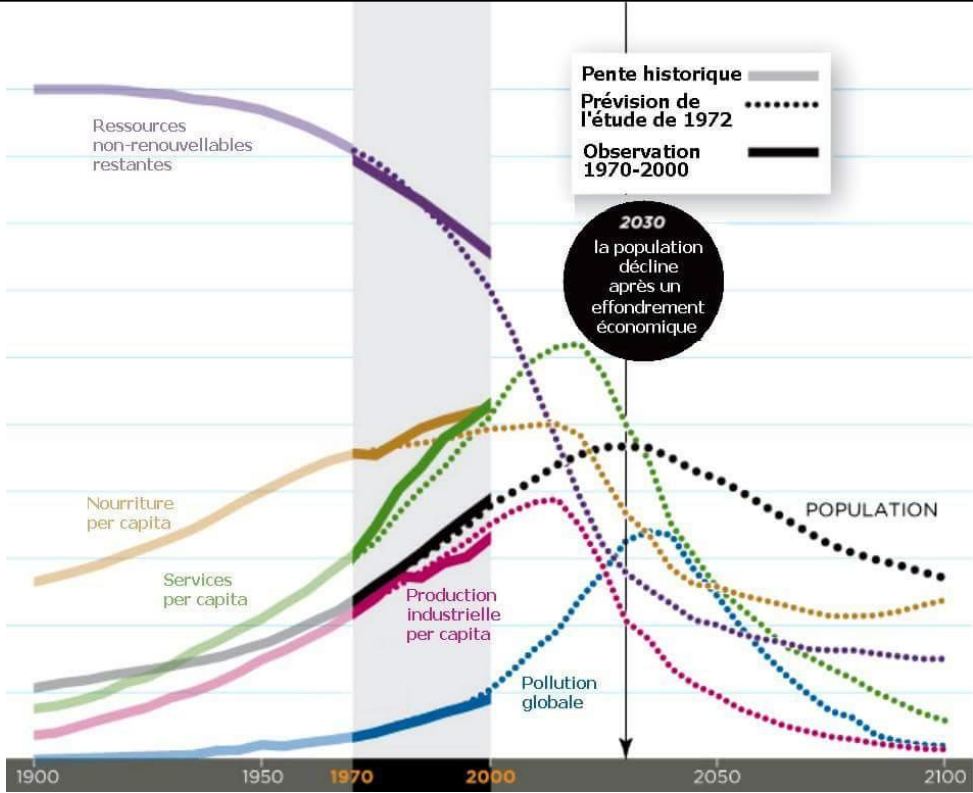
Lecture suggérée



Lecture plus radicale...



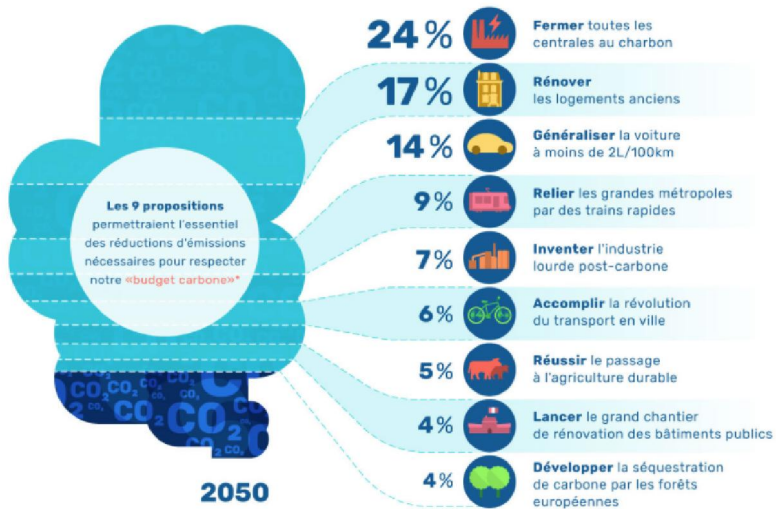
Slides supplémentaires



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



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.

THE SHIFT PROJECT DATA PORTAL
Browse Energy and Climate Data

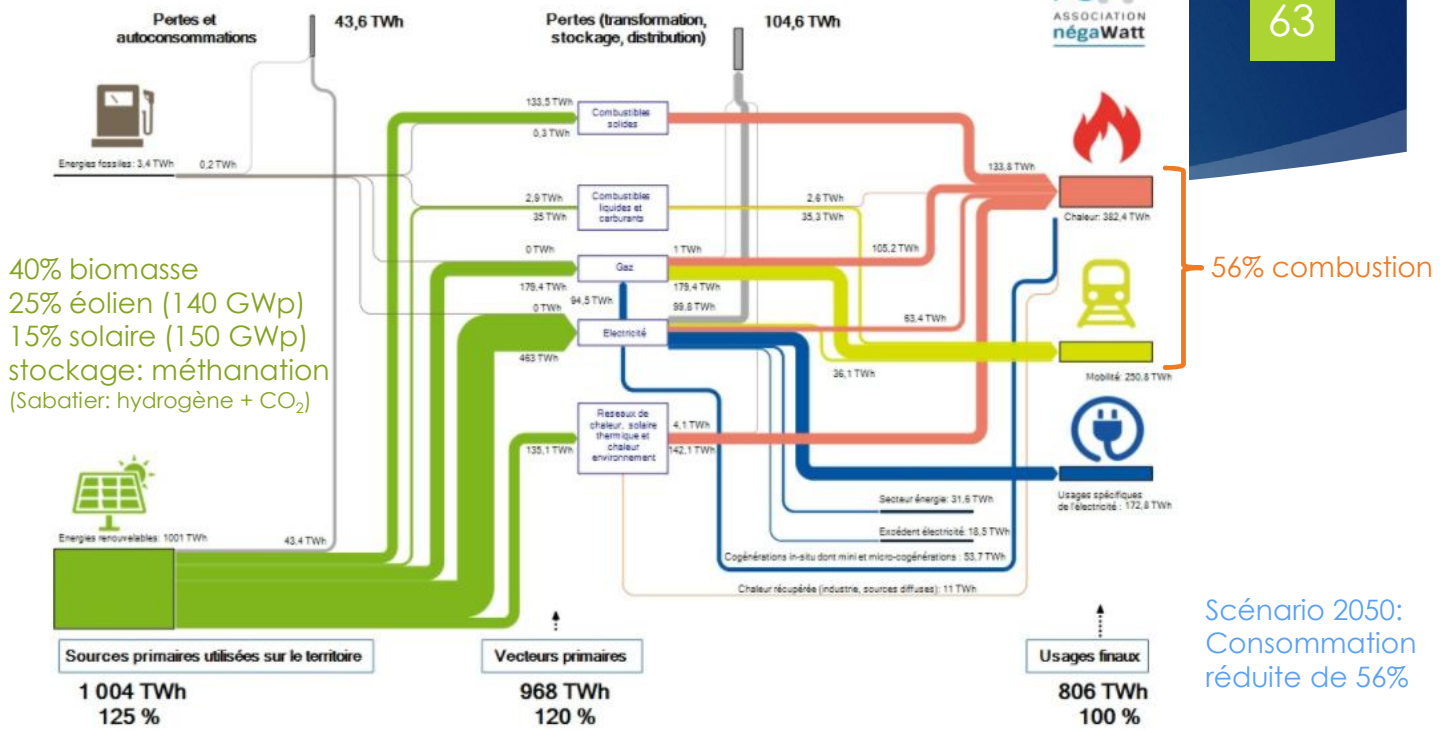
6 mars 2018

Supprimer les vols intérieurs européens
Consommation de viande à diviser par 3...

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

nw
ASSOCIATION
négaWatt

63



Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

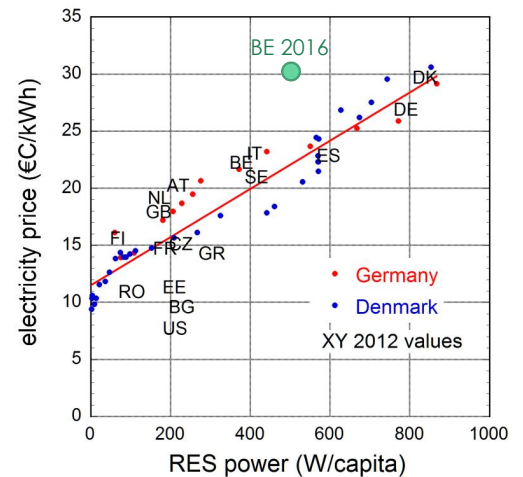
6 mars 2018

Le très contesté scénario Négawatt français essentiellement basé sur la biomasse [+ 36000 éoliennes 4 MW et 15000 km² de solaire]
 En 2050, la France consommerait à peine plus que la Belgique aujourd'hui...

Considerations prior to an Energiewende

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

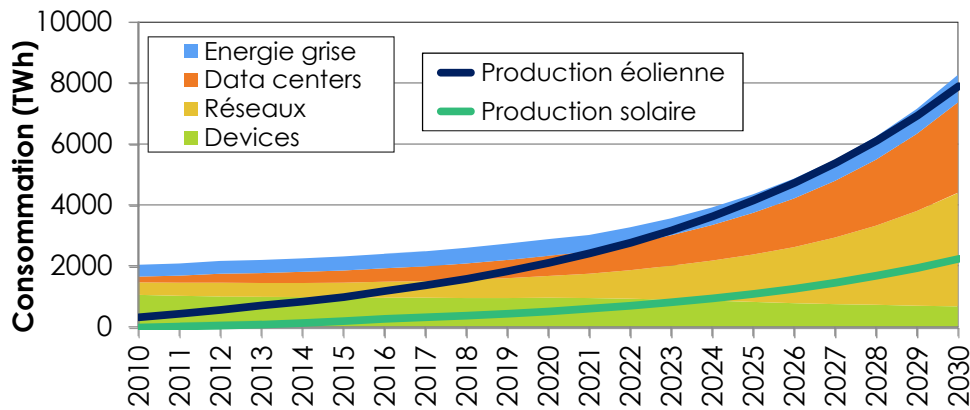
- ▶ The total capacity has to increase by a factor of 4
- ▶ High costs, rising electricity prices
- ▶ Need a lot of space
- ▶ Storage crucial but not available and not economic in operation
- ▶ Hydro + nuclear much better in CO₂-reduction
- ▶ System without market incentives
- ▶ Strong impact on economy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



Le prix de l'électricité augmente en fonction de la quantité de renouvelables...

Wagner: electricity Germany: <https://youtu.be/C1qQ-RL9ZPc>

Consommation mondiale des TIC



consommation
électrique mondiale
2012: 21000 TWh

l'horreur énergétique:
le streaming...

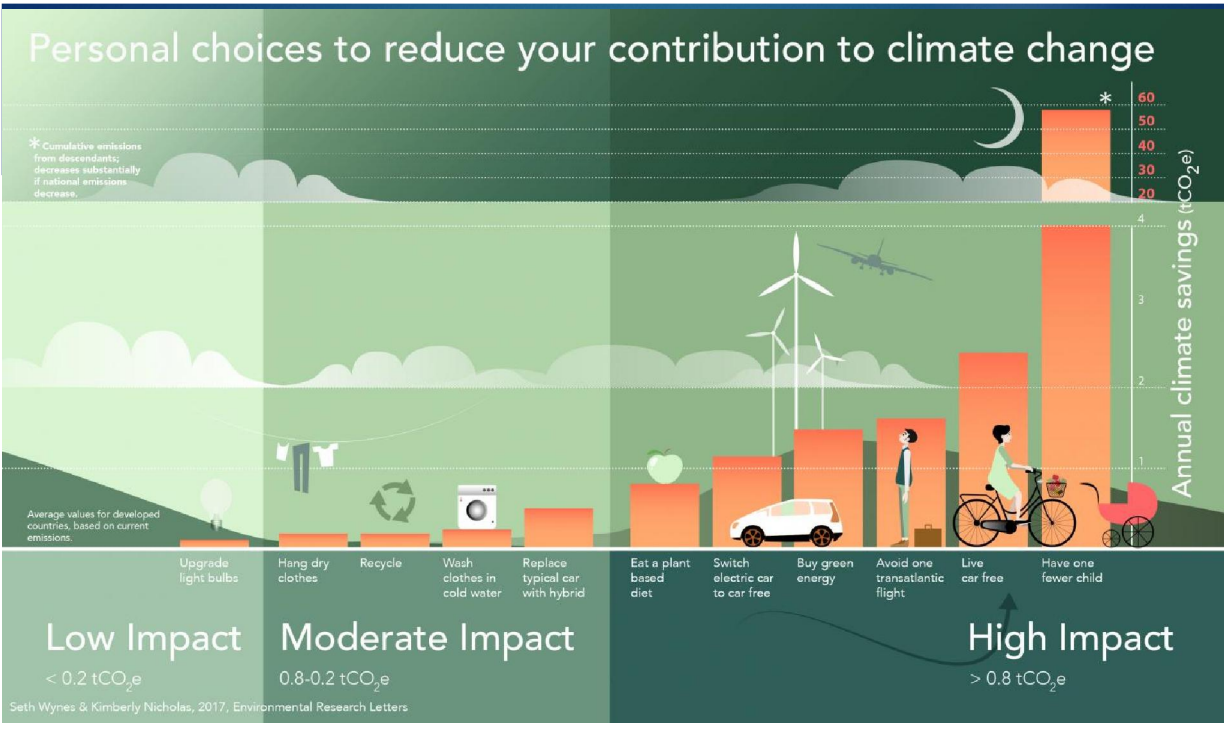
"On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030" by Anders S. G. Andrae and Tomas Edler (Huawei Technologies Sweden AB) in *Challenges* 2015, 6, 117-157; doi:10.3390/challe6010117

Polémiques sur l'énergie: et si nous réapprenions à compter... - Roger HUBERT - Collège Belgique (Namur)

6 mars 2018

Les technologies de l'information (Internet et le reste) consomment aujourd'hui 12% de l'électricité mondiale...

Éolien et solaire (ici cumulés - courbe bleue) même en forte augmentation ne couvriront pas les besoins des TIC...



Le plus grand impact sur l'environnement: faites un enfant de moins...